institutos lactec
INOVADORES POR NATUREZA

Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce

Relatório de Linha-Base: Volume I – Meio Físico



Institutos Lactec
Curitiba – Paraná – Brasil
Outubro/2017

Documento:	Relatório de Linha-Base: Volume I – Meio Físico	
Considerações Gerais:	Este documento refere-se ao relatório de linha-base, volume I – meio físico, parte integrante do Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na bacia do rio Doce, o qual apresenta o estado do meio físico na bacia do rio Doce anterior ao desastre.	
Contrato:	**4500173758 – Samarco/Lactec**	
Solicitante:	**Empresa:**	Ministério Público Federal
	CNPJ:	
	Endereço:	Av. Brasil, 1877
	Bairro:	Bairro Funcionários
	Cidade:	Belo Horizonte/MG
	CEP:	CEP 30140-007
	A/C:	Dr. José Adercio Leite Sampaio
	E-mail:	joseadercio@mpf.mp.br
Executante:	Institutos Lactec Rodovia BR-116, km 98, nº 8813 | Jardim das Américas Caixa Postal 19067 | CEP 81531-980 | Curitiba – PR – BR e-mail: leonardo.bastos@lactec.org.br Divisão de Meio Ambiente T + 55 (41) 3361-6882	

Autoria:

Equipe Ténica dos Institutos Lactec

Emitido por:

_____

Leonardo Pussieldi Bastos, M. Sc.
Biólogo / CRBio 28808-07D
Divisão de Meio Ambiente

Aprovado por:

_____

Tânia Lucia Graf de Miranda, D. Sc.
Engenheira Agrônoma / Crea RS 069105/D
Gerente Departamento de Recursos Ambientais

_____

Luiz Alkimin de Lacerda, D. Sc.
Engenheiro Civil / Crea PR 155674/D
Gerente Departamento de Estruturas Civis

PRESIDÊNCIA		
Luiz Fernando Vianna	Diretor Presidente	
DIRETORIA		
Alessandro Zimmer	Diretor de Desenvolvimento Tecnológico	
Lauro Elias Neto	Diretor de Operações Tecnológicas	
Luiz Fernando Vianna	Diretor Administrativo-Financeiro	
DEPARTAMENTOS		
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS CIVIS		
Luiz Alkimin de Lacerda	Gerente do Departamento de Estrutura Civis	http://lattes.cnpq.br/0043721710279191
DEPARTAMENTO DE RECURSOS AMBIENTAIS		
Tania Lucia Graf de Miranda	Gerente do Departamento de Recursos Ambientais	http://lattes.cnpq.br/1121417252853145
COORDENAÇÃO TÉCNICA		
Leonardo Pussieldi Bastos	MSc., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/5329663591015036
GESTÃO E ACOMPANHAMENTO		
Franciele Dãobroski	Esp., Eng. Eletricista	http://lattes.cnpq.br/7297801978779218
Guilherme de Poli	Administrador de Empresas	http://lattes.cnpq.br/5037459782326201
Jefferson Arndt	Esp., Analista de Sistemas	http://lattes.cnpq.br/2235028013916918
Leandro Zem	Gerente Escritório de Projetos	http://lattes.cnpq.br/2357615179502522
MEIO FÍSICO		
GEOPROCESSAMENTO		
Ana Paula Zampieri da Silva	Téc. em Geoprocessamento	http://lattes.cnpq.br/7147163601134808
Cesar João Andreazza	MSc., Analista de Sistemas	http://lattes.cnpq.br/5387403645633748
Danielle Drago	MSc. Engenheira Cartógrafa	http://lattes.cnpq.br/5640462622387315
Edson Haruo Yoshizumi	Téc. em Geoprocessamento	http://lattes.cnpq.br/9032121183333722
Fabiano Scheer Hainosz	Gerente da Divisão de Geossoluções	http://lattes.cnpq.br/4182830081560022
Lázaro Filipe de Souza	Geografo	http://lattes.cnpq.br/6531432009823859
Maricler Toigo	Esp., Analista de Sistemas	http://lattes.cnpq.br/4705344015597145
Yuri Arnold Gruber	Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0119998808279360
GEOLOGIA E GEOTECNIA		
Amanda Jarek	Dra., Engenheira Civil	http://lattes.cnpq.br/1505490272203990
Betina Lepretti Medeiros	Gerente da Divisão de Pesquisa em Estruturas Civis	http://lattes.cnpq.br/1756315291615130

Bruno Endo Ribeiro	Téc. Em Construção Civil	http://lattes.cnpq.br/4603691886693999
Eduardo Alberto Garotti Orlowski	Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/7796199656235610
Ernesto Goldfarb Figueira	MSc., Geólogo	http://lattes.cnpq.br/4401942500945463
Isabella Françoso Rebutini Figueira	Dra., Geóloga	http://lattes.cnpq.br/2157580235609038
Joubert Weigert Favaro	Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/9803440730131162
José Henrique Ferronato Pretto	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0011830871815627
Kleber Franke Portella	Dr., Químico	http://lattes.cnpq.br/3831923854387307
Marcelo Buras	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/6794337770630385
Mariana D´Orey Gaivão Portella Bragança	Dra., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/0715737214891999
Mário Sérgio Mandu Kleina	Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/6538424098662887
Rodrigo Moraes da Silveira	Dr. Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0100630696334012
Rodrigo Soares Ferreira	Gerente da Divisão de Química	http://lattes.cnpq.br/2988740732783866
SOLOS		
Bernardo Lipski	MSc., Engenheiro Agrônomo	http://lattes.cnpq.br/6729588963615658
HIDROLOGIA		
João Paulo J. Saboia	MSc., Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/1148076312542763
Julio Werner Yoshioka Bernardo	MSc., Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/9289720469347369
Rosana de Fátima Colaço Gibertoni	MSc. Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0468168157068042
Rubem Luiz Daru	MSC., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/5523700772597388
Tobias Bernward Bleninger	Dr., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/5131189316971564
SEDIMENTOS		
Camila Ghilardi Cardoso Fontanella	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/6768888804239630
Gheysa do Rocio Morais Pires	MSc., Química Ambiental	http://lattes.cnpq.br/2618972397792943
Rosemary Aparecida Brogim	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/2848426979042715
ÁGUAS SUPERFICIAIS		
Alexandre Brandelli	MSc., Oceanologo	http://lattes.cnpq.br/3313473380886724
Ana Carolina Wosiack	MSc., Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/1895187637306662
Kleber Franke Portella	Dr., Químico	http://lattes.cnpq.br/3831923854387307
Luciano Hermanns	Dr., Oceanologo	http://lattes.cnpq.br/0771345308920546
Marianne Schaefer França Sieciechowicz	MSc., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/5577907738809542

Nicole Machuca Brassac de Arruda	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/2555202156228591
Patrícia Dammski Borges de Andrade	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/3040297416264303
Priscila Izabel Tremarin	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/3229087673435470
Susan da Silva	Tecnóloga em Gestão Ambiental	http://lattes.cnpq.br/6563092431055823
Tomaz Bohrer Brentano	Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/1685187955178243
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS		
André Virmond Lima Bittencourt	Dr., Engenheiro Químico	http://lattes.cnpq.br/2304114776847879
Ernesto Goldfarb Figueira	MSc., Geólogo	http://lattes.cnpq.br/4401942500945463
Gheysa do Rocio Morais Pires	MSc., Química Ambiental	http://lattes.cnpq.br/2618972397792943
MEIO BIÓTICO		
FLORA		
Fernando Camargo da Silva	Esp., Engenheiro Florestal	http://lattes.cnpq.br/8784632725243557
Flávio Fonseca do Carmo	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/3978893948218087
Juliano José da Silva Santos	MSc., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/2365223544076944
Luciana Hiromi Yoshino Kamino	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/9740020349411811
FAUNA SILVESTRE		
Robson Odeli Espíndola Hack	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/9746099348251654
CETÁCEOS		
Leonardo Liberali Wedekin	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/1896046647953008
Patrícia Dammski Borges de Andrade	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/3040297416264303
Robson Odeli Espínola Hack	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/9746099348251654
Samira Costa da Silva	MSc., Medica Veterinária	http://lattes.cnpq.br/0633669594672967
QUELÔNIOS		
Camila Ghilardi Cardoso Fontanella	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/6768888804239630
Fabrício Locatelli Trein	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/9787718063873855
Letícia de Paulo Koproski	Dra., Medica Veterinária	http://lattes.cnpq.br/3556372314320095
Lucas Reinert Laufer Pereira Mendes	Biólogo	http://lattes.cnpq.br/8111616653190732
Matheus Ferreira de Souza	Médico Veterinário	http://lattes.cnpq.br/2616758728280165
ICTIOFAUNA		
Matheus Oliveira Freitas	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/5550609084808301
Maurício Belézia de Oliveira	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/6239819920450961

Vinícius Abilhoa	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/0315094345358871
ECOTOXICOLOGIA		
Luciana Rodrigues de Souza Bastos	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/5026609882283698
MEIO SOCIOAMBIENTAL		
BENS ARQUEOLÓGICOS E CULTURAIS		
Camila Azevedo de Moraes Wichers	Dra., Historiadora	http://lattes.cnpq.br/1268440854810735
Ellen Christine Prestes Ferronato	Esp., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/4095113991099031
Gabriela Ribeiro Faria	Arquiteta e Urbanista	
Glória Tega-Calippo	MSc., Jornalista	http://lattes.cnpq.br/5685354287267640
Lucas de Paula Souza Troncoso	MSc., Historiador	http://lattes.cnpq.br/6039279007350089
Luciana Bozzo Alves	MSc., Oceanógrafa	http://lattes.cnpq.br/8996132819081810
Luiz Antonio P. de Queiroz	MSc., Historiador	http://lattes.cnpq.br/5102530761530772
Paulo Eduardo Zanettini	Dr., Historiador	http://lattes.cnpq.br/7082884046494039
Rodrigo Silva	Historiador	
VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS		
Gleiciane Fernanda de Carvalho Blanc	MSc., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/2504229052050442
EQUIPE DE APOIO		
Alika Solange Ferraro Pires	MSc., Engenheira Química	http://lattes.cnpq.br/3298740626944749
Cassio Paluch Menini	Engenheiro Químico	http://lattes.cnpq.br/3928241891571165
Fernando Ribas Terabe	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/8779660471099331
Heloisa Nunes da Motta	Dra., Engenheira Química	http://lattes.cnpq.br/2397275311285980
Henrique Reisdorfer Leite	Geografo	http://lattes.cnpq.br/9699202060197015
Joseane Valente Gulmine	Dra., Química	http://lattes.cnpq.br/6342685330476104
Juliane de Melo Rodrigues	MSc., Engenheira Química	http://lattes.cnpq.br/0795738038871361
Juliano de Andrade	Dr., Engenheiro Química	http://lattes.cnpq.br/8262822300990775
Karime Dawidziak Piazzetta	MSc., Processos Ambientais	http://lattes.cnpq.br/8808958375177172
Kassia dos Santos Kanieski	MSc., Química	http://lattes.cnpq.br/2502706807690600
Kelly Jacqueline Campos Brambilla	MSc., Química	http://lattes.cnpq.br/5492151072187815
Luciane Tulio	MSc., Química	http://lattes.cnpq.br/4270356760335865
Luis Eduardo Soares Mayer	Geografo	http://lattes.cnpq.br/4640846227554410

Luiz Eduardo da Silva Santos	Engenheiro Químico	http://lattes.cnpq.br/2511544322329869
ESTAGIÁRIOS		
Alcides Conte Neto	Estatística	http://lattes.cnpq.br/6629850738248226
Ana Carolina Canossa Becker	Engenharia Civil	http://lattes.cnpq.br/6054762283835269
Angel Aparecida Maia	Geologia	http://lattes.cnpq.br/4055730889405891
Bruna Gomes Dias	Química	
Carolina Valério Leme	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/9673870579986011
Eduardo Miguel Zanette Correia	Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/9916816146000799
Gabriela Massame Ono	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/5402256742761917
Hauane da Silva Correa	Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/3654828416979927
Jaqueline Schmidt	Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/2113943688297300
Jéssica Cristina Lozovei	Geografia	http://lattes.cnpq.br/3151692305270284
Luiz Guilherme Tatsch Henriqui	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/3720037483658594
Mariana Simões Stuckert Fialho	Tecnologia em Processos Ambientais	http://lattes.cnpq.br/6990586044503074
Matheus de Andrade Machado	Engenharia Cartográfica	http://lattes.cnpq.br/1568039676134081
Murilo Radloff Barghouthi	Engenharia Florestal	http://lattes.cnpq.br/9618792830948893
Natalia Martins Azevedo	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/5770998043434746
Nilo Kruchelski	Engenharia Civil	http://lattes.cnpq.br/4021235461471453
Renan José Alberton Disner	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/3465652787199534
Vitor Mittelstaedt Alfaro	Engenharia Civil	http://lattes.cnpq.br/4050568861324374

Lista de Figuras

Figura 1 – Ferramenta desenvolvida para a visualização dos dados geoespaciais em ambiente *web*. 55

Figura 2 – Distribuição dos Pontos utilizados na validação das ortoimagens orbitais. 57

Figura 3 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pré-desastre (T0). 58

Figura 4 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T1). 58

Figura 5 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T2). 59

Figura 6 – Mapa de localização da área de estudo. 59

Figura 7 – Localização e principais rios formadores da bacia hidrográfica do rio Doce. 62

Figura 8 – Imagem do mapa geológico representativo da área de estudo – que engloba desde o Quadrilátero Ferrífero, a oeste, até a foz do rio Doce, a leste. 69

Figura 9 – Mapa estrutural da Bacia do rio Doce. 74

Figura 10 – Imagem do mapa estrutural e estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero e adjacências. Em destaque, encontra-se a região da mina da Samarco. 75

Figura 11 – Configuração da Rede Sismográfica Brasileira – março de 2015. 78

Figura 12 – Registro de atividades sísmicas na bacia do rio Doce com base em informações do Boletim Sísmico (IAG, 2017). 80

Figura 13 – Informações de ocorrências de sismos na bacia do rio Doce e dados estruturais. 81

Figura 14 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região da barragem de Fundão. Imagem World View2 (T0) de 21/07/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 84

Figura 15 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região de Bento Rodrigues. Imagem World View2 (T0) de 21/07/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 85

Figura 16 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região a leste Bento Rodrigues. Imagem World View3 (T0) de 28/06/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 85

Figura 17 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região de Barra Longa. Imagem World View2 (T0) de 25/09/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 86

Figura 18 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na área do reservatório e barragem da UHE Risoleta Neves. Imagem GeoEye 1 (T0) de 21/01/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 87

Figura 19 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na área do reservatório e barragem da UHE Baguari. Imagem GeoEye 1 (T0) de 30/05/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 87

Figura 20 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na cidade de Governador Valadares. Imagem o GeoEye 1 (T0) de 30/03/2015. Seta amarela indica o sentido do rio. 88

Figura 21 – Concentrações de metais pesados em sedimentos desde a barragem de Santarém até Linhares em 2010. 90

Figura 22 – Processos minerários obtidos no DNPM, filtrados conforme a fase, presentes na bacia do rio Doce com a localização da bacia do rio Doce sobre imagem SRTM 30 m. 92

Figura 23 – Articulação das áreas separadas para o detalhe da visualização. 93

Figura 24 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área I. 93
Figura 25 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área II. 94
Figura 26 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área III. 94
Figura 27 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área IV. 95
Figura 28 – Processos DNPM selecionados conforme a substância potencialmente contaminante...98
Figura 29 – Localização dos pontos de coleta de sedimentos de corrente em áreas não afetadas sobre imagem orbital World View 2 de 10/11/2015. 100
Figura 30 – Nascentes do rio Piracicaba, local de coleta de sedimentos amostra 01. 101
Figura 31 – A) Visão geral da drenagem onde foi coletada a amostra de sedimento na nascente do rio Jacuba, afluente do rio Gualaxo do Norte; B) Local da coleta de sedimentos e C) Coleta de amostra de rocha de canga laterítica. 102
Figura 32 – Difratogramas de raios X da amostra 01 – 2.0176.17, coletada na nascente do rio Piracicaba, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2). 103
Figura 33 – Difratogramas de raios X da amostra 03 – 2.0177.17, coletada na nascente do rio Jacuba, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica hematita (Fe_2O_3) e goethita (FeO(OH)). 104
Figura 34 – Difratogramas de raios X da amostra 03 – rocha – 2.0202.17, coletada na nascente do rio Jacuba, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica goethita (FeO(OH)). 104
Figura 35 – Localização das cavernas selecionadas para vistoria 106
Figura 36 – Localização das cavidades/abrigos elencadas como atingidas pelo rejeito. 110
Figura 37 – Localização das cavidades abrigos vistoriados em campo e demais mapeadas pelo CECAV e Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico sobre imagem orbital World View 2 de 10/11/2015. 111
Figura 38 – Cavidade/abrigo sem identificação. 111
Figura 39 – A e B) Vista geral da cavidade/abrigo CA-14 e C) Identificação. 112
Figura 40 – Cavidade/abrigo CA-15. 113
Figura 41 – Cavidade/abrigo CA-16. 113
Figura 42 – Classificação de abrigos e cavidades conforme o desenvolvimento, IS nº 08/2017, sendo A = altura da entrada e PH = Desenvolvimento. 115
Figura 43 – Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero Ferrífero. 118
Figura 44 – Itabiritos da frente de lavra da mina Alegria Sul – Samarco. 119
Figura 45 – Esteiras transportadoras. 119
Figura 46 – Difratogramas de raios X da amostra de rocha (M), coletada mina Alegria Sul, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2). 120
Figura 47 – Análise da amostra de rocha coletada na frente de lavra Alegria, 2.0202.17, com identificação das fases mineralógicas principais por EBSD. 122
Figura 48 – Filitos sericíticos, com foliação marcante, crenulados. 123
Figura 49 – A) Afloramento de quartzito ferruginoso com bandamento marcante e B) Dobras mapeadas no quartzito. 123

Figura 50 – Moinhos de bolas para moagem primária e secundária (a) e maquinário para o processo de flotação (b). Planta 4 – Samarco. 126

Figura 51 – Mineroduto da Samarco, na unidade de Germano. 126

Figura 52 – Microscopia eletrônica de varredura de amostras de rejeito coletadas na cava de Germano, com identificação morfológica de fase, sendo: (a) hematita, (b) quartzo e (c) goethita. 131

Figura 53 – Registro fotográfico das amostras de rejeito da barragem de Fundão, antes do rompimento, sendo: (a) o material fino e arenoso, (b) a lama remoldada e (c) a amostra de lama intacta. 132

Figura 54 – Curvas de distribuição granulométrica do rejeito na barragem de Fundão e Germano. 140

Figura 55 – Comparação entre as curvas de distribuição granulométrica do material retirado no reservatório da UHE Risoleta Neves (Candonga) com o da barragem de Fundão. 140

Figura 56 – Registro fotográfico das coletas de amostras deformadas e indeformadas de rejeito, realizadas em meados de julho de 2017, nas barragens de Germano (a-c), Fundão (d) e Santarém (e). 144

Figura 57 – Localização dos pontos de coleta de amostras de rejeito nas barragens de Germano (01, 02 e 03), Fundão (04) e Santarém (5). 145

Figura 58 – Registro fotográfico de quatro amostras preparadas por tratamento térmico de secagem em estufa ventilada. 146

Figura 59 – Registro fotográfico de parte das etapas do preparo das amostras de rejeito para a sua caracterização, com o quarteamento e, após a secagem, o destorroamento e a homogeneização. 148

Figura 60 – Registro fotográfico do momento de moldagem de uma das amostras em anéis metálicos de inox, em campo, para a determinação da massa específica natural do rejeito, conforme prescrito na norma para solos (ABNT NBR 9813:2016). 149

Figura 61 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0186.17. 152

Figura 62 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0187.17. 154

Figura 63 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0188.17. 154

Figura 64 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0193.17. 155

Figura 65 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0186.17. 156

Figura 66 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0187.17. 156

Figura 67 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0188.17. 157

Figura 68 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0192.17. 157

Figura 69 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0193.17. 158

Figura 70 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0186.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Gr: Greenalita; H: Hematita e G: Goethita. 160

Figura 71 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0187.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo T: Titanita; H: Hematita e G: Goethita. 160

Figura 72 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0188.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Q: Quartzo e H: Hematita. 161

Figura 73 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0192.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Q: Quartzo, G: Goethita e H: Hematita. 161

Figura 74 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0193.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Q: Quartzo, G: Goethita e H: Hematita. 162

Figura 75 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0186.17, coletada na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia. 163

Figura 76 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0187.17, coletada na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia. 164

Figura 77 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0188.17, coletada na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia. 165

Figura 78 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0192.17, coletadas na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia. 166

Figura 79 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0193.17, coletadas na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia. 167

Figura 80 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0186.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia. 168

Figura 81 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0187.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia. 169

Figura 82 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0188.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia. 170

Figura 83 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0192.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia. 171

Figura 84 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0193.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia. 172

Figura 85 – Metodologia de trabalho. 176

Figura 86 – Delimitação do raio da área afetada (preliminar). 177

Figura 87 – Tipos de solo na bacia do rio Doce. 178
Figura 88 – Tipos de solo existentes na área afetada. As figuras foram elaboradas de montante (A) para jusante (D). 180
Figura 89 – Tipos de solo existentes na área afetada (continuação da Figura 88). As figuras foram elaboradas de montante (E) para jusante (F). 181
Figura 90 – Uso do solo da bacia do rio Doce. 185
Figura 91 – Usos do solo existentes na área afetada preliminar. As figuras foram elaboradas de montante (A) para jusante (D). 186
Figura 92 – Usos do solo existentes na área afetada preliminar. As figuras foram elaboradas de montante (E) para jusante (F). 188
Figura 93 – Teores de alumínio (Al) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 196
Figura 94 – Teores de arsênio (As) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 196
Figura 95 – Teores de boro (B) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 197
Figura 96 – Teores de bário (Ba) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 197
Figura 97 – Teores de cádmio (Cd) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 198
Figura 98 – Teores de cobalto (Co) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 199
Figura 99 – Teores de cromo (Cr) em solos não antropizados na bacia do rio Doce 199
Figura 100 – Teores de cobre (Cu) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 200
Figura 101 – Teores de ferro (Fe) em solos não antropizados na bacia do rio Doce 201
Figura 102 – Teores de mercúrio (Hg) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 201
Figura 103 – Teores de manganês (Mn) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 202
Figura 104 – Teores de molibdênio (Mo) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 203
Figura 105 – Teores de níquel (Ni) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 203
Figura 106 – Teores de chumbo (Pb) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 204
Figura 107 – Teores de estrôncio (Sr) em solos não antropizados na bacia do rio Doce 204
Figura 108 – Teores de vanádio (V) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 205
Figura 109 – Teores de zinco (Zn) em solos não antropizados na bacia do rio Doce. 205
Figura 110 – Distribuição das propriedades físico-hídricas dos solos do HYBRAS. 207
Figura 111 – Rede de monitoramento selecionada para as análises pluviométricas. 213
Figura 112 – Totais anuais de precipitação para a bacia do rio Doce. 214
Figura 113 – Representação do ciclo hidrológico. 216
Figura 114 – Curva de descarga da estação Colatina (código 56994500). 218
Figura 115 – Curva de permanência da estação Colatina (código 56994500). 219
Figura 116 – Diagrama de Shields - Parâmetro de Shields contra número de Reynolds de corte da partícula 223
Figura 117 – Curva-chave de sedimentos em três diferentes locais do rio Doce. 232
Figura 118 – Escalas temporal e espacial vertical das variações do nível do mar. 237
Figura 119 – Representação simplificada da interação entre os efeitos da Lua e do Sol sobre a maré, vista de um ponto acima do Polo Norte. 239

Figura 120 – Onda simétrica com dimensões características. 240
Figura 121 – Variação da densidade (σ_t) em função de T e S. 242
Figura 122 – Deflexões causadas pelo efeito de Coriolis. 244
Figura 123 – Rede de monitoramento selecionada para as análises fluviométricas. 248
Figura 124 – Mapa com interpolação de vazões médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce. 250
Figura 125 – Diagrama das vazões médias absolutas de longo termo. 250
Figura 126 – Diagrama das vazões médias específicas de longo termo ao longo do rio Doce. 252
Figura 127 – Diagrama das vazões médias específicas de longo termo para afluentes do rio Doce. 253
Figura 128 – Mapa com interpolação de vazões máximas diárias específicas de 10.000 anos. 255
Figura 129 – Mapa com interpolação de vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ da bacia do rio Doce. 256
Figura 130 – Rede de monitoramento selecionada para as análises hidrossedimentométricas. 258
Figura 131 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação Resplendor. 259
Figura 132 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação Ponte Nova. 259
Figura 133 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação São Sebastião da Encruzilhada. 261
Figura 134 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação Baixo Guandu. 261
Figura 135 – Distribuição espacial das vazões sólidas suspensas médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce. 265
Figura 136 – Distribuição espacial das vazões sólidas totais médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce. 266
Figura 137 – Diagrama das vazões sólidas médias específicas ao longo do rio Doce. 267
Figura 138 – Diagrama das vazões sólidas médias específicas de afluentes do rio Doce. 267
Figura 139 – Potencial de produção de sedimentos na bacia, calculado em toneladas por quilômetro quadrado por ano. 270
Figura 140 – Perda de solo específica média por minibacia calculada a partir da MUSLE para a bacia do rio Doce. 271
Figura 141 – Mapa de susceptibilidade erosiva da bacia do rio Doce. 274
Figura 142 – Solo exposto com pouca cobertura vegetal. 275
Figura 143 – Exposição de solos friáveis ocasionando a formação de voçorocas e/ou ravinas. 276
Figura 144 – Intensificação do processo de degradação do solo pelo pisoteio do gado. 277
Figura 145 – Ausência de mata ciliar nas margens do rio Doce. 277
Figura 146 – Prática de cultivo às margens do rio Doce. 278
Figura 147 – Trilhos da EFVM próximo à calha do rio Doce. 278
Figura 148 – Trajeto da EFVM próximo à calha do rio Doce. 278
Figura 149 – Detalhe do MDT da região próximo à barragem de Mascarenhas. 280
Figura 150 – Correntes marítimas verificadas ao longo do globo terrestre. 282
Figura 151 – Dados horários de correntes medidos na região do Emissário de Aracruz Celulose ... 283
Figura 152 – Localização dos marégrafos na região. 284

Figura 153 – Localização dos pontos para estimativa dos ventos. 285
Figura 154 – Rosa dos ventos para a localização 1. 287
Figura 155 – Rosa dos ventos para a localização 2. 288
Figura 156 – Rosa dos ventos para a localização 3. 289
Figura 157 – Rosa dos ventos para a localização 4. 290
Figura 158 – Articulação das cartas náuticas que representam a batimetria da área costeira. 292
Figura 159 – Batimetria do oceano junto à foz do rio Doce (parte da carta náutica "Proximidades da Barra do Riacho")..... 293
Figura 160 – Batimetria da área costeira obtida das imagens da missão SRTM..... 294
Figura 161 – Localização das estações de amostragem..... 307
Figura 162 – Estações de amostragem localizadas no rio Gualaxo do Norte. 309
Figura 163 – Localização dos pontos amostrais de Costa (2007)..... 313
Figura 164 – Localização dos pontos amostrais de FEST (2014)..... 314
Figura 165 – Localização dos pontos amostrais de Jordão et al. (1996). 316
Figura 166 – Localização dos pontos amostrais de Pacheco (2015). 318
Figura 167 – Localização das estações de amostragem de Rhodes (2010)..... 321
Figura 168 – Localização dos pontos amostrais de Silva et al. (2013). 323
Figura 169 – Localização dos pontos amostrais de Santolin (2015). 324
Figura 170 – Concentração de mercúrio nos sedimentos analisados..... 325
Figura 171 – Concentração de arsênio nos sedimentos analisados..... 327
Figura 172 – Concentração de cromo nos sedimentos analisados. 327
Figura 173 – Concentração de níquel nos sedimentos analisados..... 328
Figura 174 – Concentração de cobre nos sedimentos analisados..... 329
Figura 175 – Concentração de zinco nos sedimentos analisados. 329
Figura 176 – Concentração de alumínio nos sedimentos analisados. 330
Figura 177 – Concentração de ferro nos sedimentos analisados..... 331
Figura 178 – Concentração de manganês nos sedimentos analisados. 331
Figura 179 – Localização dos pontos amostrais de Varejão et al. (2011). 336
Figura 180 – Distribuição dos resultados de arsênio por trecho..... 341
Figura 181 – Distribuição dos resultados de cádmio por trecho. 343
Figura 182 – Distribuição dos resultados de chumbo por trecho..... 345
Figura 183 – Distribuição dos resultados de cobre por trecho..... 347
Figura 184 – Distribuição dos resultados de cromo por trecho..... 349
Figura 185 – Distribuição dos resultados de mercúrio por trecho..... 351
Figura 186 – Distribuição dos resultados de níquel por trecho..... 353
Figura 187 – Distribuição dos resultados de alumínio por trecho..... 357
Figura 188 – Distribuição dos resultados de ferro por trecho..... 359
Figura 189 – Distribuição dos resultados de manganês por trecho. 361

Figura 190 – Granulometria obtida nas amostras no período seco. 363
Figura 191 – Granulometria obtida nas amostras no período intermediário. 364
Figura 192 – Granulometria obtida nas amostras no período seco. 364
Figura 193 – Distribuição espacial dos dados granulométricos. 367
Figura 194 – Localização dos locais de amostragem dos estudos selecionados. 375
Figura 195 – Litoral de Praia Grande, ao norte do empreendimento da Algadermis. 377
Figura 196 – Mapa faciológico da região dos estudos. 378
Figura 197 – Mapa da foz do rio Doce, no Espírito Santo, com a localização dos pontos de amostragem do estudo. 381
Figura 198 – Mapas evidenciando a influência da dinâmica costeira e processos erosivos na geomorfologia da foz do rio Doce, entre 1991 e 2016. 383
Figura 199 – Localização dos pontos amostrados. 396
Figura 200 – Localização do gasoduto. 400
Figura 201 – Mapa hidrogeológico da bacia do rio Doce. 417
Figura 202 – Estruturas geológicas e a localização dos poços registrados no SIAGAS presentes na bacia do rio Doce. 421
Figura 203 – Perfil hidrogeológico regional. 423
Figura 204 – Destino principal dos elementos químicos majoritários presentes nas rochas magmáticas. 425
Figura 205 – Interação entre a água e uma rocha. 426
Figura 206 – Composição média dos constituintes majoritários nas águas superficial e subterrânea (em $mg.L^{1}$) 427
Figura 207 – Representação em diagrama trilinear das relações entre os cátions majoritários em amostras de água superficial e subterrânea na bacia do rio Gualaxo do Norte, em dois poços profundos e em uma água mineral da bacia hidrográfica do rio Doce. 434
Figura 208 – Caráter hidroquímico determinado em 35 amostras de água na região de Linhares. ..436
Figura 209 – Percentual com valores superiores ao VMP para cada componente químico em 35 amostras de água da região de Linhares. 436
Figura 210 – Localização das estações de monitoramento de qualidade de água na região de estudo. 443
Figura 211 – Representação esquemática do gráfico *box plot*. 449
Figura 212 – Medianas dos valores de cor verdadeira para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 454
Figura 213 – Medianas dos valores de cor verdadeira para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 455
Figura 214 – Gráficos de dispersão dos dados de cor verdadeira ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 455
Figura 215 – Gráficos de dispersão dos dados de cor verdadeira ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 456
Figura 216 – Medianas dos valores de sólidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 459

Figura 217 – Medianas dos valores de sólidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 459
Figura 218 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 460
Figura 219 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II)..... 460
Figura 220 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I). 461
Figura 221 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II). 463
Figura 222 – Medianas dos valores de sólidos dissolvidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 465
Figura 223 – Medianas dos valores de sólidos dissolvidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 465
Figura 224 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos dissolvidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 466
Figura 225 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos dissolvidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 467
Figura 226 – Medianas dos valores de sólidos em suspensão totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 470
Figura 227 – Medianas dos valores de sólidos em suspensão totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 470
Figura 228 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos em suspensão totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce..... 471
Figura 229 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos em suspensão totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 472
Figura 230 – Medianas de turbidez para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 474
Figura 231 – Medianas de turbidez para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 475
Figura 232 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 477
Figura 233 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II)..... 478
Figura 234 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte I)..... 478
Figura 235 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte II). 480
Figura 236 – Comparação entres os dados médios de turbidez e sólidos suspensos totais ao longo das estações de monitoramento. 481
Figura 237 – Comparação entres os dados médios de cor verdadeira e sólidos dissolvidos totais ao longo das estações de monitoramento. 481
Figura 238 – Medianas dos valores de alcalinidade total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 482

Figura 239 – Medianas dos valores de alcalinidade total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 483

Figura 240 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 484

Figura 241 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 485

Figura 242 – Medianas dos valores de alcalinidade de bicarbonato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 486

Figura 243 – Medianas dos valores de alcalinidade de bicarbonato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 486

Figura 244 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade de bicarbonato ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 488

Figura 245 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade de bicarbonato ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 489

Figura 246 – Medianas dos valores de cianeto livre para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 490

Figura 247 – Medianas dos valores de cianeto livre para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 490

Figura 248 – Gráficos de dispersão dos dados de cianeto livre ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 492

Figura 249 – Gráficos de dispersão dos dados de cianeto livre ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 493

Figura 250 – Medianas dos valores de cloreto total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 495

Figura 251 – Medianas dos valores de cloreto total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 495

Figura 252 – Gráficos de dispersão dos dados de cloreto total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 496

Figura 253 – Gráficos de dispersão dos dados de cloreto total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 497

Figura 254 – Medianas dos valores de condutividade elétrica *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 498

Figura 255 – Medianas dos valores de condutividade elétrica *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 499

Figura 256 – Gráficos de dispersão dos dados de condutividade elétrica *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 499

Figura 257 – Gráficos de dispersão dos dados de condutividade elétrica *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 501

Figura 258 – Comparação entre os dados médios de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais ao longo das estações de monitoramento. 502

Figura 259 – Medianas dos valores de demanda bioquímica de oxigênio para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 504

Figura 260 – Medianas dos valores de demanda bioquímica de oxigênio para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 505

Figura 261 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 506
Figura 262 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II). 506
Figura 263 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I). 508
Figura 264 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II). 509
Figura 265 – Medianas dos valores de dureza total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 510
Figura 266 – Medianas dos valores de dureza total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 510
Figura 267 – Gráficos de dispersão dos dados de dureza total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 512
Figura 268 – Gráficos de dispersão dos dados de dureza total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 513
Figura 269 – Medianas dos valores de fenóis totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 515
Figura 270 – Medianas dos valores de fenóis totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 516
Figura 271 – Gráficos de dispersão dos dados de fenóis totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 517
Figura 272 – Gráficos de dispersão dos dados de fenóis totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 518
Figura 273 – Medianas dos valores de fósforo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 521
Figura 274 – Medianas dos valores de fósforo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 521
Figura 275 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 522
Figura 276 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II)..... 523
Figura 277 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I). 523
Figura 278 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II). 525
Figura 279 – Medianas dos valores de nitrogênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 528
Figura 280 – Medianas dos valores de nitrogênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 529
Figura 281 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 530
Figura 282 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II). 531

Figura 283 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I).....531
Figura 284 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II). 533
Figura 285 – Medianas dos valores de nitrato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 535
Figura 286 – Medianas dos valores de nitrato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.....535
Figura 287 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrato ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 536
Figura 288 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrato ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 537
Figura 289 – Medianas dos valores de nitrito para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 539
Figura 290 – Medianas dos valores de nitrito para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.....539
Figura 291 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrito ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 540
Figura 292 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrito ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 540
Figura 293 – Medianas dos valores de nitrogênio amoniacal para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 543
Figura 294 – Medianas dos valores de nitrogênio amoniacal para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 544
Figura 295 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 545
Figura 296 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.....546
Figura 297 – Medianas dos valores de nitrogênio orgânico para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 547
Figura 298 – Medianas dos valores de nitrogênio orgânico para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.....548
Figura 299 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio orgânico ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 549
Figura 300 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio orgânico ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.....550
Figura 301 – Medianas das concentrações de oxigênio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 553
Figura 302 – Medianas das concentrações de oxigênio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 553
Figura 303 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 554
Figura 304 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).....555

Figura 305 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte I). 556
Figura 306 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte II). 557
Figura 307 – Medianas dos valores de pH *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 559
Figura 308 – Medianas dos valores de pH *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 560
Figura 309 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 561
Figura 310 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II). 562
Figura 311 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I). 563
Figura 312 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II). 564
Figura 313 – Medianas dos valores de selênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 566
Figura 314 – Medianas dos valores de selênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 566
Figura 315 – Gráficos de dispersão dos dados de selênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 567
Figura 316 – Gráficos de dispersão dos dados de selênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 568
Figura 317 – Medianas dos valores de sulfato total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 570
Figura 318 – Medianas dos valores de sulfato total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 571
Figura 319 – Gráficos de dispersão dos dados de sulfato total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 572
Figura 320 – Gráficos de dispersão dos dados de sulfato total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 573
Figura 321 – Medianas dos valores de alumínio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 575
Figura 322 – Medianas dos valores de alumínio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 575
Figura 323 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 576
Figura 324 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 577
Figura 325 – Medianas das concentrações de alumínio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 579
Figura 326 – Medianas das concentrações de alumínio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 580

Figura 327 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 580
Figura 328 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce. 582
Figura 329 – Medianas dos valores de arsênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 585
Figura 330 – Medianas dos valores de arsênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 585
Figura 331 – Gráficos de dispersão dos dados de arsênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 586
Figura 332 – Gráficos de dispersão dos dados de arsênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 586
Figura 333 – Medianas dos valores de bário total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 590
Figura 334 – Medianas dos valores de bário total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 590
Figura 335 – Gráficos de dispersão dos dados de bário total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 591
Figura 336 – Gráficos de dispersão dos dados de bário total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 592
Figura 337 – Medianas dos valores de boro total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 594
Figura 338 – Medianas dos valores de boro total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 594
Figura 339 – Gráficos de dispersão dos dados de boro total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 595
Figura 340 – Gráficos de dispersão dos dados de boro total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 596
Figura 341 – Medianas dos valores de boro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 597
Figura 342 – Medianas dos valores de boro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 598
Figura 343 – Gráficos de dispersão dos dados de boro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 599
Figura 344 – Gráficos de dispersão dos dados de boro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 600
Figura 345 – Medianas dos valores de cádmio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 602
Figura 346 – Medianas dos valores de cádmio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 603
Figura 347 – Gráficos de dispersão dos dados de cádmio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 604
Figura 348 – Gráficos de dispersão dos dados de cádmio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 605

Figura 349 – Medianas dos valores de cálcio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 606
Figura 350 – Medianas dos valores de cálcio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 606
Figura 351 – Gráficos de dispersão dos dados de cálcio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 607
Figura 352 – Gráficos de dispersão dos dados de cálcio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 608
Figura 353 – Medianas dos valores de chumbo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 611
Figura 354 – Medianas dos valores de chumbo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 611
Figura 355 – Gráficos de dispersão dos dados de chumbo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 612
Figura 356 – Gráficos de dispersão dos dados de chumbo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 613
Figura 357 – Medianas dos valores de cobre total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 615
Figura 358 – Medianas dos valores de cobre total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 615
Figura 359 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 616
Figura 360 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 616
Figura 361 – Medianas dos valores de cobre dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 619
Figura 362 – Medianas dos valores de cobre dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 619
Figura 363 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce..... 621
Figura 364 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 622
Figura 365 – Medianas dos valores de cromo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 624
Figura 366 – Medianas dos valores de cromo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 625
Figura 367 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 626
Figura 368 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 627
Figura 369 – Medianas dos valores de cromo hexavalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 628
Figura 370 – Medianas dos valores de cromo hexavalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 628

Figura 371 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo hexavalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 629
Figura 372 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo hexavalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 629
Figura 373 – Medianas dos valores de cromo trivalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 631
Figura 374 – Medianas dos valores de cromo trivalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 631
Figura 375 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo trivalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 632
Figura 376 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo trivalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 632
Figura 377 – Medianas das concentrações de ferro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 636
Figura 378 – Medianas das concentrações de ferro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 636
Figura 379 – Gráficos de dispersão dos dados de ferro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 637
Figura 380 – Gráficos de dispersão dos dados de ferro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce. 638
Figura 381 – Medianas dos valores de magnésio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 639
Figura 382 – Medianas dos valores de magnésio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 640
Figura 383 – Gráficos de dispersão dos dados de magnésio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 641
Figura 384 – Gráficos de dispersão dos dados de magnésio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 642
Figura 385 – Comparação entre os dados médios de cálcio e magnésio ao longo das estações de monitoramento. 643
Figura 386 – Medianas das concentrações de manganês total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 645
Figura 387 – Medianas das concentrações de manganês total para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 646
Figura 388 – Gráficos de dispersão dos dados de manganês total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 647
Figura 389 – Gráficos de dispersão dos dados de manganês total ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce. 647
Figura 390 – Comparação entre os dados médios de ferro dissolvido e manganês total ao longo das estações de monitoramento. 648
Figura 391 – Medianas dos valores de mercúrio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 651
Figura 392 – Medianas dos valores de mercúrio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 651

Figura 393 – Gráficos de dispersão dos dados de mercúrio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 652
Figura 394 – Gráficos de dispersão dos dados de mercúrio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 652
Figura 395 – Medianas dos valores de níquel total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 655
Figura 396 – Medianas dos valores de níquel total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 655
Figura 397 – Gráficos de dispersão dos dados de níquel total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 656
Figura 398 – Gráficos de dispersão dos dados de níquel total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 658
Figura 399 – Medianas dos valores de potássio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 659
Figura 400 – Medianas dos valores de potássio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 659
Figura 401 – Gráficos de dispersão dos dados de potássio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce..... 660
Figura 402 – Gráficos de dispersão dos dados de potássio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 661
Figura 403 – Medianas dos valores de sódio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 663
Figura 404 – Medianas dos valores de sódio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 663
Figura 405 – Gráficos de dispersão dos dados de sódio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce..... 664
Figura 406 – Gráficos de dispersão dos dados de sódio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 665
Figura 407 – Comparação entre os dados médios de potássio dissolvido e sódio dissolvido ao longo d as estações de monitoramento. 666
Figura 408 – Medianas dos valores de zinco para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 668
Figura 409 – Medianas dos valores de zinco para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 668
Figura 410 – Gráficos de dispersão dos dados de zinco ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce. 669
Figura 411 – Gráficos de dispersão dos dados de zinco ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce..... 670
Figura 412 – Medianas das concentrações de coliformes termotolerantes para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce..... 672
Figura 413 – Medianas das concentrações de coliformes termotolerantes para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. 673
Figura 414 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I). 674

Figura 415 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).....675
Figura 416 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte I).....676
Figura 417 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte II). 677
Figura 418 – Ordenamento dos parâmetros de qualidade de água para a base de dados do IGAM/MG. 680
Figura 419 – Ordenamento dos parâmetros de qualidade de água para a base de dados do IEMA/ES.....681
Figura 420 – Parâmetros de qualidade de água com percentuais de não conformidade mais expressivos ao longo da região de estudo. 683
Figura 421 – Contribuição das classes de microalgas para a riqueza de espécies registrada no rio Doce e seus afluentes. 695
Figura 422 – Contribuição relativa das classes de algas para a composição da comunidade nas estações de monitoramento ao longo do rio Doce durante os períodos chuvoso e seco..696
Figura 423 – Contribuição relativa das classes de algas para a composição da comunidade nas estações de monitoramento nos afluentes durante os períodos chuvoso e seco. 697
Figura 424 – Densidade média de indivíduos encontrada nas estações avaliadas ao longo do rio Doce durante os períodos chuvoso e seco. 697
Figura 425 – Densidade média de indivíduos encontrada nas estações avaliadas nos afluentes do rio Doce durante os períodos chuvoso e seco. 699
Figura 426 – Valores médios (x), mediana (linha), mínimos e máximos (barra) de clorofila-a ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 700
Figura 427 – Medianas dos valores de clorofila-a para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce. 700
Figura 428 – Valores médios (x), mediana (linha), mínimos e máximos (barra) de clorofila-a nas estações de monitoramento nos afluentes do rio Doce. 701
Figura 429 – Medianas dos valores de clorofila-a para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento nos afluentes do rio Doce. 701
Figura 430 – Densidade celular (cél.mL^{-1}) das cianobactérias registradas no rio Doce. 702
Figura 431 – Densidade celular (cél.mL^{-1}) das cianobactérias registradas nos afluentes do rio Doce. 703
Figura 432 – Espécies exóticas invasoras de ocorrência na bacia do rio Doce. A) Kellicottia bostoniensis (Rotifera); B) Mesocyclops ogunnus (Copepoda).....712
Figura 433 – Riqueza do zooplâncton em sete rios da bacia do médio rio Doce. 714
Figura 434 – Densidade do zooplâncton em sete rios da bacia do médio rio Doce. 714
Figura 435 – Distribuição temporal dos resultados dos ensaios de ecotoxicidade nos pontos avaliados pelo IGAM no rio Doce. 716
Figura 436 – Distribuição temporal dos resultados dos ensaios de ecotoxicidade nos pontos avaliados pelo IGAM nos afluentes do rio Doce. 717
Figura 437 – Localização dos dados de qualidade da água resultantes da busca bibliográfica. 729
Figura 438 – Valores de temperatura (°C) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 733

Figura 439 – Valores de salinidade verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 734
Figura 440 – Tipologia das massas de água no momento das amostragens dos estudos considerados neste relatório. 736
Figura 441 – Valores de pH verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 737
Figura 442 – Distribuição de 3 classes de resultados de pH conforme a tipologia das massas de água. 738
Figura 443 – Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 739
Figura 444 – Distribuição de 4 classes de resultados de OD conforme a tipologia das massas de água. 740
Figura 445 – Valores de demanda bioquímica de oxigênio (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 741
Figura 446 – Distribuição de 3 classes de resultados de DBO5 conforme a tipologia das massas de água. 742
Figura 447 – Valores de sólidos suspensos totais (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 743
Figura 448 – Distribuição de 3 classes de resultados de SSTs conforme a tipologia das massas de água. 744
Figura 449 – Valores de turbidez (UNT) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 745
Figura 450 – Distribuição de 3 classes de resultados de Turbidez conforme a tipologia das massas de água. 746
Figura 451 – Valores de nitrogênio amoniacal (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 747
Figura 452 – Distribuição de 4 classes de resultados de nitrogênio amoniacal conforme a tipologia das massas de água. 748
Figura 453 – Valores de nitrito (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 749
Figura 454 – Distribuição de 3 classes de resultados de nitritos conforme a tipologia das massas de água. 750
Figura 455 – Valores de nitrato (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 751
Figura 456 – Distribuição de 4 classes de resultados de nitratos conforme a tipologia das massas de água. 751
Figura 457 – Valores de fosfato (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 753
Figura 458 – Valores de fósforo total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 753
Figura 459 – Valores de carbono orgânico total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 754
Figura 460 – Distribuição de 4 classes de resultados de COT conforme a tipologia das massas de água. 755

Figura 461 – Valores de clorofila-a (µg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 757
Figura 462 – Distribuição de classes de resultados de clorofila-a conforme a tipologia das massas de água. 758
Figura 463 – Valores de cobre total e cobre dissolvido (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 760
Figura 464 – Distribuição de 2 classes de resultados de cobre total conforme a tipologia das massas de água. 761
Figura 465 – Valores de ferro total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 762
Figura 466 – Distribuição de 2 classes de resultados de ferro total conforme a tipologia das massas de água. 762
Figura 467 – Distribuição da única classe de resultados de ferro dissolvido conforme a tipologia das massas de água. 763
Figura 468 – Valores de manganês total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 764
Figura 469 – Distribuição de 3 classes de resultados de manganês total conforme a tipologia das massas de água. 764
Figura 470 – Valores de zinco total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 766
Figura 471 – Distribuição de 3 classes de resultados de zinco total conforme a tipologia das massas de água. 767
Figura 472 – Valores de chumbo total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 767
Figura 473 – Distribuição de 3 classes de resultados de chumbo total conforme a tipologia das massas de água. 768
Figura 474 – Valores de cádmio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 769
Figura 475 – Distribuição de 2 classes de resultados de cádmio total conforme a tipologia das massas de água. 770
Figura 476 – Valores de mercúrio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 771
Figura 477 – Distribuição de 2 classes de resultados de mercúrio total conforme a tipologia das massas de água. 771
Figura 478 – Valores de alumínio total e dissolvido (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 772
Figura 479 – Distribuição de 2 classes de resultados de alumínio total conforme a tipologia das massas de água. 772
Figura 480 – Valores de arsênio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 774
Figura 481 – Distribuição de 2 classes de resultados de arsênio total conforme a tipologia das massas de água. 774
Figura 482 – Valores de bário total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 775

Figura 483 – Distribuição de 3 classes de resultados de bário total conforme a tipologia das massas de água. 775
Figura 484 – Valores de cromo total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 777
Figura 485 – Distribuição de 2 classes de resultados de cromo total conforme a tipologia das massas de água. 777
Figura 486 – Valores de níquel total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 778
Figura 487 – Distribuição de 2 classes de resultados de níquel total conforme a tipologia das massas de água. 779
Figura 488 – Valores de vanádio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo. 780
Figura 489 – Distribuição da única classe de resultados de vanádio total conforme a tipologia das massas de água. 780
Figura 490 – *Temora turbinata*, espécie exótica invasora. 796
Figura 491 – Totais anuais de precipitação do mês de janeiro na bacia do rio Doce. 858
Figura 492 – Totais anuais de precipitação do mês de fevereiro na bacia do rio Doce. 858
Figura 493 – Totais anuais de precipitação do mês de março na bacia do rio Doce. 859
Figura 494 – Totais anuais de precipitação do mês de abril na bacia do rio Doce. 859
Figura 495 – Totais anuais de precipitação do mês de maio na bacia do rio Doce. 860
Figura 496 – Totais anuais de precipitação do mês de junho na bacia do rio Doce. 860
Figura 497 – Totais anuais de precipitação do mês de julho na bacia do rio Doce. 861
Figura 498 – Totais anuais de precipitação do mês de agosto na bacia do rio Doce. 861
Figura 499 – Totais anuais de precipitação do mês de setembro na bacia do rio Doce. 862
Figura 500 – Totais anuais de precipitação do mês de outubro na bacia do rio Doce. 862
Figura 501 – Totais anuais de precipitação do mês de novembro na bacia do rio Doce. 863
Figura 502 – Totais anuais de precipitação do mês de dezembro na bacia do rio Doce. 863
Figura 503 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56028000. 864
Figura 504 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56055000. 864
Figura 505 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56065000. 865
Figura 506 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56075000. 865
Figura 507 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56085000. 866
Figura 508 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56090000. 866
Figura 509 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56110005. 867
Figura 510 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56145000. 867
Figura 511 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56240000. 868
Figura 512 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56335001. 868
Figura 513 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56337000. 869
Figura 514 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56385000. 869
Figura 515 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56145000. 870

Figura 516 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56425000.....870
Figura 517 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56460000.....871
Figura 518 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56484998.....871
Figura 519 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56500000.....872
Figura 520 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56510000.....872
Figura 521 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56539000.....873
Figura 522 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56570000.....873
Figura 523 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56610000.....874
Figura 524 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56664000.....874
Figura 525 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56659998.....875
Figura 526 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56696000.....875
Figura 527 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56719998.....876
Figura 528 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56750000.....876
Figura 529 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56765000.....877
Figura 530 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56775000.....877
Figura 531 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56787000.....878
Figura 532 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56800000.....878
Figura 533 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56825000.....879
Figura 534 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56845000.....879
Figura 535 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56846000.....880
Figura 536 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56850000.....880
Figura 537 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56851000.....881
Figura 538 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56860000.....881
Figura 539 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56870000.....882
Figura 540 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56891900.....882
Figura 541 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56920000.....883
Figura 542 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56935000.....883
Figura 543 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56940002.....884
Figura 544 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56960005.....884
Figura 545 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56976000.....885
Figura 546 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56978000.....885
Figura 547 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56983000.....886
Figura 548 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56988500.....886
Figura 549 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56989001.....887
Figura 550 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56989400.....887
Figura 551 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56990000.....888
Figura 552 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56990990.....888
Figura 553 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56991500.....889

Figura 554 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56992000. 889
Figura 555 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56993551. 890
Figura 556 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56994500. 890
Figura 557 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56994510. 891
Figura 558 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56995500. 891
Figura 559 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56998400. 892
Figura 560 – Curva de permanência para a estação 56028000. 892
Figura 561 – Curva de permanência para a estação 56055000. 893
Figura 562 – Curva de permanência para a estação 56065000. 893
Figura 563 – Curva de permanência para a estação 56075000. 894
Figura 564 – Curva de permanência para a estação 56085000. 894
Figura 565 – Curva de permanência para a estação 56090000. 895
Figura 566 – Curva de permanência para a estação 56110005. 895
Figura 567 – Curva de permanência para a estação 56145000. 896
Figura 568 – Curva de permanência para a estação 56240000. 896
Figura 569 – Curva de permanência para a estação 56335001. 897
Figura 570 – Curva de permanência para a estação 56337000. 897
Figura 571 – Curva de permanência para a estação 56385000. 898
Figura 572 – Curva de permanência para a estação 56415000. 898
Figura 573 – Curva de permanência para a estação 56425000. 899
Figura 574 – Curva de permanência para a estação 56460000. 899
Figura 575 – Curva de permanência para a estação 56484998. 900
Figura 576 – Curva de permanência para a estação 56500000. 900
Figura 577 – Curva de permanência para a estação 56510000. 901
Figura 578 – Curva de permanência para a estação 56539000. 901
Figura 579 – Curva de permanência para a estação 56570000. 902
Figura 580 – Curva de permanência para a estação 56610000. 902
Figura 581 – Curva de permanência para a estação 56640000. 903
Figura 582 – Curva de permanência para a estação 56659998. 903
Figura 583 – Curva de permanência para a estação 56696000. 904
Figura 584 – Curva de permanência para a estação 56719998. 904
Figura 585 – Curva de permanência para a estação 56750000. 905
Figura 586 – Curva de permanência para a estação 56765000. 905
Figura 587 – Curva de permanência para a estação 56775000. 906
Figura 588 – Curva de permanência para a estação 56787000. 906
Figura 589 – Curva de permanência para a estação 56800000. 907
Figura 590 – Curva de permanência para a estação 56825000. 907
Figura 591 – Curva de permanência para a estação 56845000. 908

Figura 592 – Curva de permanência para a estação 56846000.....908
Figura 593 – Curva de permanência para a estação 56850000.....909
Figura 594 – Curva de permanência para a estação 56851000.....909
Figura 595 – Curva de permanência para a estação 56860000.....910
Figura 596 – Curva de permanência para a estação 56870000.....910
Figura 597 – Curva de permanência para a estação 56891900.....911
Figura 598 – Curva de permanência para a estação 56920000.....911
Figura 599 – Curva de permanência para a estação 56935000.....912
Figura 600 – Curva de permanência para a estação 56940002.....912
Figura 601 – Curva de permanência para a estação 56960005.....913
Figura 602 – Curva de permanência para a estação 56976000.....913
Figura 603 – Curva de permanência para a estação 56978000.....914
Figura 604 – Curva de permanência para a estação 56983000.....914
Figura 605 – Curva de permanência para a estação 56988500.....915
Figura 606 – Curva de permanência para a estação 56989001.....915
Figura 607 – Curva de permanência para a estação 56989400.....916
Figura 608 – Curva de permanência para a estação 56990000.....916
Figura 609 – Curva de permanência para a estação 56990990.....917
Figura 610 – Curva de permanência para a estação 56991500.....917
Figura 611 – Curva de permanência para a estação 56992000.....918
Figura 612 – Curva de permanência para a estação 56993551.....918
Figura 613 – Curva de permanência para a estação 56994500.....919
Figura 614 – Curva de permanência para a estação 56994510.....919
Figura 615 – Curva de permanência para a estação 56995500.....920
Figura 616 – Curva de permanência para a estação 56998400.....920
Figura 617 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Porto Firme. 950
Figura 618 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Ponte Nova Jusante.....950
Figura 619 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Acaiaca Jusante. 951
Figura 620 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Rio Casca. 951
Figura 621 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Cachoeira D'Antas.....952
Figura 622 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Raul Soares Montante. 952
Figura 623 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Cachoeira dos Óculos Montante. 953
Figura 624 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Mario de Carvalho. 953
Figura 625 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Ferros. 954
Figura 626 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Barraca. 954
Figura 627 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Senhora do Porto. 955
Figura 628 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Naque Velho. 955
Figura 629 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Porto Santa Rita. 956

Figura 630 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Governador Valadares. 956
Figura 631 – Curva-chave de Sedimentos na Estação São Pedro de Suaçuí. 957
Figura 632 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Vila Matias Montante. 957
Figura 633 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Tumiritinga. 958
Figura 634 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Dom Cavati. 958
Figura 635 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Bragança. 959
Figura 636 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Assaraí Montante. 959
Figura 637 – Curva-chave de Sedimentos na Estação São Sebastião da Encruzilhada. 960
Figura 638 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Afonso Claudio Monante. 960
Figura 639 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Laranja da Terra. 961
Figura 640 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Baixo Guandu Jusante. 961
Figura 641 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Jusante Córrego da Piaba. 962
Figura 642 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Colatina. 962
Figura 643 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Ponte do Pancas. 963

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resultado da precisão e acurácia das ortoimagens orbitais. 57

Tabela 2 – Frequência média anual de terremotos no planeta. 78

Tabela 3 – Valores de *background* (mg/kg) para sedimentos nos rios Carmo e Gualaxo do Norte... 90

Tabela 4 – Seleção de processos minerários com relevância em potenciais contaminantes. 95

Tabela 5 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 01 - 2.0176.17, expressas na forma de óxidos. 102

Tabela 6 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 03 – 2.0177.17 de sedimento de corrente e da rocha 2.0202.17, expressas na forma de óxidos. 103

Tabela 7 – Cavernas selecionadas para vistoria – Fonte: CANIE. Responsável: CECAV. 107

Tabela 8 – Parâmetros de resistência e permeabilidade utilizados no projeto dos bueiros 1 e 2 sob a EFVM (Geoestável, 2012 apud SETE, 2012). 116

Tabela 9 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da rocha coletada na mina Alegria Sul, expressas na forma de óxidos. 120

Tabela 10 – Tipos de rejeito e percentual em massa em relação ao total de geração. 128

Tabela 11 – Propriedades físicas dos rejeitos da barragem de Fundão, subdivididos nas categorias de areia e lama, conforme a sua granulometria. 132

Tabela 12 – Resultados da caracterização das amostras de rejeito de Germano, em comparação aos valores de referência para solos, para os padrões excedidos. 133

Tabela 13 – Resultados de ensaios de caracterização antes e após a ruptura. 138

Tabela 14 – Parâmetros geotécnicos mais representativos dos materiais depositados. 141

Tabela 15 – Registro das amostras de rejeito e descrição dos pontos de coleta. 146

Tabela 16 – Resultados obtidos nos ensaios físicos de caracterização das amostras de rejeito. 152

Tabela 17 – Resultados obtidos no ensaio de granulometria a laser para as amostras de rejeito de mineração. 155

Tabela 18 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX das amostras de rejeito coletadas, expressas na forma de óxidos. 158

Tabela 19 – Resultados obtidos para a caracterização de fases químicas e mineralógicas, por DRX, das amostras de rejeito coletadas. 159

Tabela 20 – Resultados obtidos para a caracterização por GC/MS dos COVs e fenóis presentes nas amostras de rejeito coletadas. 174

Tabela 21 – Tipos de solo existentes na bacia do rio Doce. 179

Tabela 22 – Classes de solo presentes na área afetada. 182

Tabela 23 – Uso do solo da bacia do Rio Doce. 185

Tabela 24 – Usos do solo presentes na área afetada. 189

Tabela 25 – Valores orientadores para solo de Minas Gerais. 191

Tabela 26 – Estatística descritiva (mediana – coeficiente de variação em %) das propriedades do solo para o estado de Minas Gerais. 193

Tabela 27 – Estatística descritiva (mediana – coeficiente de variação %) das concentrações de metal em mg/kg para o estado de Minas Gerais. 194
Tabela 28 – Rede de monitoramento selecionada para as análises pluviométricas. 211
Tabela 29 – Dados requeridos para cálculo por diversas fórmulas. 228
Tabela 30 – Intervalo e tipo de dados utilizados no desenvolvimento de algumas equações. 229
Tabela 31 – Rede de monitoramento selecionada para as análises fluviométricas. 247
Tabela 32 – Vazões médias de longo termo para as estações fluviométricas selecionadas. 249
Tabela 33 – Resultados da análise da vazão máxima diária de 10000 anos (Q_{10000}) para cada estação. 254
Tabela 34 – Vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ das estações da bacia do rio Doce. 256
Tabela 35 – Rede de monitoramento selecionada para as análises hidrossedimentométricas. 257
Tabela 36 – Parâmetros das equações das curvas-chave sólidas. 264
Tabela 37 – Vazões sólidas específicas de longo termo (produção de sedimentos) – 1998-2015. 264
Tabela 38 – Valores de taxas de emissão de sedimentos estimados por diversos autores. 271
Tabela 39 – Classificação granulométrica de sedimento, de acordo com o tamanho da partícula. 297
Tabela 40 – Classificação dos elementos químicos, com base nos efeitos à biota. 298
Tabela 41 – Classificação da qualidade do sedimento, de acordo com o Igeo. 302
Tabela 42 – Concentrações dos elementos minoritários e majoritários nos sedimentos da barragem de Timbopeba. 307
Tabela 43 – Concentrações dos elementos majoritários e minoritários nos sedimentos da barragem de Natividade. 308
Tabela 44 – Média dos resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos para os elementos majoritários. 310
Tabela 45 – Média dos resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos para os metais pesados. 311
Tabela 46 – Porcentagem de ocorrência de cada elemento em comparação com os valores estabelecidos para os níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012. 314
Tabela 47 – Resultados da concentração de metais nos sedimentos. 315
Tabela 48 – Concentrações dos sedimentos analisados no período chuvoso. 316
Tabela 49 – Concentrações dos sedimentos analisados no período seco. 316
Tabela 50 – Concentrações de metais das amostras analisadas. 318
Tabela 51 – Resultados das análises de metais em sedimentos. 321
Tabela 52 – Resultados das análises nas amostras de sedimentos. 323
Tabela 53 – Igeo para os elementos arsênio, cromo e cobre. 332
Tabela 54 – Igeo para os elementos mercúrio, níquel e zinco. 333
Tabela 55 – Igeo para os elementos alumínio, ferro e manganês. 334
Tabela 56 – FE para os elementos arsênio, cromo, cobre e mercúrio. 335
Tabela 57 – FE para os elementos manganês, níquel, ferro e zinco. 336
Tabela 58 – Resultados das análises de metais em sedimentos. 338
Tabela 59 – Dados granulométricos das amostras. 365

Tabela 60 – Dados granulométricos das amostras. 365
Tabela 61 – Lista de táxons coletados no corpo principal do rio Doce. 371
Tabela 62 – Resultados da concentração de metais. 378
Tabela 63 – Granulometria dos pontos amostrados. 379
Tabela 64 – Valores percentuais da análise granulométrica dos pontos para os períodos de estiagem e chuva na foz do rio Doce. 381
Tabela 65 – Resultados da concentração de metais dos pontos amostrados. 383
Tabela 66 – Classificação da composição do sedimento por teor de carbonato. 385
Tabela 67 – Teores de bio e litoclastos. 385
Tabela 68 – Resultados dos testes crônicos com copépode *Nitokra* sp. 386
Tabela 69 – Resultados de granulometria. 387
Tabela 70 – Resultados dos metais analisados. 388
Tabela 71 – Resultados das concentrações de metais, em mg/kg. 389
Tabela 72 – Análise granulométrica dos sedimentos amostrados (%). 390
Tabela 73 – Resultados analíticos provenientes das análises de metais. 393
Tabela 74 – Composição química das amostras analisadas. 397
Tabela 75 – Composição granulométrica das amostras analisadas. 398
Tabela 76 – Parâmetros estatísticos dos metais em sedimentos da região oceânica norte estudada. 401
Tabela 77 – Parâmetros estatísticos dos metais em sedimentos da região costeira norte estudada na bacia do Espírito Santo. 401
Tabela 78 – Composição granulométrica das amostras analisadas. 402
Tabela 79 – Composição granulométrica das amostras analisadas. 403
Tabela 80 – Poços com disponibilidade de perfil litológico, cadastrados no SIAGAS, localizados em uma faixa de 1.500 m ao longo da calha do rio Doce. 424
Tabela 81 – Compilação de parâmetros do Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008, para substâncias inorgânicas. 429
Tabela 82 – Grupos de parâmetros a serem mensurados ou determinados no monitoramento da qualidade da água subterrânea. 430
Tabela 83 – Variáveis de qualidade de água de poços registrados no SIAGAS, situados em faixa de 1.500 m do canal de drenagem do Rio Doce e afluentes. 431
Tabela 84 – Macroconstituintes iônicos encontrados na água de poços cadastrados no SIAGAS. 431
Tabela 85 – Estações de monitoramento de qualidade de água localizadas no rio Doce. 440
Tabela 86 – Estações de monitoramento de qualidade de água em afluentes do rio Doce. 441
Tabela 87 – Coordenadas geográficas das estações de monitoramento de qualidade de água na área de estudo. 445
Tabela 88 – Variáveis de qualidade de água avaliadas e respectivos limites dispostos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2. 446
Tabela 89 – Definição de quartis. 448
Tabela 90 – Estações de monitoramento de qualidade de água com avaliação de ensaios de ecotoxicidade. 452

Tabela 91 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cor verdadeira no rio Doce. 453

Tabela 92 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cor verdadeira em afluentes do rio Doce. 453

Tabela 93 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos dissolvidos totais no rio Doce. 464

Tabela 94 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos dissolvidos totais em afluentes do rio Doce. 464

Tabela 95 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos em suspensão totais no rio Doce. 468

Tabela 96 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos em suspensão totais em afluentes do rio Doce. 468

Tabela 97 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para a turbidez rio Doce. 473

Tabela 98 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para a turbidez em afluentes do rio Doce. 474

Tabela 99 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cloreto total no rio Doce. 494

Tabela 100 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cloreto total em afluentes do rio Doce. 494

Tabela 101 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para demanda bioquímica de oxigênio no rio Doce. 503

Tabela 102 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para demanda bioquímica de oxigênio em afluentes do rio Doce. 504

Tabela 103 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fenóis totais no rio Doce. 514

Tabela 104 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fenóis totais em afluentes do rio Doce. 515

Tabela 105 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fósforo total no rio Doce. 519

Tabela 106 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fósforo total em afluentes do rio Doce. 519

Tabela 107 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio total no rio Doce. 527

Tabela 108 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio total em afluentes do rio Doce. 527

Tabela 109 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrato no rio Doce. 534

Tabela 110 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrato em afluentes do rio Doce. 534

Tabela 111 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrito no rio Doce. 538

Tabela 112 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrito em afluentes do rio Doce. 538

Tabela 113 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio amoniacal no rio Doce. 542

Tabela 114 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio amoniacal em afluentes do rio Doce. 542

Tabela 115 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o oxigênio dissolvido no rio Doce. 551

Tabela 116 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o oxigênio dissolvido em afluentes do rio Doce. 552

Tabela 117 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para pH *in loco* no rio Doce. 558

Tabela 118 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para pH *in loco* em afluentes do rio Doce. 559

Tabela 119 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para selênio total no rio Doce. 565

Tabela 120 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para selênio total em afluentes do rio Doce. 565

Tabela 121 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sulfato total no rio Doce. 569

Tabela 122 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sulfato total em afluentes do rio Doce. 569

Tabela 123 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o alumínio dissolvido no rio Doce. 578

Tabela 124 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o alumínio dissolvido em afluentes do rio Doce. 579

Tabela 125 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para arsênio total no rio Doce. 584

Tabela 126 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para arsênio total em afluentes do rio Doce. 584

Tabela 127 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para bário total no rio Doce. 588

Tabela 128 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para bário total em afluentes do rio Doce. 588

Tabela 129 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para boro total no rio Doce. 593

Tabela 130 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para boro total em afluentes do rio Doce. 593

Tabela 131 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cádmio total no rio Doce. 601

Tabela 132 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cádmio total em afluentes do rio Doce. 601

Tabela 133 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para chumbo total no rio Doce. 609

Tabela 134 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para chumbo total em afluentes do rio Doce. 610

Tabela 135 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cobre dissolvido no rio Doce. 618

Tabela 136 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cobre dissolvido em afluentes do rio Doce. 619

Tabela 137 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cromo total no rio Doce. 623

Tabela 138 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cromo total em afluentes do rio Doce. 624

Tabela 139 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para ferro dissolvido rio Doce. 634

Tabela 140 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o ferro dissolvido em afluentes do rio Doce. 635

Tabela 141 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para manganês total rio Doce. 644

Tabela 142 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o manganês total em afluentes do rio Doce. 645

Tabela 143 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para mercúrio total no rio Doce. 650

Tabela 144 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para mercúrio total em afluentes do rio Doce. 650

Tabela 145 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para níquel total no rio Doce. 654

Tabela 146 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para níquel total em afluentes do rio Doce. 654

Tabela 147 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para zinco no rio Doce. 667

Tabela 148 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para zinco em afluentes do rio Doce. 667

Tabela 149 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para coliformes termotolerantes no rio Doce. 671

Tabela 150 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para coliformes termotolerantes em afluentes do rio Doce. 672

Tabela 151 – Número de estações do IGAM (%) em que os parâmetros de qualidade de água apresentaram não conformidades. 678

Tabela 152 – Número de estações do IEMA (%) em que os parâmetros de qualidade de água apresentaram não conformidades. 679

Tabela 153 – Listagem e ocorrência de espécies de algas planctônicas encontradas no rio Doce e seus afluentes. 687

Tabela 154 – Compilação da composição de espécies do zooplâncton na bacia do Rio Doce, MG, anterior ao rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG. 706

Tabela 155 – Percentuais de desacordos para os ensaios de ecotoxicidade nas estações de monitoramento de localizadas no rio Doce. 718

Tabela 156 – Percentuais de desacordos para os ensaios de ecotoxicidade nas estações de monitoramento de localizadas nos afluentes do rio Doce. 719

Tabela 157 – Características das massas de água possíveis de serem encontradas na costa leste brasileira. 725
Tabela 158 – Listagem de espécies de microalgas marinhas encontradas no Estado do espírito Santo. 782
Tabela 159 – Lista de espécies do zooplâncton marinho na região litorânea do Espírito Santo. 786
Tabela 160 – Localização das Usinas Hidrelétricas 847
Tabela 161 – Localização dos empreendimentos e obras de arte ao longo do rio Doce e afluentes 847
Tabela 162 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56028000. 921
Tabela 163 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56055000. 921
Tabela 164 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56065000. 921
Tabela 165 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56075000. 921
Tabela 166 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56085000. 922
Tabela 167 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56090000. 922
Tabela 168 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56110005. 922
Tabela 169 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56145000. 922
Tabela 170 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56240000. 923
Tabela 171 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56335001. 923
Tabela 172 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56337000. 923
Tabela 173 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56385000. 923
Tabela 174 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56415000. 924
Tabela 175 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56425000. 924
Tabela 176 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56460000. 924
Tabela 177 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56484998. 924
Tabela 178 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56500000. 925
Tabela 179 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56510000. 925
Tabela 180 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56539000. 925
Tabela 181 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56570000. 925
Tabela 182 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56610000. 926
Tabela 183 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56640000. 926
Tabela 184 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56659998. 926
Tabela 185 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56696000. 926
Tabela 186 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56719998. 927
Tabela 187 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56750000. 927
Tabela 188 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56765000. 927
Tabela 189 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56775000. 927
Tabela 190 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56787000. 928
Tabela 191 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56800000. 928

Tabela 192 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56825000..... 928
Tabela 193 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56845000..... 928
Tabela 194 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56846000..... 929
Tabela 195 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56850000..... 929
Tabela 196 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56851000..... 929
Tabela 197 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56860000..... 929
Tabela 198 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56870000..... 930
Tabela 199 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56891900..... 930
Tabela 200 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56920000..... 930
Tabela 201 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56935000..... 930
Tabela 202 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56940002..... 931
Tabela 203 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56960005..... 931
Tabela 204 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56976000..... 931
Tabela 205 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56978000..... 931
Tabela 206 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56983000..... 932
Tabela 207 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56988500..... 932
Tabela 208 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56989001..... 932
Tabela 209 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56989400..... 932
Tabela 210 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56990000..... 933
Tabela 211 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56990990..... 933
Tabela 212 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56991500..... 933
Tabela 213 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56992000..... 933
Tabela 214 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56993551..... 934
Tabela 215 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56994500..... 934
Tabela 216 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56994510..... 934
Tabela 217 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56995500..... 934
Tabela 218 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56998400..... 934
Tabela 219 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56028000. 935
Tabela 220 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56055000. 935
Tabela 221 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56065000. 935
Tabela 222 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56075000. 935
Tabela 223 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56085000. 936
Tabela 224 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56090000. 936
Tabela 225 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56110005. 936
Tabela 226 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56145000. 936
Tabela 227 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56240000. 937
Tabela 228 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56335001. 937
Tabela 229 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56337000. 937

Tabela 230 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56385000.....937
Tabela 231 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56415000.....938
Tabela 232 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56425000.....938
Tabela 233 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56460000.....938
Tabela 234 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56484998.....938
Tabela 235 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56500000.....939
Tabela 236 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56510000.....939
Tabela 237 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56539000.....939
Tabela 238 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56570000.....939
Tabela 239 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56610000.....940
Tabela 240 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56640000.....940
Tabela 241 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56659998.....940
Tabela 242 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56696000.....940
Tabela 243 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56719998.....941
Tabela 244 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56750000.....941
Tabela 245 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56765000.....941
Tabela 246 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56775000.....941
Tabela 247 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56787000.....942
Tabela 248 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56800000.....942
Tabela 249 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56825000.....942
Tabela 250 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56845000.....942
Tabela 251 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56846000.....943
Tabela 252 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56850000.....943
Tabela 253 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56851000.....943
Tabela 254 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56860000.....943
Tabela 255 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56870000.....944
Tabela 256 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56891900.....944
Tabela 257 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56920000.....944
Tabela 258 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56935000.....944
Tabela 259 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56940002.....945
Tabela 260 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56960005.....945
Tabela 261 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56976000.....945
Tabela 262 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56978000.....945
Tabela 263 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56983000.....946
Tabela 264 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56988500.....946
Tabela 265 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56989001.....946
Tabela 266 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56989400.....946
Tabela 267 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56990000.....947

Tabela 268 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56990990. 947
Tabela 269 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56991500. 947
Tabela 270 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56992000. 947
Tabela 271 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56993551. 948
Tabela 272 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56994500. 948
Tabela 273 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56994510. 948
Tabela 274 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56995500. 948
Tabela 275 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56998400. 949
Tabela 276 – Lista de táxons registrados em literatura para ambientes costeiros do estado do Espírito Santo. 982
Tabela 277 – Lista de táxons de *Porifera* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 990
Tabela 278 – Lista de táxons de *Cnidaria* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 993
Tabela 279 – Lista de táxons de *Nematoda* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 996
Tabela 280 – Lista de táxons de *Mollusca* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 998
Tabela 281 – Lista de táxons de *Polychaeta* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 1013
Tabela 282 – Lista de táxons de *Crustacea* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 1014
Tabela 283 – Lista de táxons de *Echinordemata* coletados pelo ReviZEE – Score Central. 1018

Sumário

1 INTRODUÇÃO 49
Referências 50
2 CONTEXTUALIZAÇÃO 52
2.1 LINHA-BASE 52
2.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS 53
2.2.1 Armazenamento dos dados geoespaciais e geração de metadados 54
2.2.2 Validação das ortoimagens orbitais 56
2.3 ÁREA DE ESTUDO 59
2.3.1 Caracterização da área de estudo 61
Referências 64
3 LINHA-BASE MEIO FÍSICO 67
3.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA 67
3.1.1 Contexto geológico regional 67
3.1.1.1 Arqueano 70
3.1.1.2 Proterozoico inferior 70
3.1.1.3 Cenozoico 72
3.1.2 Geologia estrutural 73
3.1.3 Sismologia 77
3.1.4 Geomorfologia 82
3.1.4.1 Análise multitemporal – morfometria 84
3.1.5 Contexto geoquímico regional 88
3.1.5.1 Processos minerários 90
3.1.5.2 Amostragem preliminar 99
3.1.5.3 Espeleologia 105
3.1.5.4 Visita espeleológica preliminar 109
3.1.6 Geotecnia 115
3.2 PROCESSOS DE MINERAÇÃO, BENEFICIAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REJEITO 117
3.2.1 Geologia local 117
3.2.2 Processos de mineração e de beneficiamento 124
3.2.3 Beneficiamento de minério de ferro 125
3.2.4 Rejeitos de mineração 127
3.2.5 Caracterização do rejeito de mineração 143

3.2.5.1 Coleta de amostras de rejeito de mineração 144
3.2.5.2 Metodologias de preparo e de caracterização das amostras 146
3.2.5.3 Resultados e discussão 152
3.2.5.4 Ensaios químicos de caracterização 158
3.3 SOLOS 175
3.3.1 Importância ambiental 175
3.3.2 Metodologia 176
3.3.3 Tipos de solo 177
3.3.4 Uso do solo 184
3.3.5 Propriedades químicas do solo – metais pesados 190
3.3.6 Propriedades físicas do solo 206
3.3.7 Considerações finais 208
3.4 CLIMA 208
3.4.1 Precipitação 209
3.4.1.1 Análise pluviométrica 211
3.5 HIDROLOGIA 215
3.5.1 Importância ambiental do tema 215
3.5.2 Conceitos 216
3.5.2.1 Ciclo hidrológico 216
3.5.2.2 Vazão e curva de descarga 217
3.5.2.3 Curva de permanência 219
3.5.2.4 Vazões extremas 220
3.5.2.5 Ciclo hidrossedimentológico 221
3.5.2.6 Transporte fluvial de sedimentos 224
3.5.2.7 Medição do transporte de sedimentos 225
3.5.2.8 Cálculo da descarga sólida através de fórmulas 226
3.5.2.9 Distribuição dos sedimentos no tempo 232
3.5.2.10 Estimativa do assoreamento em reservatórios 234
3.5.2.11 Hidrodinâmica estuarina e costeira 235
3.5.3 Metodologia para linha-base 245
3.5.4 Resultados para linha-base 246
3.5.4.1 Análise fluviométrica 246
3.5.4.2 Análise hidrossedimentométrica 257
3.5.4.3 Análise do estágio de assoreamento dos reservatórios 279
3.5.4.4 Caracterização da região oceânica: aspectos hidrodinâmicos e

batimétricos 281
3.5.5 Considerações finais 295
3.6 SEDIMENTOS 296
3.6.1 Principais parâmetros para avaliação da qualidade dos sedimentos 297
3.6.1.1 Granulometria 297
3.6.1.2 Metais e semimetais 298
3.6.1.3 Macroinvertebrados bentônicos 298
3.6.2 Importância ambiental 299
3.6.3 Metodologia 301
3.6.3.1 Distribuição espacial dos dados 304
3.6.3.2 Macroinvertebrados bentônicos 304
3.6.3.3 Bentos de fundos não consolidados (ambientes estuarino e costeiro) 305
3.6.4 Resultados 306
3.6.4.1 Resultados de Basílio (2005) 306
3.6.4.2 Resultados de Costa (2001) 309
3.6.4.3 Resultados de Costa (2007) 312
3.6.4.4 Resultados de FEST (2014) 314
3.6.4.5 Resultados de Jordão et al. (1996) 315
3.6.4.6 Resultados de Pacheco (2015) 317
3.6.4.7 Resultados de Rhodes (2010) 319
3.6.4.8 Resultados de Silva et al. (2013) 322
3.6.4.9 Resultados de Santolin (2015) 324
3.6.4.10 Resultados de Varejão et al. (2011) 336
3.6.4.11 Distribuição espacial dos dados dos autores 338
3.6.4.12 Análise granulométrica 363
3.6.4.13 Macroinvertebrados limníticos 369
3.6.4.14 Resultados das áreas estuarina e costeira 375
3.6.5 Considerações finais 412
3.7 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 413
3.7.1 Importância ambiental do tema 414
3.7.2 Contexto hidrogeológico da bacia hidrográfica do rio Doce 415
3.7.3 Contexto geoambiental 418
3.7.4 Contexto estrutural 419
3.7.5 Fundamentos geoquímicos 424
3.7.5.1 Rochas 424

3.7.5.2 Água 427
3.7.6 Considerações preliminares sobre o quimismo da água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Doce 428
3.7.6.1 Valores de referência de qualidade 428
3.7.6.2 Características hidroquímicas da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Doce 430
3.7.7 Considerações finais 437
3.8 ÁGUAS SUPERFICIAIS FLUVIAIS 438
3.8.1 Importância do tema 439
3.8.2 Metodologia 439
3.8.2.1 Área de estudo e seleção das estações de monitoramento de qualidade de água 439
3.8.3 Parâmetros de qualidade de água e base legal 445
3.8.4 Avaliação dos dados físicos, químicos e microbiológicos da água 447
3.8.4.1 Avaliação do período seco e chuvoso 449
3.8.4.2 Avaliação de não conformidade dos parâmetros de qualidade de água 449
3.8.4.3 Avaliação espacial dos dados de monitoramento de qualidade de água 450
3.8.4.4 Avaliação temporal dos dados de monitoramento de qualidade de água 450
3.8.5 Avaliação da comunidade fitoplanctônica 450
3.8.6 Avaliação da comunidade zooplanctônica 450
3.8.7 Avaliação dos ensaios de ecotoxicidade com *Ceriodaphnia dubia* 451
3.8.8 Resultados 452
3.8.8.1 Resultados das variáveis físicas da água 452
3.8.8.2 Sólidos totais 457
3.8.8.3 Sólidos dissolvidos totais 463
3.8.8.4 Sólidos em suspensão totais 467
3.8.8.5 Turbidez 472
3.8.9 Resultados das variáveis químicas da água (exceto metais e semimetais) 482
3.8.9.1 Alcalinidade total 482
3.8.9.2 Alcalinidade de bicarbonato 485
3.8.9.3 Cianeto livre 489
3.8.9.4 Cloreto total 493

3.8.9.5 Condutividade elétrica in loco 497
3.8.9.6 Demanda bioquímica de oxigênio 502
3.8.9.7 Dureza total 509
3.8.9.8 Fenóis totais 513
3.8.9.9 Fósforo total 518
3.8.9.10 Nitrogênio total 525
3.8.9.11 Nitrato 533
3.8.9.12 Nitrito 537
3.8.9.13 Nitrogênio amoniacal 541
3.8.9.14 Nitrogênio orgânico 546
3.8.9.15 Oxigênio dissolvido 550
3.8.9.16 pH *in loco* 557
3.8.9.17 Selênio total 564
3.8.9.18 Sulfato total 568
3.8.10 Resultados das variáveis químicas da água (metais e semimetais) 573
3.8.10.1 Alumínio total 573
3.8.10.2 Alumínio dissolvido 577
3.8.10.3 Arsênio total 582
3.8.10.4 Bário total 587
3.8.10.5 Boro total 592
3.8.10.6 Boro dissolvido 596
3.8.10.7 Cádmio total 600
3.8.10.8 Cálcio total 605
3.8.10.9 Chumbo total 608
3.8.10.10 Cobre total 613
3.8.10.11 Cobre dissolvido 617
3.8.10.12 Cromo total 622
3.8.10.13 Cromo hexavalente 627
3.8.10.14 Cromo trivalente 630
3.8.10.15 Ferro dissolvido 633
3.8.10.16 Magnésio total 638
3.8.10.17 Manganês total 643
3.8.10.18 Mercúrio total 649
3.8.10.19 Níquel total 653
3.8.10.20 Potássio dissolvido 658

3.8.10.21 Sódio dissolvido 661
3.8.10.22 Zinco 666
3.8.11 Resultados das variáveis microbiológicas da água 670
3.8.11.1 Coliformes termotolerantes 670
3.8.12 Variáveis de qualidade de água com maior número de não conformidades na região de estudo no período pré-desastre 677
3.8.13 Resultados das variáveis biológicas da água 685
3.8.13.1 Resultados da avaliação da comunidade fitoplanctônica 685
3.8.13.2 Resultados da avaliação da comunidade zooplanctônica 704
3.8.15 Considerações finais 719
3.9 ÁGUAS SUPERFICIAIS ESTUARINAS E COSTEIRAS 724
3.9.1 Importância do tema 724
3.9.2 Metodologia 725
3.9.2.1 Avaliação dos dados físicos e químicos de qualidade da água 725
3.9.2.2 Avaliação da comunidade fitoplanctônica 732
3.9.2.3 Avaliação da comunidade zooplanctônica 732
3.9.3 Resultados 733
3.9.3.1 Resultados dos dados físicos e químicos da qualidade da água 733
3.9.3.2 Resultados da avaliação da comunidade fitoplanctônica 781
3.9.3.3 Resultados da avaliação da comunidade zooplanctônica 785
3.9.4 Considerações finais 797
Referências 799
APÊNDICES 829
APÊNDICE A – DADOS GEOESPACIAIS AVALIADOS E DISPONIBILIZADOS 830
APÊNDICE B – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 840
APÊNDICE C – LOCALIZAÇÃO E PRINCIPAIS RIOS FORMADORES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE 841
APÊNDICE D – MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO RIO DOCE 842
APÊNDICE E – PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM PARA SEDIMENTOS DE CORRENTE – PEA – 413 843
APÊNDICE F – LISTA DA LOCALIZAÇÃO DOS PROJETOS DE ENGENHARIA AO LONGO DO RIO DOCE UTILIZADOS COMO BASE PARA O LEVANTAMENTO DE DADOS GEOTÉCNICOS 847
APÊNDICE G – PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM PARA O REJEITO DE MINERAÇÃO – PEA 412 850

APÊNDICE H – MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO DOCE 856
APÊNDICE I – MAPA DE USO DO SOLO NA BACIA DO RIO DOCE 857
APÊNDICE J – ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA 858
APÊNDICE K – ANÁLISE FLUVIOMÉTRICA 864
APÊNDICE L – ANÁLISE SEDIMENTOMÉTRICA 950
APÊNDICE M – ESTATÍSTICA DESCRITIVA 964
APÊNDICE N – GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS DADOS ANALISADOS POR TRECHO 969
APÊNDICE O – LISTA DE TÁXONS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COM REGISTRO NA BACIA DO RIO DOCE 975
APÊNDICE P – LISTA DE TÁXONS DE BENTOS DE FUNDOS NÃO CONSOLIDADOS (AMBIENTES ESTUARINO E COSTEIRO) 982
APÊNDICE Q – MEDIDAS ESTATÍSTICAS E GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DA REGIÃO DE ESTUDO 1020
APÊNDICE R – LOCALIZAÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS DURANTE A ESTAÇÃO CHUVOSA 1319
APÊNDICE S – LOCALIZAÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS DURANTE A ESTAÇÃO SECA 1320
Anexos 1321
ANEXO 1 – PROCESSOS MINERÁRIOS DNPM 1322
ANEXO 2 – CERTIFICADOS DRX 1345
ANEXO 3 – CERTIFICADOS FRX 1354
ANEXO 4 – DADOS DE ENSAIOS DA HYBRAS 1356
ANEXO 5 – CERTIFICADOS FRX – REJEITO 1364
ANEXO 6 – CERTIFICADOS DRX – REJEITO 1366

1 INTRODUÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos minerais de Fundão, pertencente à Samarco Minerações S.A. situada em uma região de cabeceira da bacia hidrográfica do rio Doce, subdistrito de Bento Rodrigues, município de Mariana, estado de Minas Gerais. O rompimento resultou na liberação de um volume estimado de 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração (minério de ferro), água e materiais utilizados em sua construção sobre os rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce (SEDRU, 2016).

Este volume foi transportado pelo rio por, aproximadamente, 663,2 km, desde a barragem de Fundão em Minas Gerais até o oceano Atlântico no estado do Espírito Santo, onde, ao longo de 17 dias, se depositou pelo caminho em diferentes concentrações (PINTO-COELHO, 2015; FERNANDES et al., 2016). Este, que é o maior desastre socioambiental da história do Brasil (ESCOBAR, 2015; SILVA; FERREIRA; SCOTTI, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; LEONARDO et al., 2017) afetou, de forma direta ou indireta, aproximadamente 1,4 milhão de pessoas de 40 municípios, sendo 36 no estado de Minas Gerais e 4 no Espírito Santo (IBAMA, 2015; ORGANON, 2015; PINTO-COELHO, 2015; SILVA; FERREIRA; SCOTTI, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016).

Conforme Laudo Técnico do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2015), alguns dos danos ambientais e sociais diretos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão que podem ser citados são: morte e desaparecimento de pessoas; isolamento de áreas habitadas; desalojamento de comunidades; destruição de moradias e estruturas urbanas; fragmentação de *habitats*; destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa; mortandade de animais de produção e impacto à produção rural; impacto no turismo; restrições à pesca; mortandade de animais domésticos; mortandade da fauna silvestre; mortandade de peixes; impacto na geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas; alteração da qualidade e quantidade de água; e impacto no abastecimento público e dessedentação de animais.

Devido à intensidade do desastre, este foi classificado pela Defesa Civil como desastre de nível IV, o qual corresponde a um "desastre de muito grande porte", cujos danos são importantes e consideráveis (IBAMA, 2015; PINTO-COELHO, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FERNANDES et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016). Estudos apontam que a ocorrência da perda da "memória ecológica" sob os rejeitos e o vasto período de permanência e ação dos metais pesados liberados pela tragédia sob os ecossistemas demandarão extenso tempo de recuperação, que poderá variar entre décadas a cerca de um século (PINTO-COELHO, 2015; FERNANDES et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; LEONARDO et al., 2017). Todavia, somente por meio de amplos estudos ambientais é que será possível conhecer, exatamente, a composição e os efeitos desses rejeitos sobre o ambiente, bem como fazer uma previsão sobre o tempo de depuração e recuperação das áreas atingidas.

Desse modo, cabe aos Institutos Lactec a realização do diagnóstico dos danos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, ao longo da bacia do rio Doce e da zona costeira adjacente, conforme previsto no item 1.8.1 do Termo de Ajustamento Preliminar firmado entre o Ministério Público Federal, Samarco Mineração S.A., Vale S.A. e BHP Billiton Brasil Ltda. As atividades dos Institutos incluem assessoria técnica ao MPF-MG, além da realização de coletas, pesquisas e análise de dados de materiais da região,

de modo a identificar as mudanças nos meios físico, biótico e de bens arqueológicos e culturais para obtenção de um quadro detalhado dos impactos ambientais provocados ou intensificados pelo desastre.

Os serviços iniciaram-se em março de 2017 e, para sua execução, foi criada uma equipe multidisciplinar composta por pesquisadores dos Institutos Lactec e consultores especialistas em várias áreas do conhecimento, como engenharia civil e ambiental, geologia, geofísica, química aplicada, geomática, espeleologia, hidráulica, hidrologia, oceanografia, agronomia, botânica, biologia, arqueologia, história, entre outras.

O levantamento de danos passa inicialmente pela caracterização do ambiente afetado imediatamente antes do desastre. Essa caracterização, denominada linha-base, fornece os subsídios e métricas para mensuração dos impactos advindos do evento. Além disso, permite identificar as áreas diretamente afetadas, delimitando a extensão dos danos. A linha-base remete prioritariamente um cenário tendencial extrapolado a partir de dados prévios e históricos da área de estudo.

O presente relatório apresenta a linha-base dos meios físico, biótico e de bens arqueológicos e culturais para a região afetada pelo rompimento da barragem de Fundão. Por tratar-se de um estudo multidisciplinar, apresenta informações baseadas nos fundamentos das áreas de conhecimento abrangidas, sendo concebido de forma a atingir um nível de objetividade e clareza conceitual que permita servir de base para o estabelecimento da magnitude dos danos ambientais advindos do evento.

Cabe ressaltar que o presente relatório será continuamente atualizado, visto que a obtenção de informações pretéritas ao desastre será constante, ao longo de todo o trabalho, até a consolidação do diagnóstico dos danos socioambientais.

Este documento está organizado em capítulos com numeração sequencial, e estão subdivididos em itens, ou tópicos, para a estruturação hierárquica dos textos por assuntos lógicos. Os textos são complementados e ilustrados por figuras, gráficos, quadros e tabelas, com numeração sequencial. Ao final de cada capítulo são apresentadas suas respectivas referências bibliográficas.

No volume 1, em seu primeiro e segundo capitulo um é apresentada uma introdução, aspectos metodológicos e descrição da área de estudo respectivamente. No terceiro capítulo, inicia-se a apresentação da linha-base pelo meio físico, abrangendo os temas: geologia e geotecnia, processos de mineração, beneficiamento e caracterização de rejeito, solos, clima, hidrologia, sedimentos, águas subterrâneas, águas superficiais fluviais e estuarinas e costeiras. Na sequência, no volume 2, apresenta-se a linha-base do meio biótico, com os temas: áreas protegidas, fauna silvestre, flora e ecotoxicidade. O quinto capítulo constitui-se da linha-base de bens arqueológicos e culturais. No final do documento, constam os apêndices e anexos, devidamente referenciados ao longo do texto.

Referências

ESCOBAR, H. Mud tsunami wreaks ecological havoc in Brazil. **Science**, v. 350, n. 6265, p. 1138-1139, 2015.

ESPINDOLA, H. S.; CAMPOS, R. B. F.; LAMOUNIER, K. C. C.; SILVA, R. S. Desastre da Samarco no Brasil: desafios para a conservação da biodiversidade. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 5, n. 3, p. 74-100, 2016.

FERNANDES, G. W.; GOULART, F. F.; RANIERI, B. D.; COELHO, M. S.; DALES, K.; BOESCHE, N.; BUSTAMANTE, M.; CARVALHO, F. A.; CARVALHO, D.C.; DIRZO, R.; FERNANDES, S.; GALETTI JR, P. M.; MILLAN, V. E. G.; MIELKE, C.; RAMIREZ, J. L.; NEVES, A.; ROGASS, C.; RIBEIRO, S. P.; SCARIOT, A.; SOARES-FILHO, B. Deep

into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: Fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, 25-30, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Laudo técnico preliminar dos impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_Ibama.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2016.

LEONARDO, F.; IZOTON, J.; VALIM, H.; CREADO, E.; TRIGUEIRO, A.; SILVA, B.; DUARTE, L.; SANTANA. N. Rompimento da barragem de Fundão (SAMARCO/VALE/BHP BILLITON) e os efeitos do desastre na foz do Rio Doce, distritos de Regência e Povoação, Linhares (ES). **Relatório de Pesquisa**. Vitória: GEPPEDES. 2017. 114 p.

PINTO-COELHO, R. M. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico UFMG**, v. 24, n. 1, p. 16-43, 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE POLÍTICA URBANA E GESTÃO METROPOLITANA DO GOVERNO DE MINAS GERAIS (SEDRU). **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG**. Responsável: Grupo da Força-Tarefa. Belo Horizonte, 2016. 287p.

SILVA, D. L.; FERREIRA, M. C.; SCOTTI, M. R. O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana (MG) a Regência (ES). Ar**quivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico UFMG**, v. 24, n. 1, 136-158, 2015.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas a conceituação da linha-base, a descrição da área de estudo adotada para a linha-base, aspectos metodológicos e a forma de construção da base de dados geoespacial utilizada no trabalho, parte fundamental das pesquisas da linha-base e de definição dos trabalhos futuros para a elaboração do diagnóstico socioambiental de danos.

2.1 Linha-Base

Para mensurar adequadamente os impactos advindos de um desastre ambiental, deve ser analisada a situação preexistente do ambiente. Essa etapa consiste na coleta, classificação e descrição das condições ambientais envolvidas (recursos, sistemas naturais ou artificiais) específicas da área em questão. Esse processo contribui para a análise da possível relação entre a escala de danos do desastre e a degradação ambiental existente antes do evento. Essa análise indica o papel do ambiente na mitigação ou intensificação do dano (ECLAC, 2003).

A linha-base é tipicamente uma descrição ou caracterização do meio que pode ter sido afetado, com informações relativas ao estado atual do ambiente, o que implica que tais informações devam estar as mais atualizadas possível (OECD, 2006; EUROPEAN UNION, 2008). Além disso, as informações contidas na linha-base devem se basear no entendimento das potencialidades de afetar os sistemas sociais e ambientais, levando em consideração as vulnerabilidades e capacidade de resiliência desse sistema, focando-se nos componentes-chave ambientais identificados durante o exercício de levantamento de informações (OECD, 2006; THERIVEL, 2004 apud SANTOS et al., 2010).

Para Sadler (2001), a linha-base pode ser especificada perante legislações ou procedimentos, que podem determinar, *a priori*, conteúdos mínimos de informação necessária a ser utilizada. A profundidade e detalhamento dessas informações são determinados durante o processo de levantamento de informações, assim como a capacidade e modo como essas informações serão trabalhadas e analisadas. Para não serem levantadas e exauridas informações desnecessárias, a linha-base deve ser elaborada de forma estratégica, juntamente com o levantamento das questões-chave e sabendo qual a profundidade em que elas serão tratadas. O caminho inverso também é válido, em que o primeiro deve se ter uma noção do sistema ambiental em questão para se conseguir definir quais são realmente as questões-chave. Esse caminho fica mais fácil de entender quando se considera a capacidade de suporte e resiliência do sistema (um impacto pode ser facilmente absorvido pelo ambiente), o que pode tornar potenciais impactos significativos em não significativos (ECLAC, 2003; SANTOS et al., 2010).

Existem dois tipos principais de dados de linha-base: os determinados e os indeterminados. Os dados de linha-base determinados são todos os dados intimamente relacionados com o desastre, já os indeterminados são aqueles que não estão diretamente relacionados com o desastre (ASARECA, 2010). Salienta-se, entretanto, que a condição inicial e primordial para avaliação do ambiente prévio ao desastre é ter acesso a informação útil, suficiente e confiável (ECLAC, 2003).

2.2 Aspectos Metodológicos

O estudo de linha-base iniciou-se com o levantamento bibliográfico sobre a região potencialmente afetada pelo desastre, por meio de bases cartográficas, de informações georreferenciadas primárias e secundárias, bem como de estudos previamente desenvolvidos na área. Ademais, a busca pela legislação ambiental aplicável em cada tema nas esferas federal, estadual e municipal forneceu subsídios para caracterização da condição ambiental antes do desastre.

Um extenso levantamento bibliográfico foi realizado em trabalhos publicados (artigos científicos, dissertações, teses, capítulos de livros, livros, resumos de congressos), estudos de impacto ambiental, relatórios técnicos, dados de monitoramentos e documentos em geral, os quais tivessem relação aos temas de estudo na bacia do rio Doce. As informações também foram obtidas nos órgãos oficiais, universidades, instituições de pesquisa e demais entidades, e complementadas com trabalhos de campo para validação ou refinamento desses dados ou informações.

A metodologia empregada para coleta de informações primárias e secundárias para cada tema abordado é descrita nas respectivas seções, sendo que uma base de dados geoespacial comum foi utilizada para a caracterização do ambiente de estudo, identificando as formas de relevo, corpos hídricos, agrupamentos humanos, entre outros, além de delimitar a área de interesse.

A elaboração do diagnóstico do dano ambiental do rio Doce contempla a atuação de profissionais de diferentes áreas, os quais, em sua grande maioria, requerem informações cartográficas e georreferenciadas para elaboração de diversos estudos e análises. A obtenção de dados cartográficos de fontes confiáveis torna-se fundamental para subsidiar o trabalho multidisciplinar. Dessa forma, visando ao atendimento dos objetivos do projeto foi elaborada uma base de dados cartográficos única e devidamente validada, com acesso através de um ambiente virtual, e as atividades envolvidas nesse processo são descritas a seguir.

2.2.1 Armazenamento dos dados geoespaciais e geração de metadados

Tendo em vista trabalhar com uma base de dados cartográficos única e devidamente validada para a elaboração da linha-base, criou-se um ambiente virtual repositório para todos os dados geoespaciais utilizados no âmbito do diagnóstico ambiental. Além disso, também foram estabelecidos procedimentos para o armazenamento desses dados no ambiente repositório. De modo geral, os procedimentos estabelecidos asseguram a integridade das informações de origem e a qualidade dos produtos finais cartográficos.

O sistema repositório e procedimentos estabelecidos visam atender aos seguintes objetivos:

- gerar uma central de dados de origem, em que estes possam ser compartilhados e utilizados para as demandas de produção cartográfica quando necessário;
- criar um mecanismo para identificar qual dado ou camada de informação cartográfica existe, a sua qualidade, como acessá-lo e como utilizá-lo;
- obter dados cartográficos de fontes confiáveis e que atendam aos objetivos e escopo do projeto;
- manter a integridade dos dados de origem;
- identificar, coletar e gerar os metadados para diversas camadas de informações, oriundas de variadas fontes, as quais eventualmente sejam utilizadas no desenvolvimento do projeto;
- gerar informações para os novos dados cartográficos produzidos no decorrer do projeto, com o intuito de descrever o conteúdo, a condição, o histórico, a localização, a abrangência e as limitações dos dados geoespaciais;
- estruturar os dados cartográficos de forma a serem compreendidos pelos programas e computadores conectados à internet.

Inicialmente, todos os dados geoespaciais identificados como passíveis de uso ao diagnóstico tiveram seus metadados incluídos, onde estão descritos os respectivos métodos de produção, conteúdo, fonte de criação, sistema de referência, entre outros dados. Essas informações foram obtidas a partir dos *sites* de origem (ANA, MMA etc.) ou mesmo nos catálogos oficiais do IBGE e Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

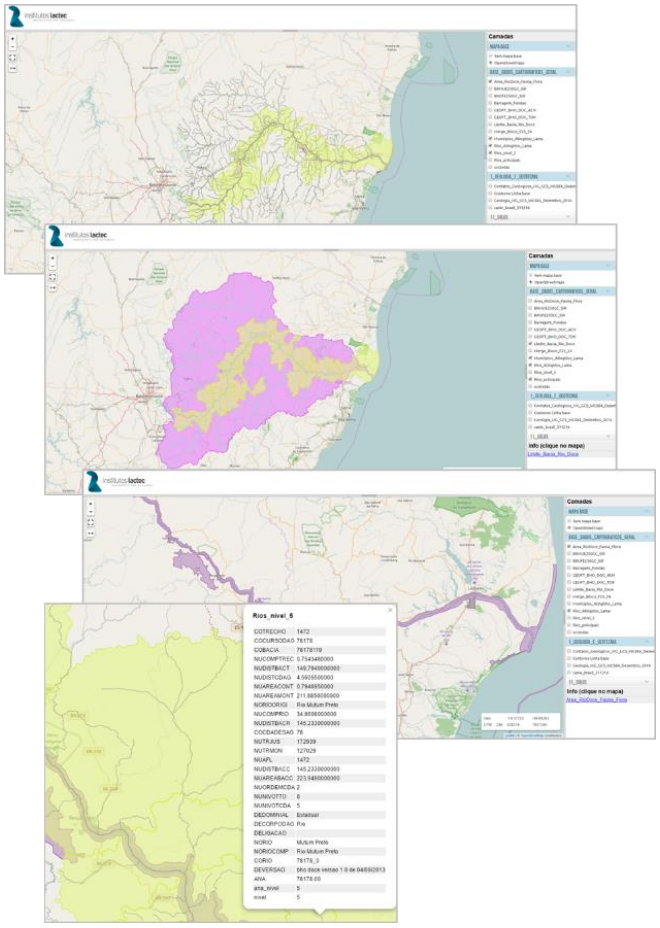
Em seguida, estes foram inseridos em um ambiente de servidor virtual, que contém outras 14 subpastas estruturadas para todas as áreas do conhecimento do projeto (Geologia e Geotecnia; Fauna Silvestre; Cetáceos; Quelônios; Ictiofauna; Ecotoxicologia; Águas Subterrâneas; Águas Superficiais; Hidrologia; Sedimentos; Solos; Flora; Valoração Econômica e Arqueologia) e uma subpasta para os dados gerais e comuns a essas áreas, tais como: Bacia Hidrográfica, Hidrografia, Limites Municipais, Limites Estaduais, Imagens Aéreas, Imagens Orbitais, SRTM, entre outros.

Posteriormente, os dados geoespaciais foram avaliados quanto aos critérios de origem/fonte, completude, escala e sistema de referência, destacando-se que alguns arquivos foram convertidos para o Datum SIRGAS2000, com objetivo de atender à Resolução RPR nº 1/2005 de 25/02/2005 do IBGE. A referida resolução estabelece como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua

realização do ano de 2000 (SIRGAS2000). Após a validação os dados geoespaciais foram liberados para o uso de todas as áreas envolvidas no projeto.

De modo a compartilhar os dados geoespaciais disponíveis com todos os setores envolvidos, foi também desenvolvido um visualizador de dados geoespaciais em ambiente *web*, usando tecnologias de código aberto: sistema operacional Ubuntu, Apache WebServer, MapServer e linguagens de programação PHP e *framework* JavaScript Leafletjs. Essa ferramenta tem por finalidade tornar amigável o acompanhamento da evolução da carga de dados e sem necessitar o uso de programas específicos, bastando o acesso à internet pelo navegador Google Chrome no endereço http://mapas-riodoce (Figura 1).

Figura 1 – Ferramenta desenvolvida para a visualização dos dados geoespaciais em ambiente *web*.



É importante destacar que todos os dados geoespaciais são consultados somente por profissionais envolvidos no projeto por meio de *login* contendo usuário e senha, e a partir dos endereços de IPs de seus computadores pessoais e dispositivos móveis (*tablets* e *smartphones*) que foram cadastrados pelo setor de TI dos Institutos Lactec, tornando a segurança da informação um requisito primordial para o acesso a esses arquivos.

Além dos dados coletados das fontes oficiais, foram disponibilizados pela Fundação Renova, por meio de solicitação ao Ministério Público Federal, um conjunto de materiais cartográficos e ortoimagens orbitais (Satélites GeoEye-1, WorldView-2, WorldView-3,

Kompsat-3, SPOT-6 e SPOT-7) produzidos após o desastre ambiental e que conferem um grande volume de dados geoespaciais para validação.

Todos os dados geoespaciais avaliados e disponibilizados até o momento estão discriminados conforme o **Apêndice A**.

2.2.2 Validação das ortoimagens orbitais

Subsidiando o trabalho desenvolvido pelas equipes multidisciplinares, a análise temporal por meio de imagens orbitais das áreas atingidas pela lama permite estudar as condições do ambiente anteriores ao evento em questão, fornecendo elementos para a linha-base e, posterior ao evento, fornecendo elementos para o diagnóstico ambiental e avaliação de danos.

As imagens orbitais disponibilizadas foram divididas em três grupos T0, T1 e T2 para a análise temporal, conforme a descrição abaixo:

- T0: imagens pré-desastre, relativas ao período de 21/01/2015 a 05/11/2015;
- T1: imagens pós-desastre, no período de 06/11/2015 a 08/01/2016;
- T2: imagens pós-desastre, relativas ao período de 05/02/2016 a 10/03/2016.

As ortoimagens orbitais relativas aos períodos pré e pós-desastre (T0, T1 e T2) passaram por uma avaliação quanto à precisão e acurácia a fim de se determinar a escala dos produtos cartográficos a serem obtidos a partir dessas imagens. Conclui-se que todos os produtos cartográficos gerados por meio desses insumos disponibilizados deverão se limitar à escala 1:20.000. Com base na classificação do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) e da escala definida (1:20.000), os produtos cartográficos apresentarão Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), classe A.

Para a avaliação das ortoimagens orbitais, foram escolhidos e avaliados 70 pontos nas imagens do período pré-desastre (T0), 69 nas imagens do período pós-desastre (T1) e 67 nas imagens do período pós-desastre (T2). Esses pontos são fotoidentificáveis, homólogos e foram distribuídos geometricamente ao longo de todo o trecho, desde a barragem de Fundão até a foz do rio Doce, conforme a Figura 2. Os resultados de precisão e acurácia das ortoimagens orbitais são apresentados na Tabela 1 e na Figura 3, Figura 4 e Figura 5.

Figura 2 – Distribuição dos Pontos utilizados na validação das ortoimagens orbitais.

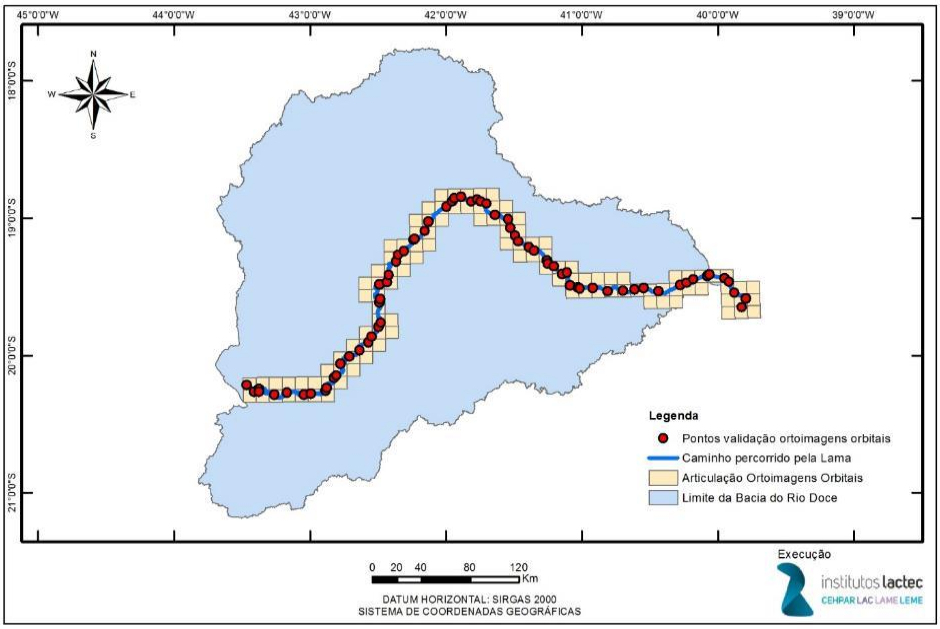


Tabela 1 – Resultado da precisão e acurácia das ortoimagens orbitais.

	Ortoimagens Orbitais Período Pré-Desastre (T0)			Ortoimagens Orbitais Período Pós-Desastre (T1)			Ortoimagens Orbitais Período Pós-Desastre (T2)		
	ΔE (m)	**ΔN (m)**	**Discrepância**	**ΔE (m)**	**ΔN (m)**	**Discrepância**	**ΔE (m)**	**ΔN (m)**	**Discrepância**
MÉDIA	1,13	1,23	4,48	0,20	-2,02	5,91	-0,40	0,11	2,84
DESVIO PADRÃO	3,53	3,51	**2,68**	5,47	4,54	**4,40**	4,16	2,45	**3,92**
REMQ	3,68	3,69	**5,21**	5,44	4,94	**7,35**	4,15	2,43	**4,81**
	TOTAL DE AMOSTRAS		70	TOTAL DE AMOSTRAS		68	TOTAL DE AMOSTRAS		67
	QUANT. AMOSTRAS EXTRAPOLAM LIMITE		3	QUANT. AMOSTRAS EXTRAPOLAM LIMITE		7	QUANT. AMOSTRAS EXTRAPOLAM LIMITE		2
	% DE AMOSTRAS OK (ESCALA 1:20.000)		96%	% DE AMOSTRAS OK (ESCALA 1:20.000)		90%	% DE AMOSTRAS OK (ESCALA 1:20.000)		97%

Figura 3 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pré-desastre (T0).

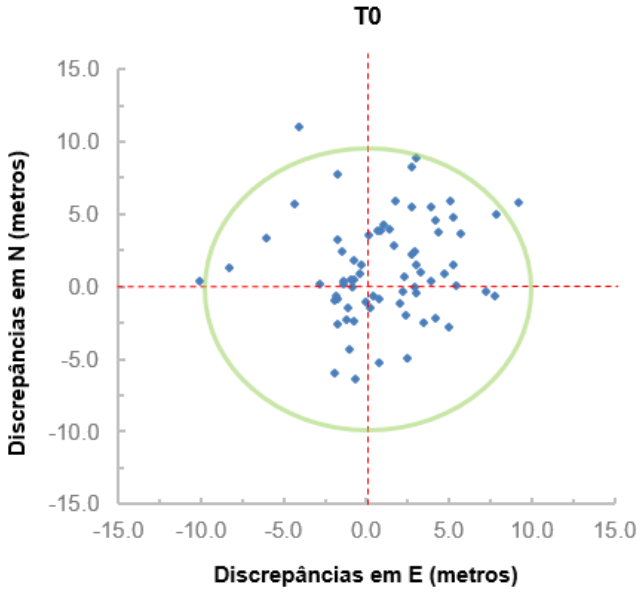


Figura 4 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T1).

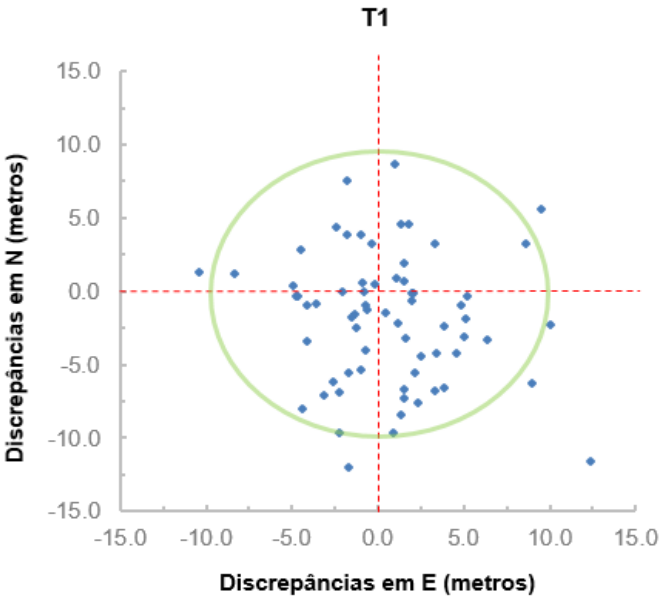
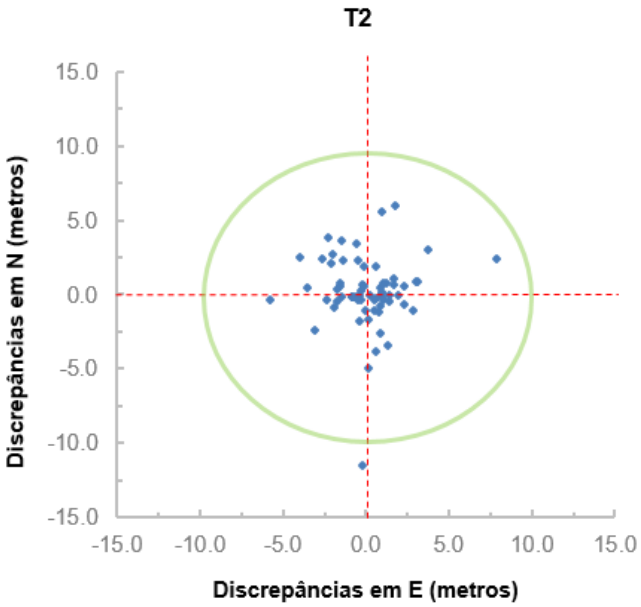


Figura 5 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T2).



2.3 Área de Estudo

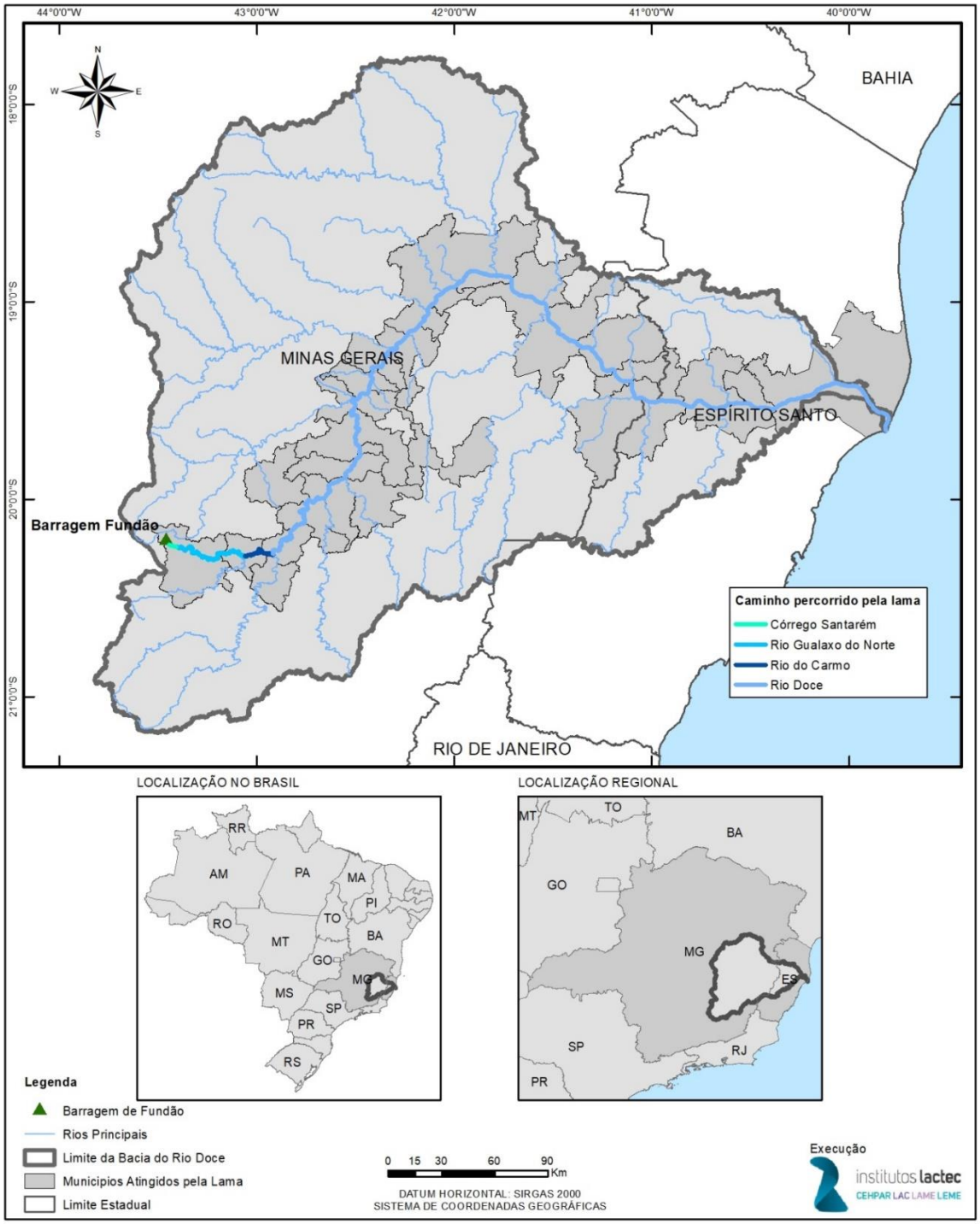
A realização do diagnóstico socioambiental inicia-se com a definição da área de estudo, ou seja, a delimitação do local que será objeto do levantamento de dados. A área de estudo poderá variar em função do tipo de levantamento a ser realizado, e o grau de detalhe de um tipo de levantamento especializado poderá ser diferente de um levantamento temático (SÁNCHEZ, 2008).

As áreas de influência consideram a abrangência espacial das repercussões ou efeitos das ações necessárias para a análise de um evento – seja ele a instalação de um novo empreendimento ou um desastre ambiental –, as quais serão causas de modificações nos vários fatores físicos, bióticos e antrópicos que caracterizam seu ambiente de referência. Enquanto algumas dessas modificações, ou impactos ambientais, ocorrerão em espaços limitados ou reduzidos, outras poderão se manifestar em espaços mais amplos, o que estabelece os requisitos para se distinguir diferentes áreas de influência.

Para os trabalhos de linha-base aqui desenvolvidos, a área de estudo foi definida considerando um amplo nível de abrangência, além de uma escala e dados de referência compatíveis, para uma análise uniforme e conjunta das informações disponíveis da região impactada de acordo com os diferentes temas.

Assim, a área de abrangência deste estudo engloba a bacia hidrográfica do rio Doce, desde suas nascentes, em Minas Gerais, até sua foz e região costeira no litoral do Espírito Santo, onde o rio deságua no oceano Atlântico (Figura 6; **Apêndice B**).

Figura 6 – Mapa de localização da área de estudo.



Visando também à análise em uma escala mais específica, adotou-se a definição de área afetada, a qual contempla a área em que o rejeito oriundo do rompimento da barragem atingiu diretamente os cursos de água e seus afluentes, desde o local do rompimento no município de Mariana (MG) até a sua foz em Regência (ES). Essa área foi delimitada a partir da análise temporal de imagens satelitais disponibilizadas, criando-se um limite físico da área atingida pela lama de rejeitos.

É importante ressaltar que essas definições adotadas para a linha-base são uma primeira referência para o desenvolvimento dos estudos e, portanto, têm caráter preliminar,

podendo sofrer revisão ao longo do desenvolvimento do diagnóstico ambiental, à medida que novas informações serão colhidas e passíveis de análise mais detalhada. Além disso, dentro de cada temática estudada, outras escalas de abordagem poderão ser definidas conforme a necessidade e, caso sejam elencadas, serão comentadas em seus respectivos itens no presente relatório.

2.3.1 Caracterização da área de estudo

A seguir é apresentada uma caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Doce, abordando alguns aspectos que serão mais detalhados na descrição da linha-base para os meios físico e biótico.

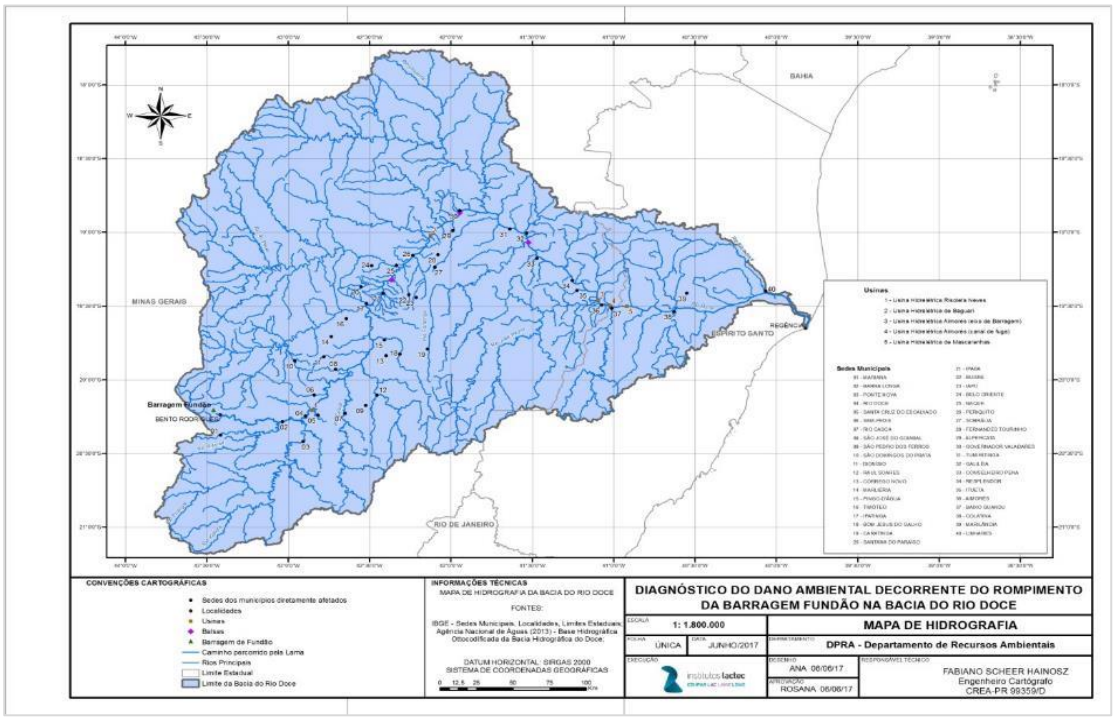
A bacia hidrográfica do rio Doce é considerada a quinta maior bacia hidrográfica brasileira, com uma área de drenagem de 83.400 km^2, a qual atravessa o território de dois estados da região Sudeste do Brasil, Minas Gerais e Espírito Santo. O estado de Minas Gerais detém 86% da área de drenagem dessa bacia, enquanto no estado do Espírito Santo, a área de drenagem representa 14% (ANDRADE, 2003; MORAIS, 2009; EUCLYDES et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010, CBH-DOCE, 2014; ESPINDOLA et al., 2016; ANA, 2016a; LIMA, 2016; LEONARDO et al., 2017). A bacia do rio Doce delimita-se ao sul com a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e bacias do litoral sul do Espírito Santo, a sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Grande, a oeste com a bacia hidrográfica do rio São Francisco, ao norte e noroeste com a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e a nordeste com as bacias do litoral norte do Espírito Santo (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Dentro do estado de Minas Gerais, a bacia hidrográfica do rio Doce é subdividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs), as quais correspondem às seguintes sub-bacias e seus respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs): rio Piranga (DO1), rio Piracicaba (DO2), rio Santo Antônio (DO3), rio Suaçuí (DO4), rio Caratinga (DO5) e rio Manhuaçu (DO6). No Espírito Santo, não há subdivisões administrativas, mas sim CBHs, a saber: dos rios Santa Maria do Doce, Guandu e Pontões e lagoas do rio Doce (EUCLYDES et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; LIMA, 2016).

O rio Doce, especificamente, tem suas nascentes no planalto do estado de Minas Gerais, nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, com altitudes superiores a 1.100 metros, e é subdividido em: Alto curso – desde as cabeceiras na Serra da Trapizonga até a foz do rio Matipó; Médio curso – desde a confluência do rio Matipó até a divisa de MG/ES – foz do rio Manhuaçu, na cidade de Aimorés; Baixo curso – da divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo até a foz do rio Doce (ALMEIDA et al., 2004; ANA, 2012). O rio nasce exatamente na confluência dos rios Piranga e do Carmo, na região denominada de “Alto rio Doce”. A extensão territorial percorrida pelas águas desse rio é de cerca de 880 km até que atinja o oceano Atlântico, na região de Regência, no Estado do Espírito Santo (EUCLYDES et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a; LIMA, 2016; LEONARDO et al., 2017). Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios: Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais, Pancas e São José, no Espírito Santo; pela margem direita são os rios: Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais, e Guandu,

no Espírito Santo (Figura 7; **Apêndice C**) (EUCLYDES, et al. 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; LIMA, 2016).

Figura 7 – Localização e principais rios formadores da bacia hidrográfica do rio Doce.



Fonte: Consórcio Ecoplan-Lume (2010), validado por Institutos Lactec.

De modo geral, as rochas encontradas a oeste da área de estudo, no alto curso do rio Doce, nas proximidades da barragem de Fundão, são pertencentes à histórica província geológica do Quadrilátero Ferrífero, descrita por Dorr et al. (1959) como uma clássica geoprovíncia auriferrífera de idade pré-cambriana. Nessa região encontram-se as mais importantes jazidas de ferro de Minas Gerais. Na sequência, sentido leste, na porção centro-oeste da área estudada, ocorre ampla variação de rochas alcalinas, graníticas, migmatíticas, gnáissicas e vulcano-sedimentares, de idades que vão do paleoproterozoico ao neoproterozoico. Por fim, a leste, as sequências proterozoicas dão lugar a domínios de rochas cenozoicas, formadas por sedimentos inconsolidados a semiconsolidados resultantes dos processos intempéricos atuantes sobre essas sequências ao longo do tempo geológico.

Em toda a extensão da bacia do rio Doce são encontradas 15 classes de solos, sendo que a maioria é do tipo latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho e latossolo vermelho, com 50, 14 e 13% de representatividade da área da bacia do rio Doce, respectivamente (EMBRAPA, 1978; FEAM, 2010).

Noventa e oito por cento da área da bacia hidrográfica do rio Doce se encontra no bioma Mata Atlântica, um dos mais importantes e ameaçados do mundo (atualmente reduzido a menos de 7% da sua área original), os 2% restantes estão inseridos no bioma Cerrado (MORAIS, 2009; CBH-DOCE, 2014; ANA 2016a; ESPINDOLA et al., 2016; SOS MATA ATLÂNTICA, 2017). Esses biomas apresentam elevada riqueza de espécies, com altos índices de ocorrência de espécies endêmicas (ou seja, com distribuição geográfica restrita a região),

das quais muitas encontram-se ameaçadas de extinção (BRASIL, 2000; MYERS et al., 2000; BRASIL, 2003; MACHADO; DRUMMOND; PAGLIA, 2008).

Duzentos e vinte e cinco municípios compõem a bacia hidrográfica do rio Doce, sendo eles total ou parcialmente inseridos na área de abrangência da bacia, onde 200 deles localizam-se em território mineiro e 25 em território capixaba, os quais totalizam cerca de 3,6 milhões de habitantes (ANA, 2016a; ESPINDOLA et al., 2016; LEONARDO et al., 2017).

É válido ressaltar que os recursos hídricos dessa bacia são essenciais para a população de toda a área por ela drenada, uma vez que sua água é destinada a diferentes usos, tais como: doméstico, industrial, agropecuário e geração de energia (ANA, 2016a; ESPINDOLA et al., 2016). Dos 225 municípios, 209 dependem exclusivamente da captação de águas superficiais, sendo que oito destes retiram água diretamente do rio Doce.

Conforme a ANA (2016a), a bacia apresenta um quadro de grande supressão da cobertura vegetal, estando os remanescentes florestais restritos às áreas mais declivosas do terreno. As pastagens encontram-se bastante degradadas, com baixa cobertura do solo, intenso pisoteio e compactação, o que proporciona uma superfície suscetível à erosão do solo, formando volumes expressivos de sedimentos que são carreados aos cursos d'água.

O assoreamento tem sido apontado em diversos estudos como um dos sérios problemas dessa bacia, especialmente na região do baixo rio Doce, o qual recebe elevada carga de sedimentos provenientes de diferentes atividades antropogênicas das áreas a montante do rio, especialmente do médio rio Doce, entre o estado de Minas Gerais e o Espírito Santo (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; POLIZEL; ROSSETTI, 2014; ANA, 2016a; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016).

Os rios, córregos e várzeas da região refletem os prejuízos causados pela quase inexistência de sistema de tratamento de esgotos, pelos despejos inadequados advindos da mineração e demais indústrias da região, pelo uso indiscriminado de agrotóxicos nas lavouras etc. (ANDRADE, 2003; ALMEIDA et al., 2004; MORAIS, 2009; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; LIMA E SILVA et al., 2013; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a; LIMA 2016).

A bacia está sujeita à ocorrência de inundações ocasionadas pela ocupação irregular, condicionada pelo relevo da planície de inundação onde algumas cidades da região estão localizadas e são, durante os períodos de chuva mais severos, castigadas pelo alagamento parcial resultando em graves prejuízos à região (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; ANA, 2016a, b).

Durante os séculos XVI e XVII, as principais atividades econômicas da área eram o plantio de cana-de-açúcar e a extração de ouro. No século XIX, a produção cafeeira teve sua ascensão seguida pela descoberta do Quadrilátero Ferrífero no início do século XX (ALMEIDA et al., 2004; LIMA, 2016). Atualmente, as atividades na região são bastante diversificadas, tais como: agropecuária (cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado de corte e leiteiro, suinocultura), agroindústria (produção de açúcar e álcool), atividade madeireira (indústrias de celulose, reflorestadoras), comércio e serviços voltados aos complexos industriais e geração de energia elétrica. Encontram-se, atualmente, em operação nessa bacia 10 Usinas Hidrelétricas (UHEs), sendo 4 delas localizadas no rio Doce e 6 em seus afluentes (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; ANA, 2016a).

O maior complexo siderúrgico da América Latina, com diversas empresas do ramo de siderurgia, e as maiores empresas de mineração (para extração de ferro, ouro, bauxita,

manganês, pedras preciosas e outros) ficam localizadas na região abrangida pela bacia, compondo os chamados "Vale do Aço" e Quadrilátero Ferrífero. Estas, que representam atividades econômicas muito importantes para a arrecadação do estado de Minas Gerais e Espírito Santo, são, também, as maiores responsáveis pela pressão sobre os recursos naturais da bacia, especialmente nas cabeceiras dos rios Piracicaba e Carmo, onde se concentram o maior número de lavras.

De acordo com a Codesa (2014) e com o *site* do governo do estado do Espírito Santo (2017), no litoral capixaba, região que inclui a foz do rio Doce, existem 18 portos, por onde são escoados os produtos das diferentes industrias da região. Destes, somente o Porto de Vitória transportou cerca de 3,4 milhões de toneladas de minérios em 2014 (CODESA, 2014). As principais vias de acesso terrestre aos portos, ou, ainda, dos portos às capitais estaduais e demais regiões populosas e potenciais beneficiários desses produtos, são as rodovias federais inseridas no entorno da bacia do rio Doce. Além das rodovias, existe a linha férrea, especificamente a Estrada Ferroviária Vitória-Minas (EFVM), que liga o município de Belo Horizonte a Vitória numa extensão de 898 km passando pelo Vale do Aço. Essa ferrovia foi incorporada pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) em 1940 e é utilizada, principalmente, para o transporte de produtos oriundos da região (minério de ferro, carvão mineral, calcário, ferro, aço, produtos agrícolas etc.), além de ser uma das poucas ferrovias que realizam o transporte de passageiros (BRASIL, 2006; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Embora o baixo rio Doce seja a porção mais conservada de toda a bacia, esta passou por intenso processo de ocupação, transformação e interferências diretas no canal principal, como, por exemplo, a transposição do rio Doce, junto à sua foz, para o abastecimento de uma indústria de papel e celulose, alterando as características naturais do rio nessa região (BRASIL, 2006; TEIXEIRA, 2010; LEONARDO et al., 2017). Além disso, essa porção da bacia já apresenta claros sinais dos impactos causados pelas atividades antropogênicas, onde o mais marcante desses impactos é o assoreamento, mas, também, apresenta uma extensa área alterada por atividades de mineração, extração de areia, agricultura, construção de canais para drenagem de água e reflorestamento (FIGUEIREDO et al., 2014; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016; LEONARDO et al., 2017).

É válido ressaltar, ainda, que o maior adensamento populacional ocorre nos municípios de Ipatinga (região metropolitana do Vale do Aço), Governador Valadares, Aimorés, Colatina e Linhares, e que mais de 100 dos municípios possuem população rural, que sobrevive da exploração agropecuária, em proporções superiores à urbana (ALMEIDA et al., 2004; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório técnico**: ocorrência de cianobactérias na bacia hidrográfica do rio Doce. Brasília, DF: ANA, 2012.

_____. **Mapa de uso e ocupação do solo em moderada resolução espacial (10m) da bacia do rio Doce**. Brasília, DF: ANA, 2016a. Disponível em: <metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=49a3aa22-fff4-4527-a17b-64b6ad31d8cb>. Acesso em: 3 maio 2017.

_____. **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce**: rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília, DF: ANA, 2016b.

ALMEIDA, N. L.; RODRIGUES, L. C. R.; CAMPOS, J. C. F.; AMODEO, N. B. P. Diagnóstico socioeconômico e ambiental do leste mineiro como subsídio para políticas públicas de planejamento e desenvolvimento regional. **II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional**. 2004. Disponível em: <www.unisc.br/site/sidr/2004/planejamento/15.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.

ANDRADE, C. A. **Estudo ecotoxicológico no trecho médio da bacia do rio Doce – MG**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

APRILE, F.; LORANDI, R.; SIQUEIRA, G. W. Influence of natural and anthropogenic processes in the coastline evolution at the Doce river mouth (Espírito Santo, Brazil). **British Journal of Environment and Climate Change**, v. 6, n. 1, p. 18-27, 2016.

ASSOCIATION FOR STRENGTHENING AGRICULTURAL RESEARCH IN EASTERN AND CENTRAL AFRICA (ASARECA). **Monitoring and evaluation series**. Guidelines for Project Baseline studies. Uganda: ASARECA: 2010. Disponível em: <http://usaidprojectstarter.org/sites/default/files/resources/pdfs/Guidelines-for-Project-Baseline-studies.pdf> Acesso em: 16 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Brasília, DF: Conservation International do Brasil/Fundação SOS Mata Atlântica/Fundação Biodiversitas/Instituto de Pesquisas Ecológicas/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo SEMAD/Instituto Estadual de Florestas-MG, 2000.

_____. **Lista nacional das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção**. Brasília, DF: MMA, 2003. Disponível em: <www.meioambiente.es.gov.br/.NovaListaFaunaAmeacaMMA2003.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017.

_____. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica atlântico sudeste**. Brasília, DF: MMA, 2006.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE). **A bacia**. Governador Valadares: CBH-DOCE, 2014. Disponível em <http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia>. Acesso em: 3 maio 2017.

COMPANHIA DOCAS DO ESPÍRITO SANTOS (CODESA). Movimentação de cargas no Porto de Vitória aumenta 22,5%. **Secretaria Nacional de Portos**, 17 set. 2014. Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/home-1/noticias/movimentacao-de-cargas-no-porto-de-vitoria-aumenta-22-5>. Acessado em: 11 jul. 2017.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades e planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce**: relatório final. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010.

DORR, J. V. N.; HERZ, N.; BARBOSA, A. L. M.; SIMMONS, G. C. **Esboço geológico do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM, 1959.

ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC). **Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters**. ECLAC: 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1978.

ESPINDOLA, H. S.; CAMPOS, R. B. F.; LAMOUNIER, K. C. C.; SILVA, R. S. Desastre da Samarco no Brasil: desafios para a conservação da biodiversidade. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 5, n. 3, p. 74-100, 2016.

ESPÍRITO SANTO (Estado). **Portos**. Disponível em: <https://es.gov.br/portos-2>. Acessado em: 11 jul. 2017.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FILHO, R. F. F.; OLIVEIRA, E. P. Atualização dos estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Doce. **Atlas digital das águas de Minas**, 2010. <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/resumo_doce.html>. Acesso em: 4 maio 2017.

EUROPEAN UNION. The European Parliament. **Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment**. 2008.

FIGUEIREDO, J. A.; NORIEGA, C. D.; OLIVEIRA, E. M. C.; NETO, R. R.; BARROSO, G. F.; FILHO, M. A. Avaliação biogeoquímica de águas fluviais com ênfase no comportamento dos compostos de nitrogênio e fósforo total para diagnoses provenientes do sistema aquático bacia do rio Doce, no Espírito Santo. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 2, p. 215-226, 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Mapa de solos do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte**. Belo Horizonte: FEAM, 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais> Acesso em: 22 maio 2017.

LEONARDO, F.; IZOTON, J.; VALIM, H.; CREADO, E.; TRIGUEIRO, A.; SILVA, B.; DUARTE, L.; SANTANA. N. **Rompimento da barragem de Fundão (SAMARCO/VALE/BHP BILLITON) e os efeitos do desastre na foz do Rio Doce, distritos de Regência e Povoação, Linhares (ES)**. Relatório de Pesquisa. GEPPEDES, 2017.

LIMA E SILVA, C.; COSTA, A. T.; LANDA, G. G.; FONSECA, H. F. C.; SILVEIRA, A. Evaluation of sediment contamination by trace elements and the zooplankton community analysis in area affected by gold exploration in Southeast (SE) of the Iron Quadrangle, Alto Rio Doce, (MG) Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 2, p. 150-157, 2013.

LIMA, H. S. **Qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio Doce e sua relação com aspectos socioambientais**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: MMA, 2008.

MORAIS, A. C. T. **Concentração de metais pesados em peixes teleósteos do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Applying strategic environmental assessment**: good practice guidance for development co-operation. OECD, 2006.

ORGANON, Núcleo de Estudo, Pesquisa e Extensão em Mobilizações Sociais. **Impactos socioambientais no Espírito Santo da ruptura da barragem de rejeitos da Samarco**. Relatório preliminar, nov./dez. 2015.

POLIZEL, S. P.; ROSSETTI, D. F. Caracterização morfológica do delta do rio Doce (ES) com base em análise multissensor. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 311-326, 2014.

SADLER, B. A. Framework approach to strategic environmental assessment: aims, principles and elements of good practice. In: DUSIK, J. (Ed.). **Proceedings of international workshop on public participation and health aspects in strategic environmental assessment**. Szentendre, Hungary: The Regional Environmental Center, 2001.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, S. M.; MOLINA, N. S.; CETRULO, T. B.; GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. O escopo da avaliação ambiental estratégica. **INGEPRO**, v. 2, n. 6, p. 101-112, jul. 2010.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Período 2015-2016. Relatório Técnico. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/link/Atlas_Mata_Atlantica_2015-2016_relatorio_tecnico_2017.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017.

TEIXEIRA, C. C. A **(Re)Organização da beira-mar**: diferentes modos de uso e ocupação no Norte do Espírito Santo. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

3 LINHA-BASE MEIO FÍSICO

Neste capítulo, é apresentada a descrição e análise da área de estudo por meio de levantamentos de componentes e processos do meio ambiente físico e de suas interações, fornecendo um retrato da situação pré-desastre. O levantamento de linha-base do meio físico foi realizado segundo seus componentes geologia e geotecnia, processo de mineração, beneficiamento e caracterização de rejeito, solos, clima, hidrologia, sedimentos, águas subterrâneas, águas superficiais fluviais e águas superficiais estuarinas e costeiras, em função das técnicas específicas de abordagem de cada uma das áreas.

3.1 Geologia e Geotecnia

Para a descrição de linha-base, é necessário resgatar o conhecimento geológico-geotécnico da área de estudo, considerando que a geologia está intrinsecamente relacionada aos diversos aspectos do meio físico, entre os quais destacam-se o relevo, a geomorfologia, as drenagens superficiais e subterrâneas, os solos e os sedimentos e, sobretudo, os recursos minerais. Seu entendimento e caracterização são de fundamental importância para a compreensão dos diversos processos naturais atuantes na área de estudo e, consequentemente, serve de base para a avaliação dos impactos ambientais causados pelo rompimento da barragem de rejeito.

Além de informações sobre o contexto geológico regional e local, nesta seção estão abordadas, também, as considerações sobre a geologia estrutural, a geomorfologia, a sismologia, a geoquímica, os processos minerários, as mineralizações associadas e as informações do acervo espeleológico. A geologia também está intrinsecamente relacionada aos aquíferos subterrâneos, que serão abordados no item 3.7.

3.1.1 Contexto geológico regional

Dado que a área de estudo se apresenta em uma grande extensão, as descrições referentes às unidades geológicas e suas respectivas litologias foram, via de regra, realizadas segundo a direção principal da calha do rio Doce, ou seja, de oeste para leste.

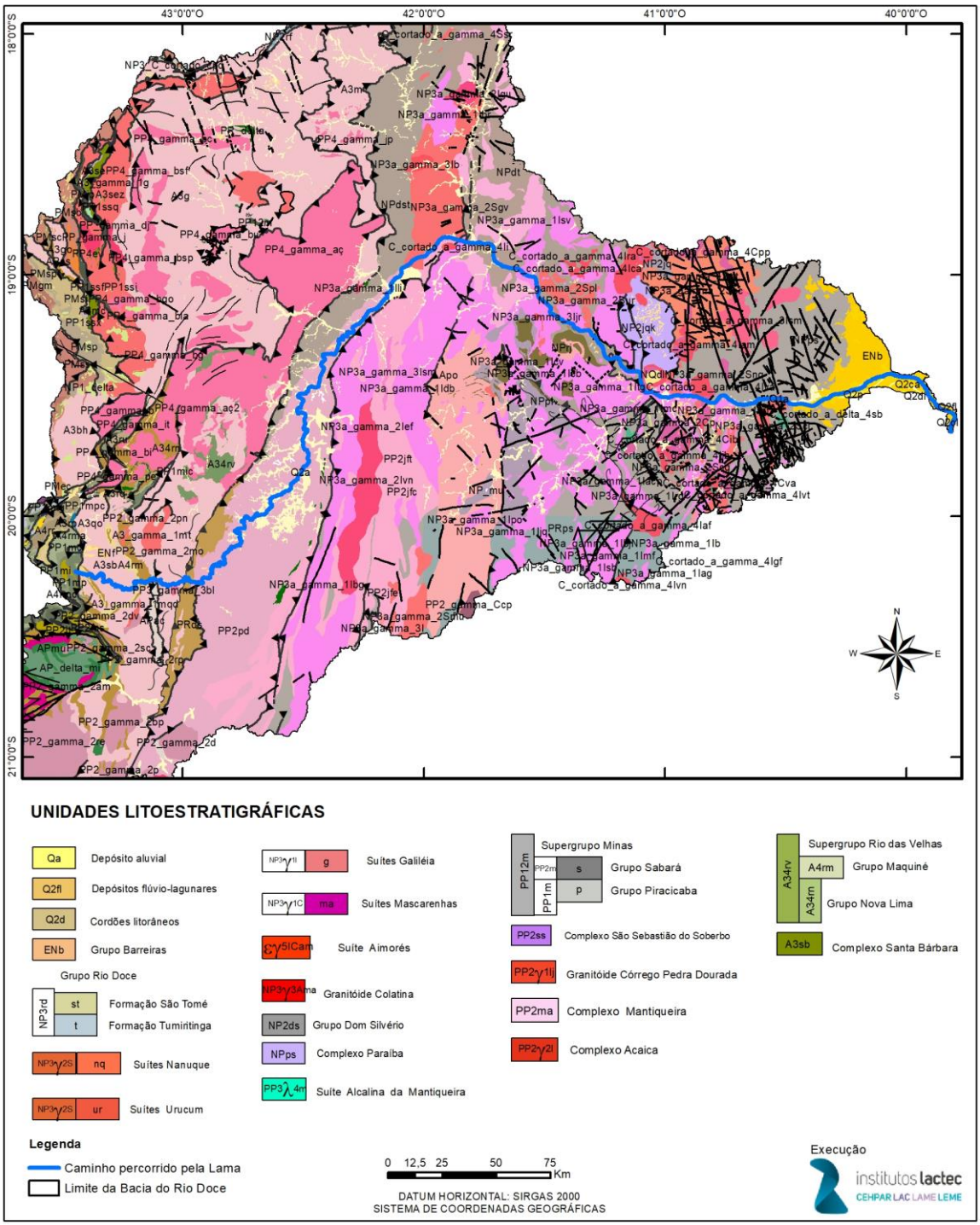
De um modo geral, as rochas encontradas a oeste da área de estudo, no alto curso do rio Doce, nas proximidades da barragem de Fundão, são pertencentes à histórica província geológica do Quadrilátero Ferrífero (QF), descrita por Dorr et al. (1959), como uma clássica geoprovíncia auriferrífera de idade pré-cambriana. Nessa região, encontram-se as mais importantes jazidas de ferro de Minas Gerais. De acordo com Dorr (1969), ocorrem rochas graníticas-gnáissicas, sobrepostas por sucessões metassedimentares e vulcanoclásticas paleoproterozoicas e, também, grandes depósitos de itabirito (*Banded Iron Formation* – BIF), da igualmente conhecida Formação Cauê.

Na sequência, sentido leste, na porção centro-oeste da área estudada, ocorre uma ampla variação de rochas alcalinas, graníticas, migmatíticas, gnáissicas e vulcano-sedimentares, de idades que vão do paleoproterozoico ao neoproterozoico.

Por fim, a leste, as sequências proterozoicas dão lugar a domínios de rochas cenozoicas, formadas por sedimentos inconsolidados a semiconsolidados resultantes dos processos intempéricos atuantes sobre essas sequências ao longo do tempo geológico.

Dessa forma, nesta seção está apresentada uma síntese das principais unidades litoestratigráficas, encontradas ao longo da área de estudo, de acordo com a Figura 8 e **Apêndice D**. A representação dessas unidades se dá conforme as idades geológicas destas, sendo as mais antigas desde do Éon Arqueano, com aproximadamente 2,6 Ga, até rochas da Era Cenozoica, que compreendem sequências sedimentares que vão desde 65 Ma até o Quaternário.

Figura 8 – Imagem do mapa geológico representativo da área de estudo – que engloba desde o Quadrilátero Ferrífero, a oeste, até a foz do rio Doce, a leste.



Nota: Modificado do mapa do Brasil ao milionésimo SF 23 – Rio de Janeiro, SE 23 – Belo Horizonte, SF 24 – Vitória e SE 24 – rio Doce da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2004), mapeamento realizado na escala 1:1.000.000.

3.1.1.1 Arqueano

Supergrupo Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero

As rochas metavulcânicas ultramáficas e máficas, de filiação komatiítica, com raras e delgadas intercalações de formações ferríferas e de metacherte, pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas (DORR, 1969; LADEIRA, 1980; LADEIRA; ROESER, 1983; ROESER et al., 1980). O Supergrupo Rio das Velhas é constituído, na base pelo Grupo Nova Lima, e para o topo, pelo Grupo Maquiné, superior.

No Grupo Nova Lima, conforme descrito por Dorr (1969), ocorrem metassedimentos pelíticos e psamíticos, metavulcanitos básicos a ácidos, formações ferríferas, formações manganesíferas (gonditos, queluzitos), metacherte e raros dolomitos e conglomerados (LADEIRA, 1980). No topo do Supergrupo, encontra-se o Grupo Maquiné que é constituído por metassedimentos detríticos, quartzitos, filitos, conglomerados (DORR, 1969).

O Grupo Maquiné é constituído de unidades psamíticas da Formação Palmital na base e, no topo, as unidades clásticas da Formação Casa Forte. A primeira apresenta maiores quantidades de material clorítico e sericítico, enquanto que a última consiste principalmente em quartzitos e conglomerados (DORR, 1969; FÉBOLI, 2010).

Estudos recentes realizados por Lana et al. (2013), com base em distribuições geocronológicas, sugerem que o Complexo Metamórfico Santa Bárbara representa a única relíquia da crosta Paleoarqueana do Sul do Cráton do São Francisco.

3.1.1.2 Proterozoico inferior

Supergrupo Minas – Quadrilátero Ferrífero

As rochas supracrustais do Supergrupo Minas compreendem uma grande cobertura de formações tabulares de elevada extensão lateral, apresentando litologias relativamente consistentes (DORR, 1969). Sua sedimentação iniciou-se no Paleoproterozoico e consistiu, primeiramente, na deposição de sedimentos clásticos em ambiente continental, representados pelos grupos Tamanduá e Caraça. Posteriormente, ocorre a deposição do Grupo Itabira, em ambiente marinho plataformal relacionado à bacia de margem passiva onde se encontram os principais depósitos de ferro do QF (DORR, 1969).

Esse ambiente marinho torna-se mais profundo ocasionando a deposição de pelitos e psamitos do Grupo Piracicaba sobre os sedimentos do Grupo Itabira. Em sequência, ocorre a deposição dos sedimentos clásticos do Grupo Sabará (BIZZI et al., 2003).

Nessas unidades litoestratigráficas, ocorre o solo cambissolo háplico Tb distroférrico. Conforme a Embrapa (2006), os cambissolos são identificados normalmente em relevos forte ondulados ou montanhosos, que não apresentam horizonte superficial A Húmico (EMBRAPA, 2006).

As rochas do Complexo Acaica são, predominantemente, granulitos, que se distribuem ao longo de uma área com algumas dezenas de quilômetros de extensão NS e de poucos quilômetros de largura, que é ladeada por terrenos com gnaisses de fácies anfibolito (JORDT-

EVANGELISTA, 1984, 1985; JORDT-EVANGELISTA; MULLER, 1986a, 1986b). O solo proveniente dos litotipos desse complexo é o argissolo vermelho-amarelo eutrófico. Ocorrem em áreas de relevos mais acidentados e dissecados do que os relevos nas áreas de ocorrência dos latossolos (EMBRAPA, 2006).

O Complexo Mantiqueira, que ocorre ao sul do QF, é caracterizado por uma associação de corpos máficos e granitoides de composição tonalítica a granítica (NOCE; MACHADO; TEIXEIRA, 1998; NOCE et al., 2000; VALENÇA et al., 2000; ÁVILA, 2000, SILVA et al., 2002; TEIXEIRA et al., 2004). O litotipo predominante é um biotita-anfibólio ortognaisse bandado de composição tonalítica a granítica. Na porção a oeste da área descrita, os solos são classificados como argissolos vermelho-amarelo eutrófico e, em sentido leste, em direção à região central, passam para latossolos amarelos distróficos tipo A; esse último caracterizado por horizonte A antrópico (EMBRAPA, 2006).

O Granitoide Córrego Pedra Dourada é caracterizado por ortognaisses tonalíticos predominantes; já, no Complexo São Sebastião do Soberbo, ocorrem paragnaisses, rochas calcissilicáticas e formações ferríferas bandadas, e, na Suíte Alcalina da Mantiqueira, ortognaisses sienítico alcalino. O solo desse granitoide, é o argissolo vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA, 2006).

O Complexo Paraíba, descrito por Rosier e Ebert (BARBOSA; GROSSI SAD, 1983), é constituído por biotita gnaisses paraderivados, localmente migmatizados, com intercalações de gnaisses kinzigíticos, mármores, quartzitos impuros (feldspáticos e/ou micáceos e/ou sillimaníticos) e rochas cálcio-silicáticas com estruturas gnáissicas ou não. Essa unidade, que aflora para a porção leste da área, estão presentes solos podzólicos vermelho-amarelo equivalente (EMBRAPA, 2006).

O Grupo Dom Silvério representa uma associação metavulcano-sedimentar essencialmente composta por xistos diversos, com raras intercalações centimétricas a decimétricas de quartzito (PERES, 2000). O litotipo predominante, entretanto, é representado por granada-biotita xisto, ora mais quartzoso, ora menos. Toda a sucessão apresenta granulação média a grossa e encontra-se intensamente foliada. Os afloramentos do Grupo Dom Silvério apresentam-se, em geral, muito intemperizados. Os solos são classificados como argissolo vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA, 2006).

O Granitoide Colatina é caracterizado por rochas de cor cinza ou cinza esverdeada e granulação fina a média, devido à presença de piroxênio. O Granitoide Colatina é uma rocha inequigranular, fanerítica, geralmente foliada, mostrando planos de biotitas bem orientados e presença frequente de veios e bolsões de fusão de material leucocrático. Como mineralogia essencial, observa-se o quartzo, o feldspato potássico e a biotita (TULLER, 1993).

As rochas da Suíte Aimorés são divididas em biotita granito e rochas da série charnockítica. As rochas graníticas e charnockíticas possuem composições mineralógicas mais silicosas e o biotita granito é levemente classificado como peraluminoso. As rochas charnockíticas são predominantemente metaluminosas, com algumas amostras levemente peraluminosas devido à granada encontrada próximo à zona de contato com as rochas encaixantes (QUEIROGA et al., 2012).

O solo proveniente dessa suíte granítica é classificado como argissolo vermelho eutrófico tipo A (EMBRAPA, 2006).

Na Suíte Mascarenhas ocorrem rochas como monzonitos, monzonitos verdes, porfiríticos, de grão médio a grosso. Na Suíte Galileia ocorrem tonalitos e granodioritos foliados. A Suíte Urucum é caracterizada por granada-biotita granito foliado e, por fim, entre as suítes ígneas, ocorre a granada-biotita granito foliado da Suíte Nanuque. A Suíte Mascarenhas, conforme a posição mais a oeste ou a leste, respectivamente, os solos são classificados como neossolo flúvico e latossolo vermelho-amarelo, respectivamente (EMBRAPA, 2006).

O Grupo Rio Doce foi originalmente descrito por Barbosa et al. (1966), na região do Médio Rio Doce, e é dividido na Formação Tumiritinga, com ocorrência de agmatitos e migmatitos com intercalações centimétricas a métricas, em espessura, de metacalcário cristalino muito puro (GROSSI SAD et al., 1989, 1990), e na Formação São Tomé, com ocorrência de biotita, moscovita e xistos, transicionando a gnaisses xistosos, com porções portando granada e plagioclásio. Contém abundantes filões de quartzo e notáveis corpos pegmatíticos, de importância econômica para o quartzo, o feldspato, o berilo, a água-marinha e as turmalinas variadas (GROSSI SAD et al., 1989, 1990).

Os solos originados a partir da intemperização das rochas do Grupo Rio Doce, são classificados como cambissolos háplicos Tb eutrófico típico (EMBRAPA, 2006).

3.1.1.3 Cenozoico

Sequências sedimentares de canais fluviais, planícies aluvionares e fluxos densos, com potencial para caulim e ouro, correspondem à Formação São Domingos do Médio Jequitinhonha (SAADI; PEDROSA-SOARES, 1990) e outras coberturas correlativas do Grupo Barreiras. Nessas sequências sedimentares são comuns bancos de argilitos caulínicos, com extensões laterais expressivas. Em particular no Médio Jequitinhonha, os níveis de conglomerados basais da Formação São Domingos, nos arredores de Chapada do Norte, parecem ter sido garimpados para ouro.

No Brasil, o abaixamento do nível relativo do mar de cerca de 3 a 4 m nos últimos 5.700 anos favoreceu a progradação da linha de costa, originando extensas planícies de cordões litorâneos.

Piazza e Araújo (1972), estudando o delta do rio Doce, ao caracterizarem a feição morfológica positiva alongada moldada sobre as areias da baixada, denominaram o termo ‘cordão litorâneo’. No estado do Espírito Santo, os cordões litorâneos distribuem-se formando uma faixa praticamente contínua ao longo da costa, em toda a extensão da frente deltaica, com larguras que variam de 16 km, na região da foz do rio Doce, ao mínimo de 240 m, ao norte de Conceição da Barra. Esses autores ainda identificaram dois tipos de cordão litorâneo recentes: eólicos e marinhos (depósitos de praia). São constituídos de areia quartzosa cuja granulometria é variável.

Ocorrem da antiga foz do paleocanal norte do rio Doce, para o sul, areias grosseiras marinhas com grânulos, seixos e conchas, tornando-se mais finas ao norte daquela região. As areias eólicas caracterizam-se pela textura fina, boa seleção e ausência de mica.

Os depósitos fluviolagunares ocorrem nas zonas baixas e contêm sedimentos sílticos e/ou arenoargilosos ricos em matéria orgânica, podendo apresentar grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares. Esses depósitos separam os terraços arenosos

pleistocênicos e holocênicos ou estão presentes nos cursos inferiores de grandes vales não preenchidos por sedimentos fluviais.

Os depósitos aluvionares são litologicamente diferenciados em aluviões ou areias brancas. O primeiro tipo constitui os depósitos de areias quartzosas grossas, de grãos angulosos mal selecionados, conglomeráticas, micáceas, com intercalações argilossílticas e argilosas.

As areias brancas são quartzosas, de granulação média a grossa, mal selecionadas. Esses depósitos se estendem por algumas centenas de metros segundo uma direção leste-oeste acima do Grupo Barreiras parecendo representar antigos canais fluviais (MABESOONE, 1985).

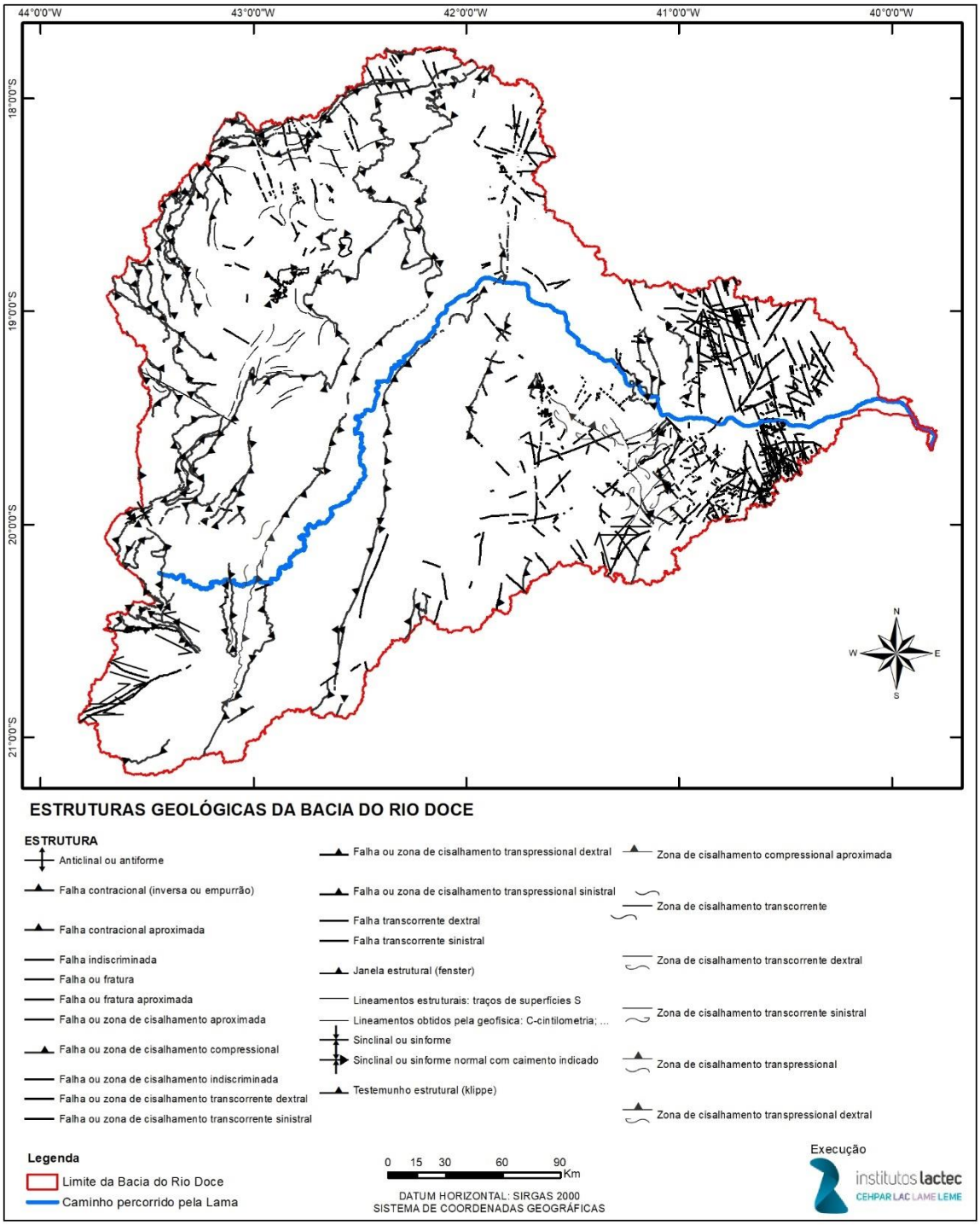
Os solos classificados na região de afloramento de rochas do Grupo Barreiras e depósitos aluvionares distantes da costa são latossolos vermelho-amarelos coesos. Já, para os depósitos colúvio-aluvionares são neossolos flúvicos e na costa estes mesmos depósitos são classificados como areias quartzosas marinhas (EMBRAPA, 2006).

3.1.2 Geologia estrutural

Conforme mencionado, o entendimento do meio físico de uma determinada área envolve a compreensão de uma série de aspectos. No caso da geologia, um dos aspectos determinantes para caracterização do meio são as estruturas geológicas.

Considerando que essas estruturas condicionam e controlam o fluxo de água superficial e, sobretudo, o fluxo de água subterrânea (Figura 9), seu entendimento é de fundamental importância para os estudos geomorfológicos e hidrogeológicos voltados às análises ambientais e eventuais degradações/contaminações dos aquíferos.

Figura 9 – Mapa estrutural da Bacia do rio Doce.

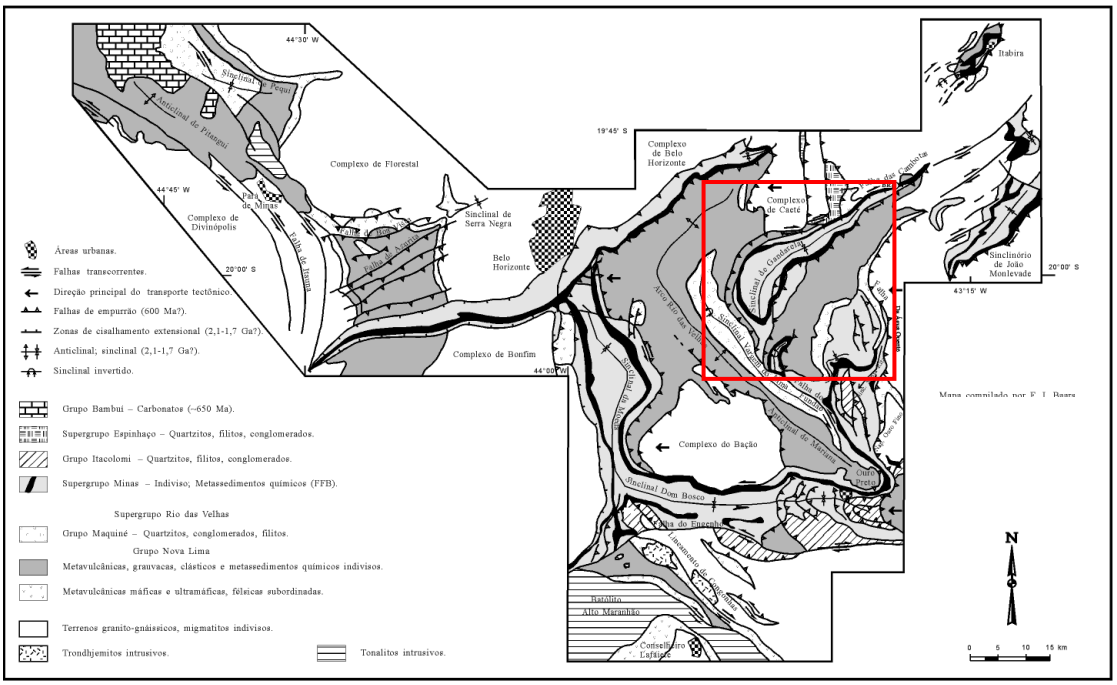


Nota: Modificado do mapa do Brasil ao milionésimo SF 23 – Rio de Janeiro, SE 23 – Belo Horizonte, SF 24 – Vitória e SE 24 – rio Doce da CPRM (2004), mapeamento realizado na escala 1:1.000.000.

Existem diversos tipos de estrutura geológica que, via de regra, são marcados por lineamentos. De acordo com O'Leary, Friedman e Pohn (1976), lineamento é uma feição mapeável na superfície terrestre, linear, retilínea ou suavemente encurvada, simples ou composta. A sua presença reflete fenômenos de subsuperfície que podem estar relacionados com falhas, fraturas ou outras morfoestruturas. Os lineamentos podem representar altos topográficos (lineamentos positivos, como cristas alinhadas) e baixos topográficos (lineamentos negativos, como drenagens e vales).

A região do QF apresenta dois grupos de famílias de estruturas geradas em dois períodos orogenéticos principais: o período Transamazônico, que foi responsável pela geração de megadobras da região, sob condição de metamorfismo regional, e o período Brasiliano, que foi responsável pelos redobramentos e falhamentos, além de sistemas de cavalgamentos, sob condição de metamorfismo regional (Figura 10) (MARSHAK; ALKMIM, 1989; CHEMALE JR.; ROSIÈRE; ENDO, 1992; ROSIÈRE et al., 1996).

Figura 10 – Imagem do mapa estrutural e estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero e adjacências. Em destaque, encontra-se a região da mina da Samarco.



Fonte: Rosière et al., (1996).

Atualmente, o QF tem sido dividido em dois maiores domínios tectônicos, a região oriental, que é considerada como um domínio de alta tensão com desenvolvimento da zona de cisalhamento generalizada e estruturas difundidas, e a região ocidental, que apresenta um grau de deformação baixo com sinclinais preservados e estruturas primárias reconhecíveis (ROSIÈRE et al., 2001). O grau de metamorfismo também aumenta de oeste para leste e a assembleia mineral indica variação de 300 °C e 3 Kbar no Oeste para 600 °C e 5 Kbar no Leste (PIRES, 1995).

Segundo Dorr (1969), a estrutura tectônica do Sinclinal Gandarela é seccionada pela falha do Fundão na sua porção sudeste e central e com afloramentos dos grupos Itabira e Sabará. Apresenta metassedimentos do Supergrupo Minas e está em contato com o Grupo

Nova Lima, pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas, e com embasamento composto por rochas graníticas do Complexo Metamórfico Caeté (OLIVEIRA; ENDO; OLIVEIRA, 2005). O sinclinal se orienta segundo a direção NE-SW, com estilos estruturais diferentes a nordeste e sudoeste. No segmento sudoeste, o traço se bifurca para o Sul com caimento para Norte e Oeste. Já no outro segmento, o outro caimento é para SW (DORR, 1969).

Para o escopo do trabalho em questão, dado que a barragem de rejeito se situa no QF, cortada pela falha de Fundão e inserida no Sinclinal Gandarela, eventual contaminação dos aquíferos subterrâneos estaria principalmente associada a essas estruturas presentes, de tal forma que será dada maior ênfase à descrição e caracterização da geologia estrutural nessa região.

A estrutura regional é o resultado da superposição de dois eventos deformacionais principais (CHEMALE JR.; ROSIÈRE; ENDO, 1994). O primeiro produziu a nucleação de sinclinais regionais nas supracrustais e o soerguimento de domos granito-gnáissicos durante a Orogênese Transamazônica (2.1 – 2.0 Ga). O segundo evento está relacionado a um cinturão de cavalgamentos vergente para Oeste de idade Pan-Africana/Brasiliana (0.8 – 0.6 Ga), que provocou inversão, amplificação, translação e rotação dos sinclinais em torno das estruturas dômicas.

Essa evolução tectônica está relacionada a um zonamento metamórfico superposto em auréolas térmicas em torno dos domos (HERZ, 1978; MARSHAK; ALKMIM; JORDT-EVANGELISTA, 1992) com o crescimento de porfiroblastos de clorita, biotita, granada, cianita, estaurolita, cordierita e silimanita em uma transição de temperaturas baixas a altas. Quanto ao metamorfismo, Herz (1978) definiu três zonas principais (clorita, biotita e estaurolita) com temperaturas de equilíbrio crescentes para leste e que variam entre, aproximadamente, 300 °C e 600 °C. O zonamento metamórfico é acompanhado por um gradiente deformacional de modo que é possível separar o QF em dois domínios estruturais principais (ROSIÈRE et al., 2001).

- Domínio de baixa deformação (DBD), que cobre principalmente as zonas metamórficas da grunerita (GZ) e cummingtonita (CZ) (PIRES, 1995) com megassinclinais bem preservados como principais estruturas regionais. Zonas de cisalhamento descontínuas e falhas de cavalgamento relacionadas ao segundo evento tectônico intersectam as estruturas megascópicas. Nos itabiritos estão preservadas diversas estruturas de origem sedimentar e diagenética, tais como o meso e microbandamento, formados por compactação diferencial e pisólitos (BEUKES, 1980).

- Domínio oriental de alta deformação (DAD), que cobre principalmente as zonas metamórficas da actinolita (AZ) e da tremolita-antofilita (TAZ) (PIRES, 1995) e é dominada por cavalgamentos e zonas transcorrentes (ROSIÈRE et al., 1997), gerando dobras apertadas a isoclinais e espessas zonas de milonitização. Evidências de retrometamorfismo de ocorrência descontínua estão aparentemente associadas às fases finais da tectônica compressiva (CHEMALE JR.; ROSIÈRE; ENDO, 1994).

Os granitos foram gerados em duas fases distintas relacionadas às duas fases orogenéticas. A primeira granitogênese, Transamazônica, desenvolveu-se de forma modesta dentro do QF sendo os efeitos de metamorfismo térmico (fácies anfibolito) na região, de idade entre 2.04 e 2.06 Ga associados à fusão parcial do embasamento Arqueano e geração de pegmatitos (MACHADO et al., 1992; NOCE, 1995). Plutons granitoides Transamazônicos de

idades 2.62 – 2.48; 2.43 e 2.27 – 2.30 Ga (NOCE et al., 2000) são encontrados principalmente ao sul da Falha do Engenho, sendo provavelmente alguns deles com elevado grau de aloctonia (CHEMALE JR.; ROSIÈRE; ENDO, 1994).

Na parte leste do QF ocorrem ainda metagranitos caracterizados genericamente como do tipo Borrachudo, de origem crustal, com idades U-Pb de 1.670 +/- 32 Ma para zircões e 1.351±6 Ma para titanitas sintectônicas e idade modelo TDM = 3.72 Ga (CHEMALE JR; QUADE; VAN SCHMUS, 1997), obtida a partir de dados Sm-Nd de rocha total. Essas idades sugerem que tais granitos são originados de fusão da crosta inferior Arqueana, cristalizados durante o magmatismo sin-rifteamento da bacia Espinhaço e metamorfisados sintectônicamente durante o Neoproterozoico provavelmente numa fase precoce do ciclo Brasiliano (CHEMALE JR; QUADE; VAN SCHMUS, 1997).

A análise integrada desses dados servirá de subsídios para os estudos subsequentes, principalmente no que se refere à eventual reativação de estruturas geológicas e, consequentemente, identificar as feições estruturais favoráveis à possível infiltração, circulação e ao armazenamento de fluidos contaminantes. Considerações acerca da eventual presença desses fluidos associada às falhas geológicas encontram-se descritas no item referente a águas subterrâneas. Levantamentos estruturais de detalhe deverão ser realizados na tentativa de buscar indicadores cinemáticos que comprovem a eventual reativação de estruturas geológicas (falhas) e sua correlação com sismos registrados na área de estudo. Nesses estudos, deverão ser analisados também indicadores de eventos neotectônicos.

3.1.3 Sismologia

Embora o Brasil esteja situado na margem passiva da placa Sul-Americana, com frequência ocorrem pequenos tremores, associados principalmente aos chamados esforços intraplacas, resultantes, sobretudo, da acomodação de estruturas geológicas como as falhas e as fraturas.

Eventualmente, na região Sul e Sudeste do país, são registrados também sismos em pequena escala, magnitudes aproximadas de até 4,0 na escala Richter, reflexos de atividades tectônicas que ocorrem na cordilheira andina, cujo epicentro, nestes casos, normalmente situa-se a milhares de quilômetros do território nacional.

Veloso (2016) afirma que tremores no Brasil sempre ocorreram, e, no passado, estes aconteceram na mesma frequência dos dias atuais. O autor relatou que pequenos tremores são registrados com frequências diárias por estações sismográficas de alta sensibilidade.

As estações sismológicas localizadas em diversos países coletam informações sobre os sismos em sismógrafos. Em 1931, havia, aproximadamente, um total de 350 estações que operavam no mundo. O aumento do número das estações e a rápida transmissão de dados permitem aos centros de sismologia localizar um maior número de eventos, os quais não poderiam ser detectados em épocas passadas. O Instituto Nacional de Sismologia dos EUA (NEIC, National Earthquake Information Center) registra, aproximadamente, 20.000 sismos por ano, ou seja, mais de 50 sismos por dia. Com o desenvolvimento nas comunicações aumentou também o interesse da população em obter informação sobre os desastres naturais (BLANDÓN, 2003). Na Tabela 2, está listada a frequência média de sismos registrados anualmente no mundo (BLANDÓN, 2003).

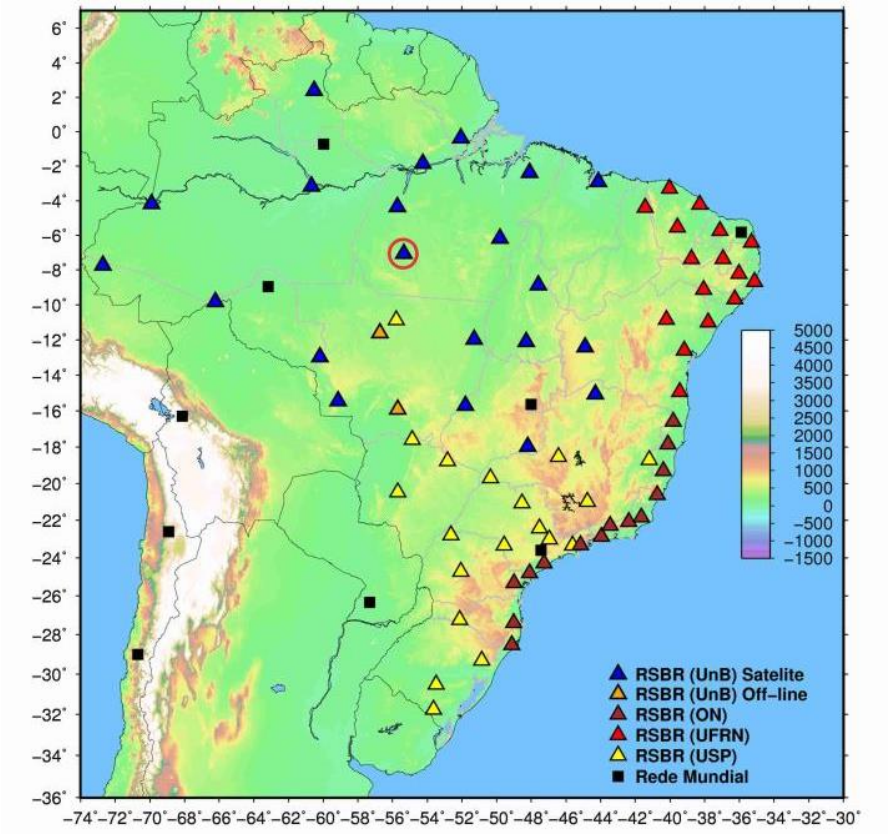
Tabela 2 – Frequência média anual de terremotos no planeta.

Magnitude (escala Richter)	Frequência média de ocorrência por ano
8 - maior	1
7 - 7,9	18
6 - 6,9	120
5 - 5,9	800
4 - 4,9	6.200
3 - 3,9	49.000
< 3	3.240.000

Fonte: Modificado de Blandón (2003).

Os sismos no Brasil são monitorados pela agência governamental vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI), denominada de Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), conforme apresenta a Figura 11. A aquisição dos dados é realizada em tempo real a partir de uma ampla rede de sismógrafos distribuídos ao longo do território brasileiro. Dentre as instituições participantes da RSBR destaca-se, pela sua relevância e atuação, o Observatório Sismológico (OBSIS), vinculado à Universidade de Brasília (UnB), e o Centro de Sismologia da USP, vinculado ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG).

Figura 11 – Configuração da Rede Sismográfica Brasileira – março de 2015.



Fonte: Rocha et al., 2015.

Para França (2016), a RSBR faz o mapeamento de toda a atividade sísmica brasileira e executa a atividade de monitoramento com cobertura em quase todo o território nacional

por meio de estações de banda larga e da transmissão em tempo real o que é importante no auxílio às atividades de riscos da Defesa Civil.

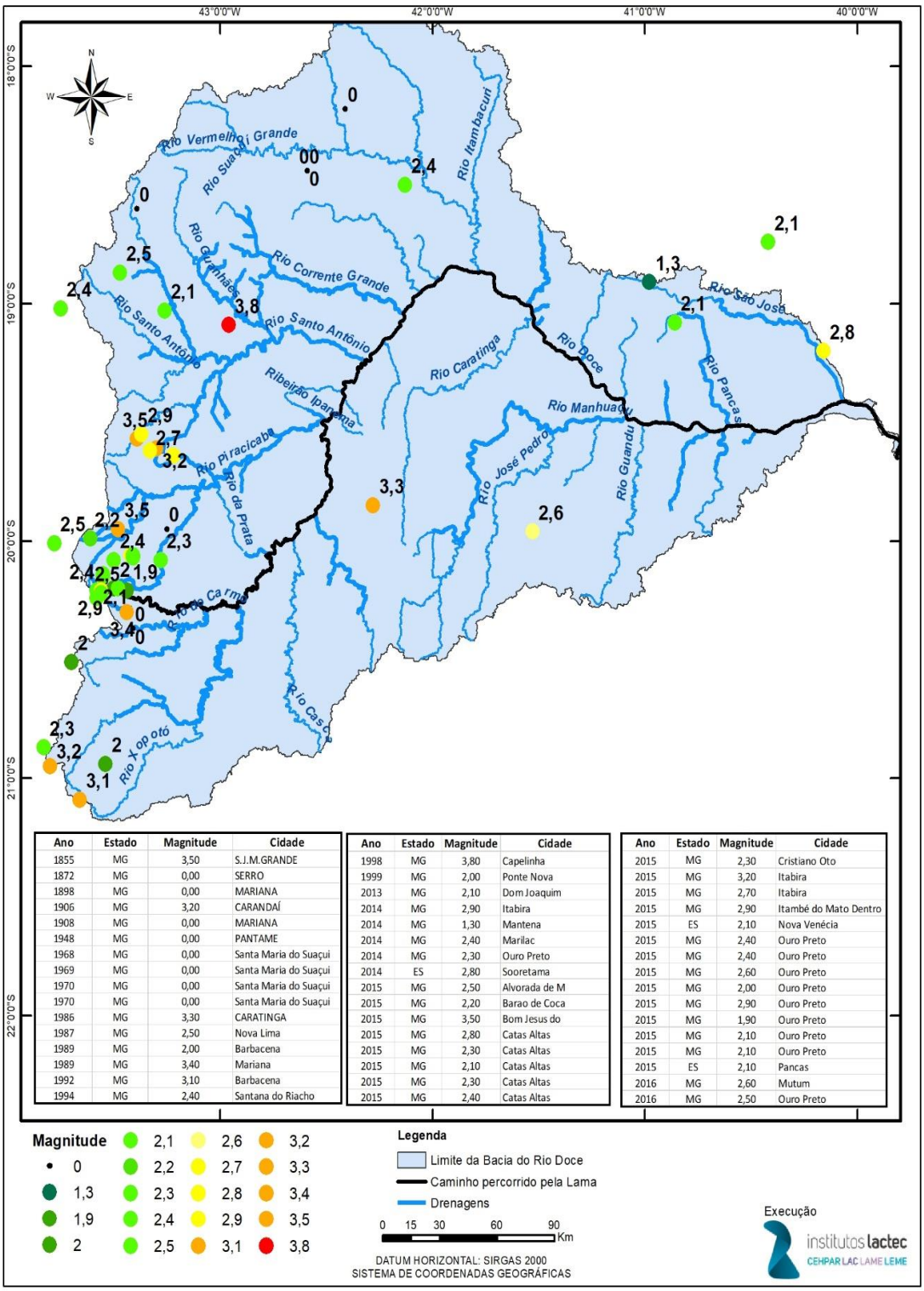
Os sismos, quando associados a reativações de estruturas geológicas, podem favorecer a circulação do fluxo de água subterrânea e, consequentemente, conduzir também eventuais fluídos com poluentes e/ou contaminantes associados aos rejeitos da barragem. Barbosa (1980), realizando estudos na serra do Caraça, mencionou as reativações de falhas de empurrão do Ciclo Brasiliano no Mesozoico/Cenozoico, responsáveis pelo controle de superfícies de aplainamento. Igualmente, Almeida (1977) referiu-se a uma reativação tectônica que teria se iniciado no Jurássico Superior e que pode ser a mesma que atingiu a serra do Caraça. Aparentemente, essa reativação, em parte, aproveitou antigos planos de falhas de empurrão, provavelmente do Ciclo Brasiliano, e apresentavam uma extensão muito menor que os das superfícies cimeiras (1.886 – 1.879 m).

Os boletins sísmicos publicados pelo Centro de Sismologia da USP/IAG e, também, pela RSBR apresentam um histórico dos eventos sísmicos registrados no Brasil de 1720 a 2016, com um total de 3.038 registros. Embora não estejam atualizados até a presente data, desses 3.038 registros, 538 registros foram realizados no estado de Minas Gerais e 13 no Espírito Santo. Para cada registro foram fornecidos dados das coordenadas geográficas, a profundidade estimada quando possível, a magnitude regional (Mr), a localidade e os comentários gerais.

Assim, a partir desse levantamento, foram selecionados apenas os registros localizados na bacia do rio Doce, que totalizam 47 dados, conforme apresentado espacialmente no mapa da Figura 12.

Na Figura 13, está apresentada a localização dos registros de atividades sísmicas na bacia do rio Doce, juntamente com as principais estruturas geológicas. Ainda, nessa figura, pode-se observar um detalhe da área oeste, que representa a região do Quadrilátero Ferrífero. Nessa área, verificou-se uma concordância do registro de sismos com as falhas de cisalhamentos compressionais e dobras anticlinais. Porém, essa associação entre as atividades sísmicas e a presença de estruturas geológicas não é uma regra. Berrocal (2016) inferiu que a grande maioria dos sismos que ocorrem no Brasil está associada a algum tipo de falha geológica que é ativada, ou reativada, pela liberação de energia acumulada por algum processo tectônico.

Figura 12 – Registro de atividades sísmicas na bacia do rio Doce com base em informações do Boletim Sísmico (IAG, 2017).

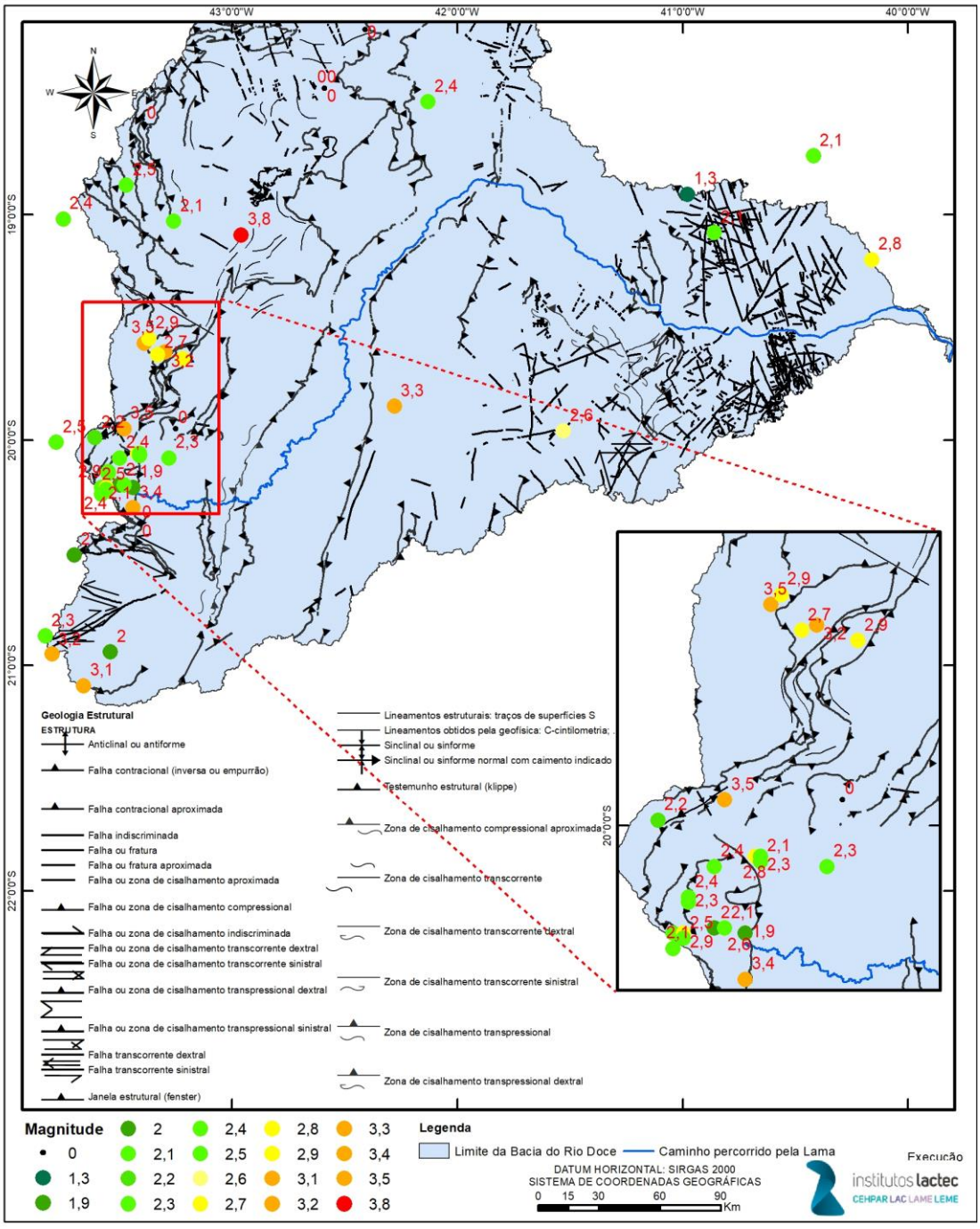


Ano	Estado	Magnitude	Cidade
1855	MG	3,50	S.J.M.GRANDE
1872	MG	0,00	SERRO
1898	MG	0,00	MARIANA
1906	MG	3,20	CARANDAÍ
1908	MG	0,00	MARIANA
1948	MG	0,00	PANTAME
1968	MG	0,00	Santa Maria do Suaçui
1969	MG	0,00	Santa Maria do Suaçui
1970	MG	0,00	Santa Maria do Suaçui
1970	MG	0,00	Santa Maria do Suaçui
1986	MG	3,30	CARATINGA
1987	MG	2,50	Nova Lima
1989	MG	2,00	Barbacena
1989	MG	3,40	Mariana
1992	MG	3,10	Barbacena
1994	MG	2,40	Santana do Riacho

Ano	Estado	Magnitude	Cidade
1998	MG	3,80	Capelinha
1999	MG	2,00	Ponte Nova
2013	MG	2,10	Dom Joaquim
2014	MG	2,90	Itabira
2014	MG	1,30	Mantena
2014	MG	2,40	Marilac
2014	MG	2,30	Ouro Preto
2014	ES	2,80	Sooretama
2015	MG	2,50	Alvorada de M
2015	MG	2,20	Barao de Coca
2015	MG	3,50	Bom Jesus do
2015	MG	2,80	Catas Altas
2015	MG	2,30	Catas Altas
2015	MG	2,10	Catas Altas
2015	MG	2,30	Catas Altas
2015	MG	2,40	Catas Altas

Ano	Estado	Magnitude	Cidade
2015	MG	2,30	Cristiano Oto
2015	MG	3,20	Itabira
2015	MG	2,70	Itabira
2015	MG	2,90	Itambé do Mato Dentro
2015	ES	2,10	Nova Venécia
2015	MG	2,40	Ouro Preto
2015	MG	2,40	Ouro Preto
2015	MG	2,60	Ouro Preto
2015	MG	2,00	Ouro Preto
2015	MG	2,90	Ouro Preto
2015	MG	1,90	Ouro Preto
2015	MG	2,10	Ouro Preto
2015	MG	2,10	Ouro Preto
2015	ES	2,10	Pancas
2016	MG	2,60	Mutum
2016	MG	2,50	Ouro Preto

Figura 13 – Informações de ocorrências de sismos na bacia do rio Doce e dados estruturais.



Fonte: Mapa Brasil ao Milionésimo SF 23 – Rio de Janeiro, SE 23 – Belo Horizonte, SF 24 – Vitória e SE 24 – Rio Doce da CPRM, (2004), mapeamento realizado na escala 1:1.000.000 e Boletim Sísmico - IAG, (2017).

Para Bezerra, Ferreira e Nascimento (2016), é crescente o número de estudos que identificam falhas ativas em regiões intraplaca. Estudos neotectônicos e paleossismológicos têm sido empregados para estender o registro instrumental e histórico de sismos no tempo geológico.

Sand (2016) inferiu que a sismicidade está ligada à tectônica de placas, porém, que algumas eventuais tensões podem ser induzidas por influência do homem, como no caso de

tremores registrados desencadeados por reservatórios de acumulação e de atividades de exploração mineral e petróleo.

Para Barros et al. (2016), o enchimento de grandes reservatórios, a exploração de minas subterrâneas, a injeção de fluídos sob alta pressão em poços profundos, a remoção de fluídos na exploração de petróleo, entre outros, podem provocar uma categoria especial de terremotos denominada terremotos induzidos ou terremotos desencadeados. Para esses autores, dois fatores principais podem contribuir para o surgimento ou a ausência de sismicidade pós-enchimento de um reservatório. O crescimento das tensões verticais, devido à carga do reservatório e uma redução nas tensões efetivas, devido ao aumento da poropressão, podem modificar o estado de tensões na região do reservatório. Se os gradientes de tensões serão suficientes ou não para mobilizar estruturas sismogênicas, ou seja, aquela origina terremotos, na área vai depender de uma complexa interação entre os esforços induzidos com as tensões preexistentes (próximos ao reservatório) e das condições geológicas e hidrogeológicas na área do reservatório.

Mesmo que o peso da água em reservatórios seja insuficiente para fraturar as rochas do embasamento, a coluna d'água exercerá uma pressão hidrostática, empurrando o líquido através dos poros das rochas e de fraturas preexistentes. O efeito deste acréscimo de pressão pode levar meses ou mesmo anos para alcançar distâncias não muito longas, dependendo da permeabilidade do solo e das condições de fraturamento das rochas. Quando a água alcança zonas mais fraturadas, o esforço tectônico efetivo é reduzido facilitando o deslocamento de blocos falhados (BARROS et al., 2016).

3.1.4 Geomorfologia

O entendimento do relevo é uma das premissas fundamentais para a compreensão do meio físico, uma vez que ele reflete as interações ocorridas ao longo do tempo envolvendo, sobretudo, o clima, a geologia e os processos tectônicos impostos. O estudo das condicionantes geomorfológicas tem, justamente, a intenção de compreender essas combinações e interferências que o relevo mantém com os demais componentes da natureza, com relevante interesse à proposição do estabelecimento das vulnerabilidades e das fragilidades ambientais.

De acordo com Baccaro et al. (2004), o relevo constitui um elemento importante na organização das paisagens ainda preservadas e daquelas modificadas pelas atividades humanas, e seu estudo busca compreender sua dinâmica, isto é, as transformações que ocorrem ao longo do tempo e no espaço, a partir de uma perspectiva morfogenética.

Segundo Andrade (2006), a área de estudo engloba as seguintes unidades geomorfológicas:

Serra do Espinhaço. Esta unidade localiza-se na parte central de Minas Gerais e apresenta um desenvolvimento longitudinal. Limita-se ao sul com o QF e ao norte ultrapassa a divisa do estado prolongando-se pelo interior da Bahia.

Constitui-se, em sua maior parte, de formas de dissecação em rochas do Supergrupo Espinhaço e restos de antigas superfícies de aplainamento. As áreas aplainadas alternam-se com picos e cristas elaboradas em quartzitos, e com grandes escarpas geralmente orientadas

por fraturas. Essa unidade abriga importantes aquíferos fraturados originando numerosas nascentes, entre as quais as cabeceiras do rio Jequitinhonha.

Quadrilátero Ferrífero. Localiza-se na parte meridional da serra do Espinhaço, entre a depressão São Franciscana e os planaltos dissecados do centro-sul e do leste de Minas. Apresenta altitudes médias em torno de 1.400 a 1.600 m. O condicionamento estrutural do relevo é marcante nessa unidade, e determinou a existência de formas de relevo invertido do tipo sinclinal suspenso e anticlinal esvaziado, elaboradas sobre as estruturas dobradas. São comuns as cristas estruturais do tipo "*hogback*" e extensos escarpamentos, às vezes, condicionados por lineamentos de falha.

Entre as rochas não controladas pela estrutura, predominam as cristas com vertentes ravinadas e vales encaixados, e as colinas com vales e fundo chato. Nessa paisagem, encontram-se as cabeceiras do rio das Velhas e as do rio Piracicaba.

Depressão do rio Doce. Trata-se de uma área rebaixada e dissecada, situada ao longo dos vales dos rios Doce, Suaçuí Grande, Urupuca e Manhuaçu, com variação altimétrica de 50 a 1.000 m. Caracterizam-se por colinas com vales de fundo chato, planícies fluviais colmatadas, rampas de colúvio e lagos de barragem natural.

Planaltos dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas. Estes, estendendo-se desde as proximidades da serra da Canastra, no sul, por todo o leste e extremo noroeste, ultrapassando os limites estaduais essa unidade ocupa grande extensão no estado.

Englobam parte do médio vale do rio Jequitinhonha, as cabeceiras do rio Mucuri e a maior parte da bacia do rio Doce, onde é dividida pela depressão interplanáltica do rio Doce.

Os planaltos dissecados abrangem grande parte do interflúvio das bacias dos rios São Francisco e Grande, e a maior parte das encostas das serras do Espinhaço e da Mantiqueira. Predominam, no relevo, as colinas e as cristas com vales encaixados esculpidas pela dissecação fluvial atuante nas rochas do embasamento cristalino de maneira generalizada em toda a extensão dos planaltos. No setor leste, a dissecação fluvial produziu um relevo peculiar em afloramentos rochosos em forma de pontões e mornes que ocorrem isolados, associados às colinas, ou em grupamentos. As altitudes são muito variáveis. Na zona de encosta da Mantiqueira e da serra do Espinhaço, encontram-se cristas a 1.000 e 1.200 m, sendo que nos vales a altitude varia de 750 a 800 m.

Zona rebaixada do Mucuri. É um prolongamento de uma extensa superfície sublitorânea observada na foz dos rios Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul. Sua penetração em Minas se faz através do rio Mucuri e seus afluentes. Trata-se de uma zona rebaixada, embutida nos planaltos do leste de Minas, com caimento em direção ao oceano Atlântico. Em um pequeno trecho, próximo à cidade de Nanuque, predomina as formas de aplainamento que se caracterizam pela dissecação fluvial onde a paisagem é mais suavizada apresentando colinas de topos aplainados com vales de fundo chato.

Além desses grandes compartimentos, ressalta-se, também, na região costeira o delta dominado por ondas do rio Doce (BACOCCOLI, 1971; SUGUIO; MARTIN; DOMINGUEZ, 1982), que é uma das morfologias mais expressivas do litoral brasileiro, excedendo a 2500 km^2 de área em sua parte subárea. De morfologia semilunar crescente, assimétrica e convexa em direção ao mar, o delta do rio Doce tem largura máxima de 40 km na direção E-W e comprimento máximo de 150 km na direção N-S. Ele representa um delta em cúspide afetado

por ondas suficientemente fortes para transportar os sedimentos para longe da desembocadura do rio principal (SUGUIO; MARTIN; DOMINGUEZ, 1982).

Segundo Martin et al. (1996), o delta do rio Doce apresenta tendência de progradação e/ou estabilidade da linha de costa, combinada com cordões litorâneos largos e contínuo aporte fluvial dos rios Doce, Barra Seca, Mariricu e São Mateus.

No âmbito deste trabalho, para fins de avaliação ambiental, pretende-se correlacionar os diversos tipos de relevo com suas respectivas litologias e drenagens, no sentido de compreender os fluxos de água superficiais e subterrâneas e eventuais controles na contaminação desses ambientes.

3.1.4.1 Análise multitemporal – morfometria

Para fins de identificação de eventuais danos causados às drenagens e às suas áreas marginais, principalmente no que diz respeito aos processos de erosão e de assoreamentos e demais processos de transportes de sedimentos, foram vetorizados os limites das margens, a partir de imagens orbitais anteriores ao rompimento, denominadas T0. Embora ainda de caráter preliminar, esses vetores permitem uma análise espacial comparativa futura com os dados pós-evento.

As imagens T0 foram fornecidas pela Fundação Renova/Samarco, e totalizam 169 imagens com datas que variam de 21/01/2015 a 22/10/2015.

Dessa forma, pretende-se, nas fases subsequentes deste trabalho, após a vetorização dos limites de margens referentes aos períodos pós-desastre (T1), juntamente com as análises planialtimétricas, topobatimétricas e estudos hidrológicos, definir a amplitude dessas variações laterais da calha e com base nesses elementos, quantificar os processos erosivos e de transporte de sedimentação e, principalmente, quantificar os eventuais danos ambientais ocorridos nessas áreas. Tais elementos estão diretamente associados a indicadores geotécnicos de erodibilidade, estabilidade de taludes e transporte de contaminantes, e hidráulicos de assoreamento e fluxo.

Figura 14 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região da barragem de Fundão. Imagem World View2 (T0) de 21/07/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

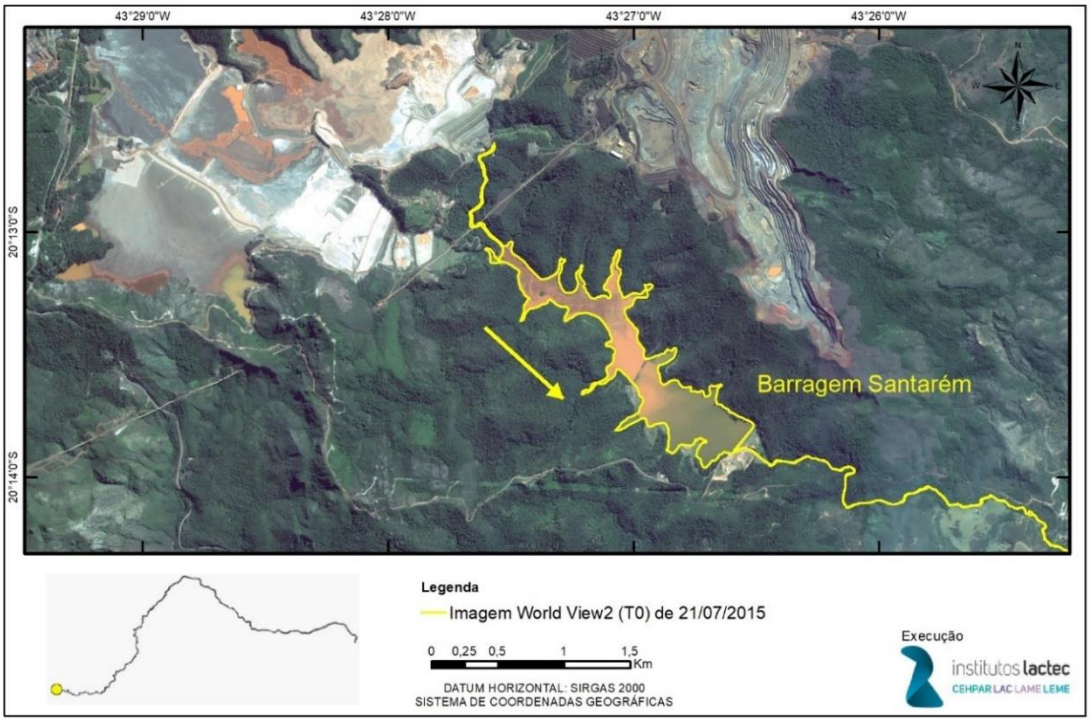


Figura 15 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região de Bento Rodrigues. Imagem World View2 (T0) de 21/07/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

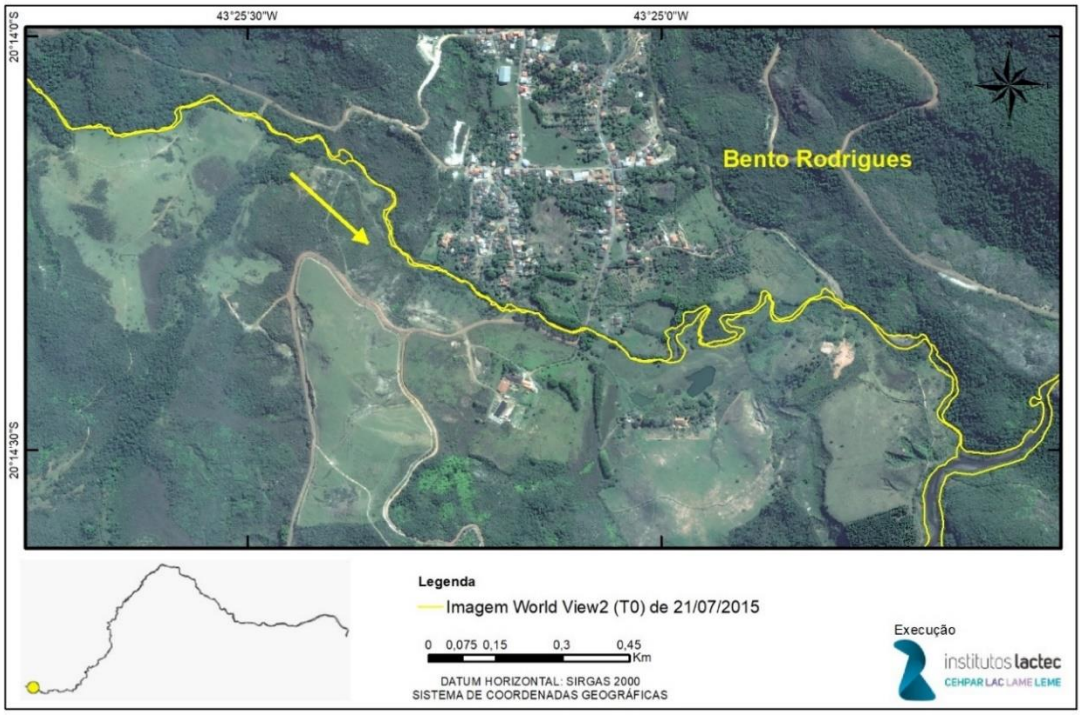


Figura 16 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região a leste Bento Rodrigues. Imagem World View3 (T0) de 28/06/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

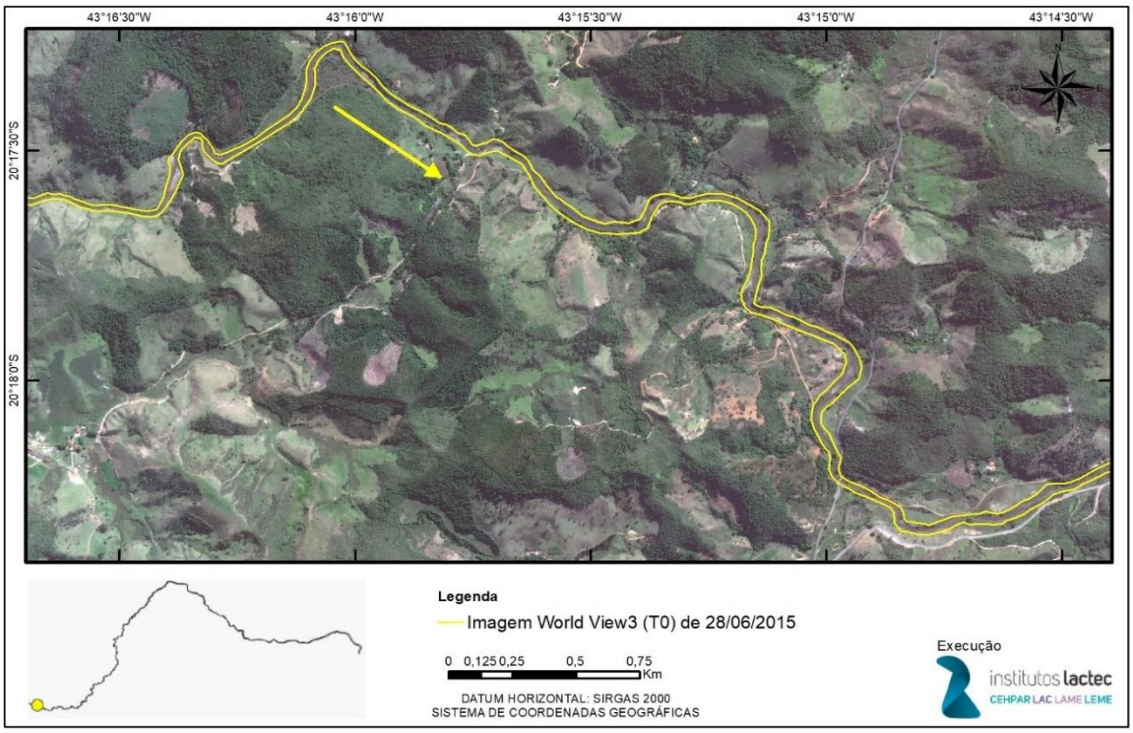


Figura 17 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na região de Barra Longa. Imagem World View2 (T0) de 25/09/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

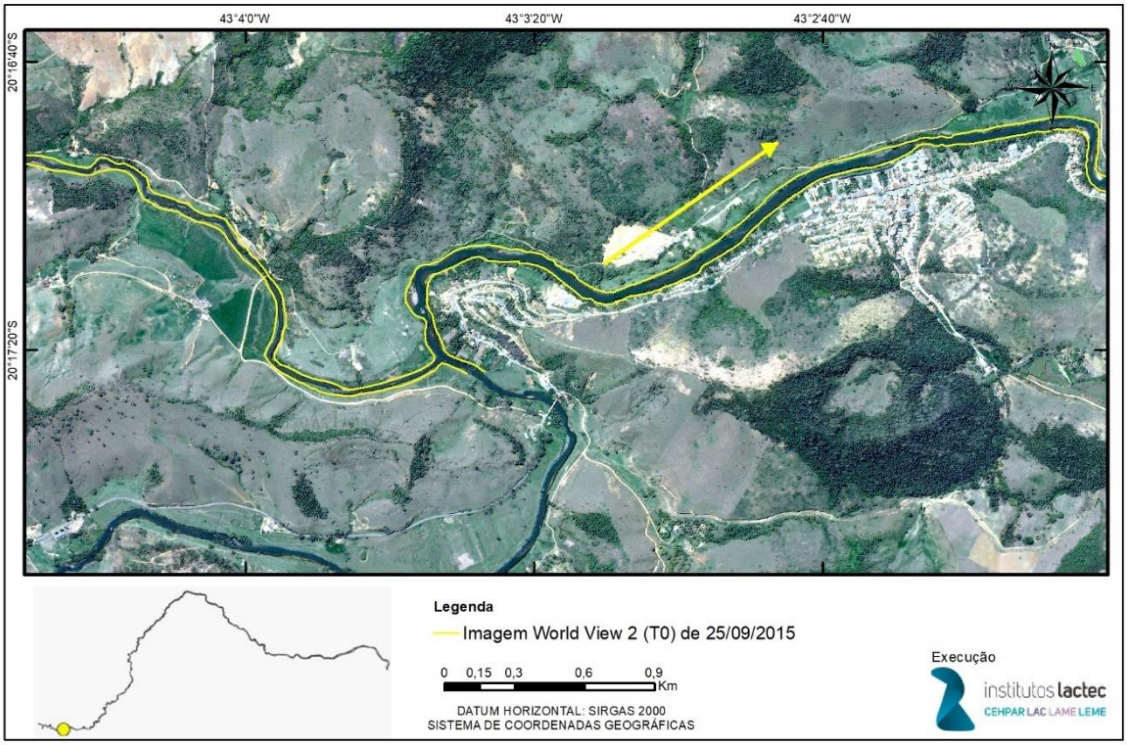


Figura 18 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na área do reservatório e barragem da UHE Risoleta Neves. Imagem GeoEye 1 (T0) de 21/01/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

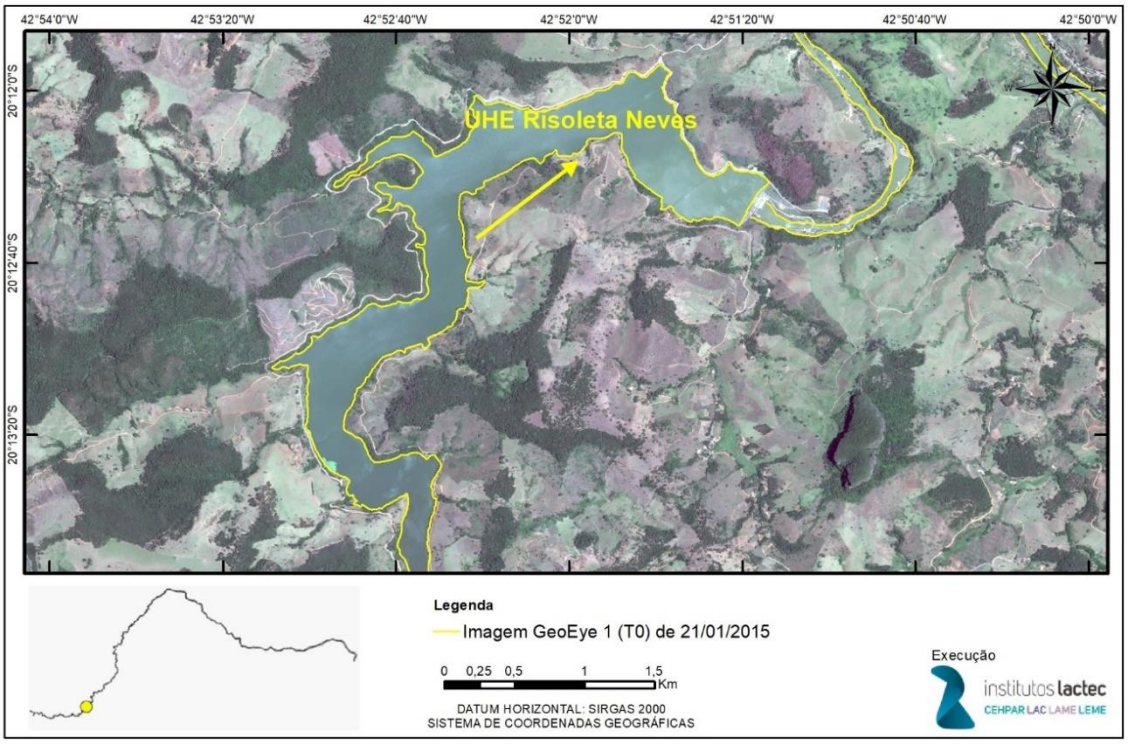


Figura 19 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na área do reservatório e barragem da UHE Baguari. Imagem GeoEye 1 (T0) de 30/05/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

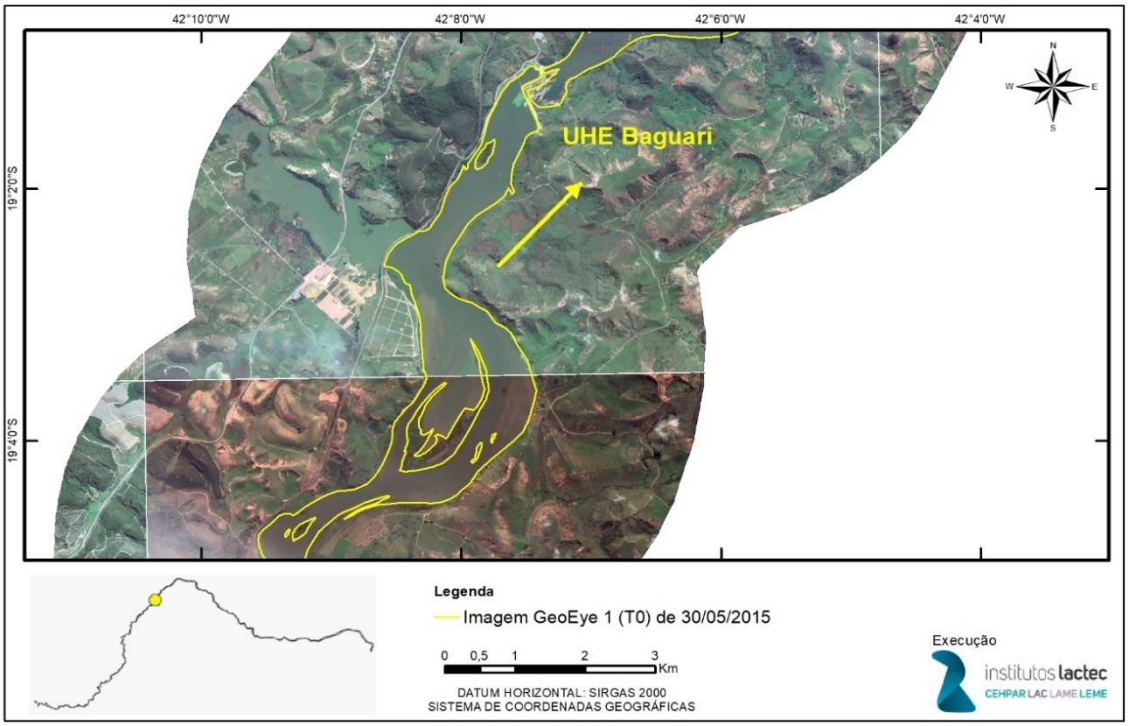
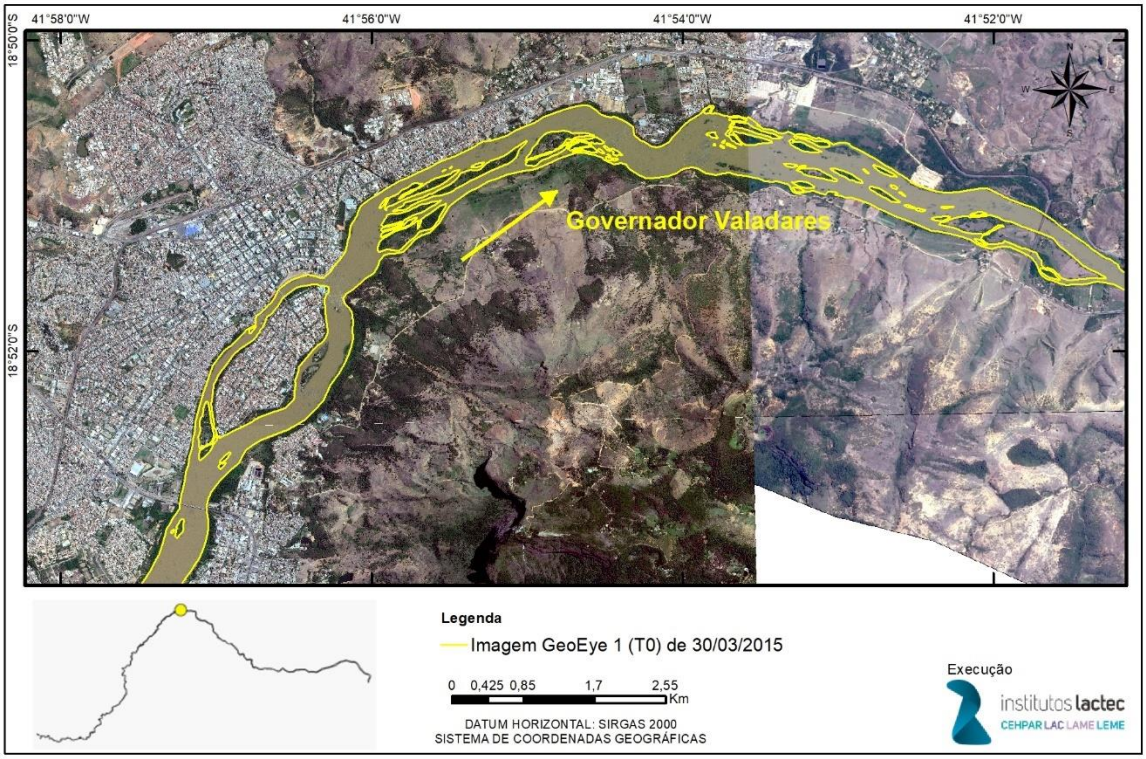


Figura 20 – Delimitação do canal do rio como linha-base, na cidade de Governador Valadares. Imagem o GeoEye 1 (T0) de 30/03/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.



3.1.5 Contexto geoquímico regional

Desde o final do século XVII, o QF é uma das mais importantes regiões produtoras de minérios no Brasil, em especial as minerações de ouro. Ribeiro (1998) e Borba (2002) relataram que as associações minerais presentes nos depósitos de ouro são ricas em elementos-traço, os quais podem apresentar alto potencial tóxico. Essas atividades constituíram uma importante fonte de metais pesados, mesmo que atualmente muitas das atividades de extração de ouro estejam paralisadas.

De acordo com Rodrigues e Nalini (2009), o estabelecimento de valores de *background* geoquímico, como medida relativa para distinguir concentrações naturais de um elemento (geogênica e/ou biogênica) e a influência das atividades antrópicas nessas concentrações, representa um dos assuntos mais importantes das ciências ambientais recentes. A relação entre as alterações naturais e as proporcionadas pela ação antrópica nas espécies químicas é uma questão que envolve implicações importantes nas áreas da geologia, toxicologia e biologia, entre outros campos do conhecimento.

Alkmim (2014) realizou alguns estudos mineralógicos e geoquímicos em diferentes tipos de itabirito (itabirito goethítico friável, itabirito silicoso contaminado friável, Itabirito Silicoso Semicompacto – ISSC e Itabirito Silicoso Compacto – ISC) da Formação Cauê e da região da serra do Gandarela. Ao longo do perfil estudado, foi observado que a concentração de SiO_2 aumentava com o aumento da profundidade e, em contrapartida, havia uma diminuição dos elementos-traço, inclusive dos Elementos Terras Raras (ETRs). Como o ISC e

o ISSC mostraram uma mineralogia principal muito próxima (hematita, quartzo, martita, magnetita e celadonita), refletindo em uma composição química da rocha total e em assinaturas geoquímicas muito parecidas e, por não apresentarem características marcantes de intemperismo, esses litotipos foram usados para se determinar a assinatura geoquímica do itabirito silicoso original da sucessão da Fazenda Gandarela.

O itabirito silicoso original do Gandarela possui um enriquecimento nos elementos Al, Ti, Mg, Fe^{3+}, Sc, Ni, Cu, Ga, Rb, Sr, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Bi, Th, U e Elementos Terras Raras Leves (ETRLs), o que pode estar relacionado a uma proximidade maior dessa área com a fonte. Os autores sugeriram para os itabiritos da Formação Cauê: uma interação de fontes clásticas (relacionada a altas concentrações dos elementos Sc, Sr, Zr, Hf e Th e a correlação entre os elementos U, Ni e Cu com o Al_2O_3); hidrotermais (devido à presença de anomalias positivas em Eu e a fonte do ferro); e vulcânicas (relacionada à presença de celadonita em itabiritos silicosos da região do Gandarela).

Afloramentos da Formação Cauê na região de Serra Azul no QF foram igualmente estudados por Amorim e Alkmim (2011), sendo abordados: a hematita e o itabirito silicoso, o itabirito magnetítico e a formação ferrífera argilosa. A hematita e o itabirito silicoso apresentaram dominância do minério compacto e compacto duro. O itabirito compacto duro apresentou uma composição de cerca de 50% de hematita/martita contendo de 30 a 40% de Fe, uma média de 47% de sílica oriunda do quartzo e em menores quantidades outros componentes como o fósforo e a alumina e uma perda ao fogo. O itabirito magnetítico, pouco abundante na parte ocidental de Serra Azul, apresenta-se como uma rocha dura com teor de ferro entre 25 e 35%. Os minerais de ferro são compostos por: hematita, magnetita, goethita e grunerita, além desses minerais estão presentes calcita, dolomita e quartzo. A presença de carbonatos nessas rochas implica altos teores de CaO, MgO e perdas por ignição.

Segundo Costa (2001) e Rodrigues e Nalini (2009), em estudos realizados nos rios do Carmo e Gualaxo do Norte, os valores de background foram superiores ao nível 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012 para As, Cu, Cd, Ni e Cr, conforme mostrado na Tabela 3. Esses valores ressaltam a importância da análise e controle de elementos de interesse ambiental nos afluentes do rio Doce.

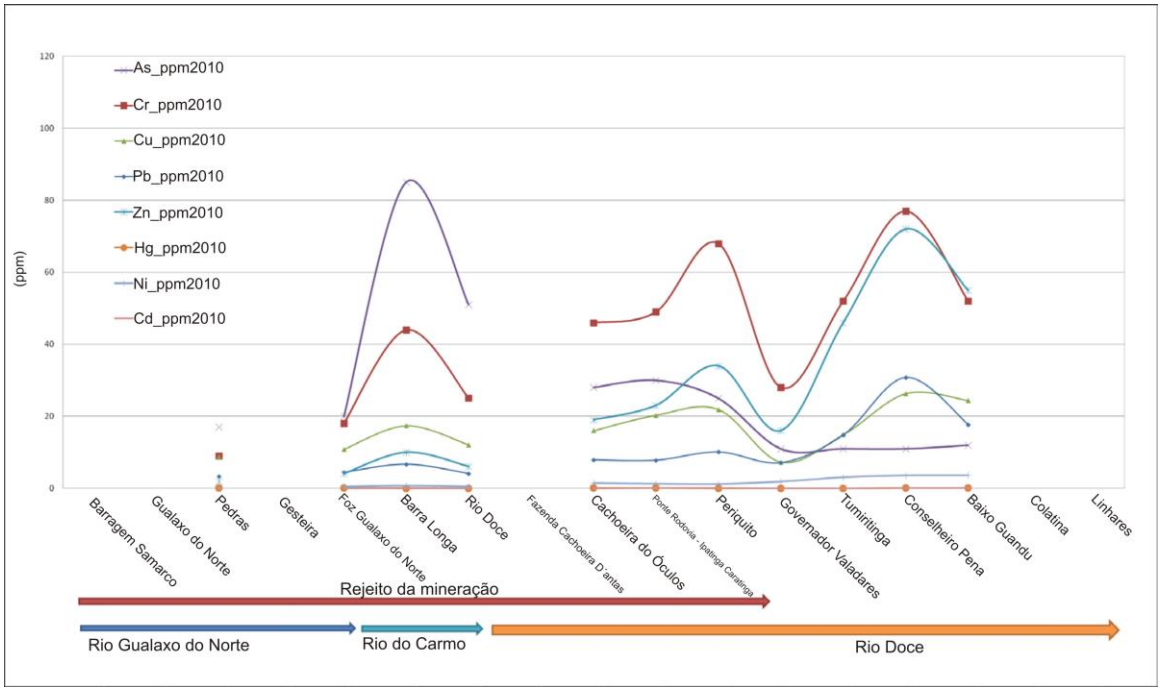
Estudos geoquímicos realizados ao longo do rio Doce (CPRM, 2015) indicaram que, apesar de localmente elevados, os valores de *background* de alguns metais pesados estiveram muito próximos aos limites de detecção dos equipamentos analíticos, conforme apresentado na Figura 21.

Tabela 3 – Valores de *background* (mg/kg) para sedimentos nos rios Carmo e Gualaxo do Norte.

Elemento	Bacia do rio do Carmo		Bacia do rio Gualaxo do Norte	Resolução CONAMA nº 454/2012	
	Argila	Cascalho		Nível 1	Nível 2
As	10,21	229,3	62,4	5,9	17
Cu	188,8	114,9	-	35	91,3
Zn	118,9	39	65,3	123	315
Cd	14,6	1,15	-	0,6	3,5
Ni	12,02	104,4	39	18	35,9
Cr	111	139,8	-	37,3	90
Ba	18,11	51,9	141,4	-	-
Mn	189,68	398,1	1636	-	-

Fonte: Adaptado de Costa (2001) e Rodrigues (2009).

Figura 21 – Concentrações de metais pesados em sedimentos desde a barragem de Santarém até Linhares em 2010.



Fonte: CPRM (2015).

3.1.5.1 Processos minerários

Com o intuito de diferenciar o rejeito, o solo-sedimento natural e o solo-sedimento impactado, considerando as contribuições advindas de outras atividades minerárias e/ou antrópicas, bem como de correlacionar os dados oriundos de amostragens já existentes com àquelas a serem realizadas futuramente no âmbito deste trabalho, com especial enfoque na eventual presença de poluentes e/ou contaminantes associados à presença de metais pesados, procurou-se selecionar os processos minerários, obtidos a partir do Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM) e do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE).

Inicialmente, foram selecionados aqueles processos que já estão em atividade e que, portanto, podem ter eventual influência na área de estudo. Destes, os processos em fase de

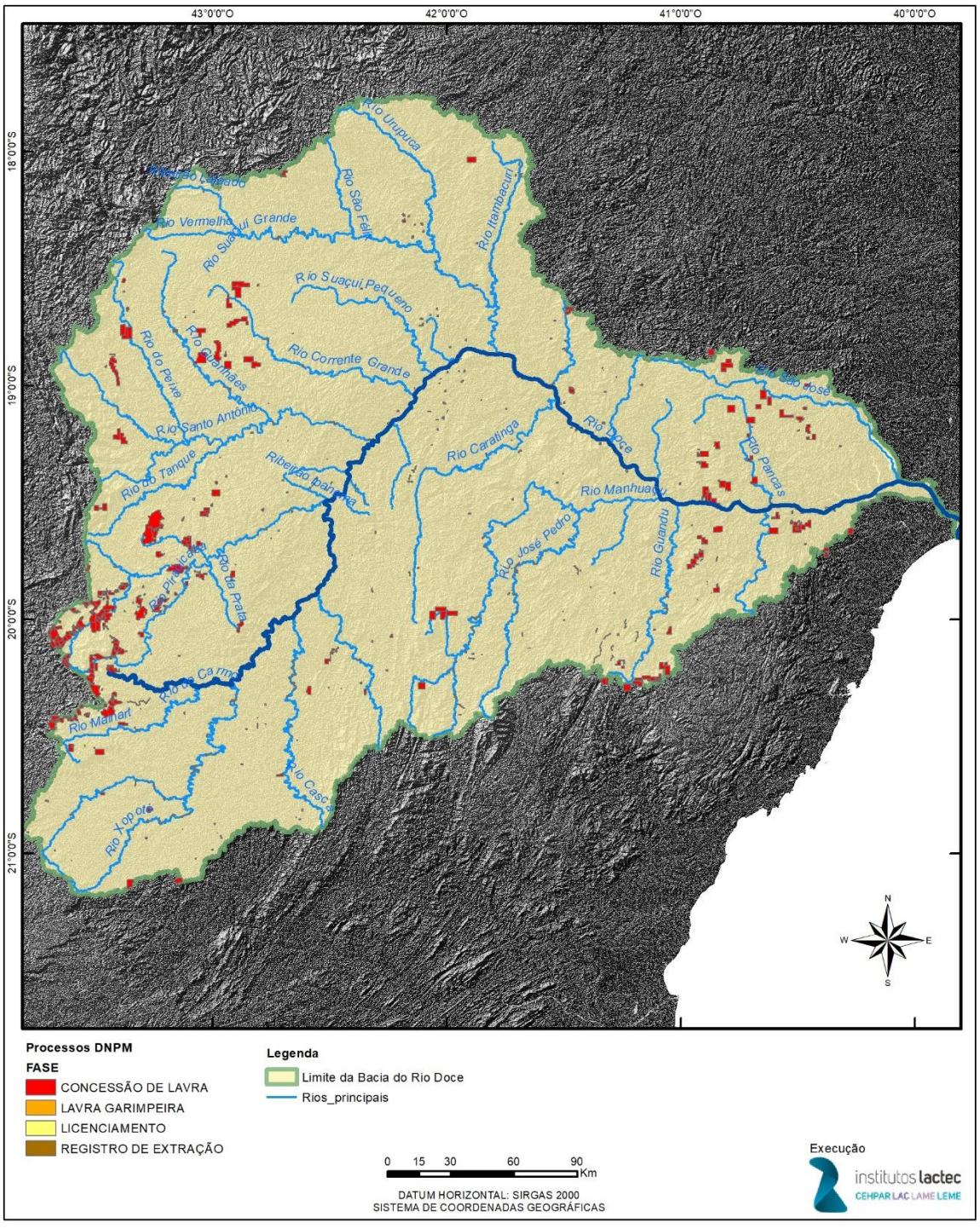
requerimento de pesquisa, requerimento de lavra, requerimento de lavra garimpeira, autorização de pesquisa, requerimento de licenciamento, requerimento de registro de extração, foram desconsiderados, pois ainda não se encontram em atividade de extração.

Dessa forma, foram listados e selecionados os processos de concessão de lavra, de lavra garimpeira, de licenciamento e de registro de extração, pois essas minerações já se encontram em processo de extração e podem ter eventual influência sobre a área de estudo.

Como a maioria desses dados refere-se a todo o estado de Minas Gerais e do Espírito Santo, foram realizados filtros, para cada informação, considerando a rede hidrográfica, mais especificamente aquelas cujas bacias pertencem ou contribuem para a bacia do rio Doce, de modo a selecionar e correlacionar apenas aquelas que de fato possam ter relação com a área de estudo.

Os processos minerários filtrados, conforme descrito anteriormente, encontram-se listados no Anexo 1, e estão apresentados na Figura 22.

Figura 22 – Processos minerários obtidos no DNPM, filtrados conforme a fase, presentes na bacia do rio Doce com a localização da bacia do rio Doce sobre imagem SRTM 30 m.



Dada a extensão da área de abrangência, para a representação em detalhe, esta foi dividida em quatro partes, conforme mostrado na Figura 23 e nos detalhes apresentados da Figura 25 até a Figura 27.

Figura 23 – Articulação das áreas separadas para o detalhe da visualização.

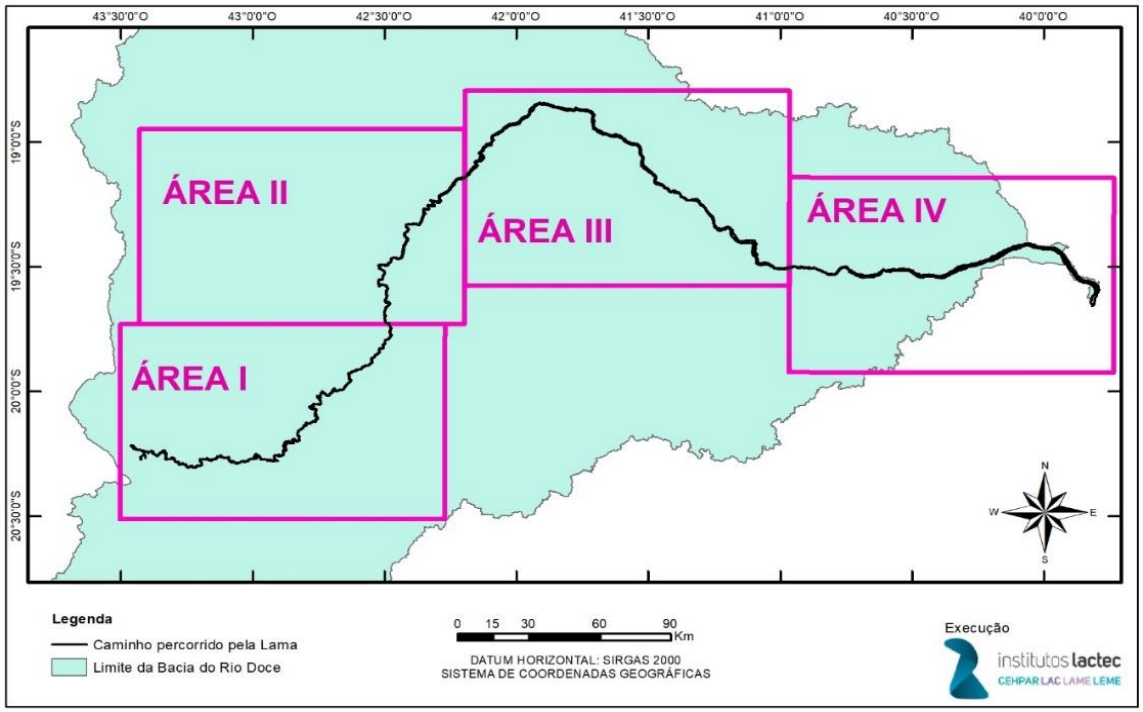


Figura 24 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área I.

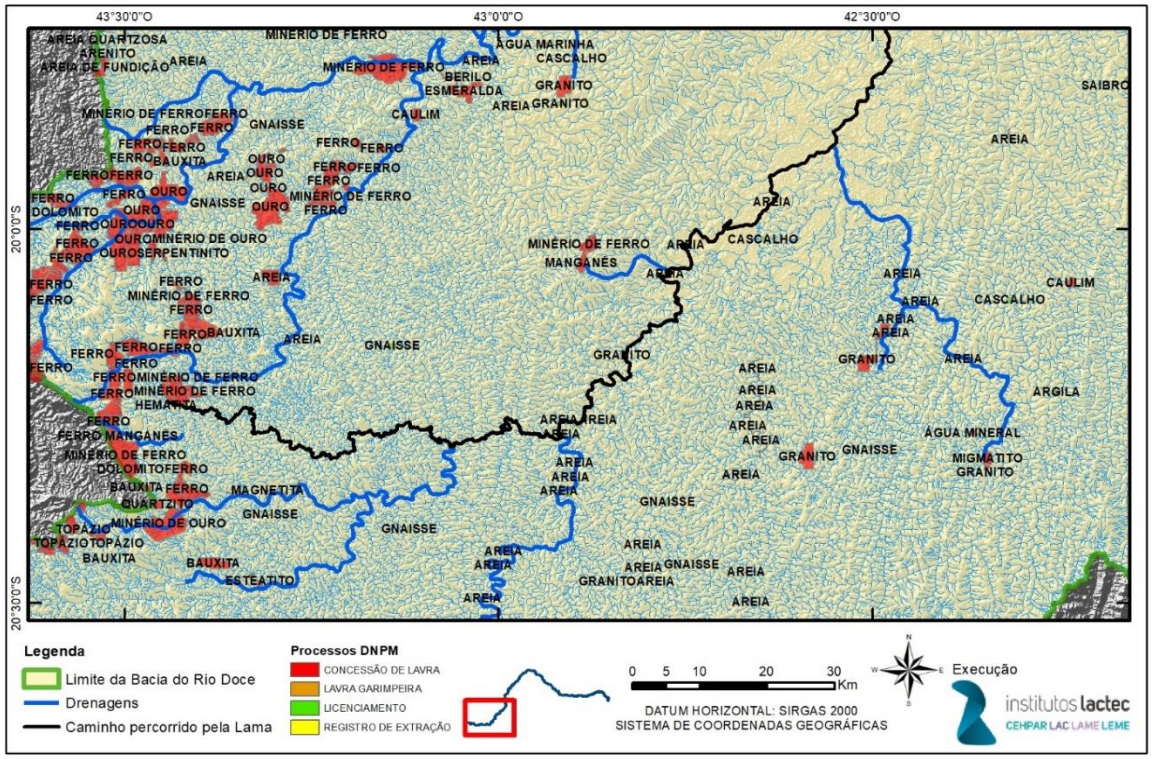


Figura 25 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área II.

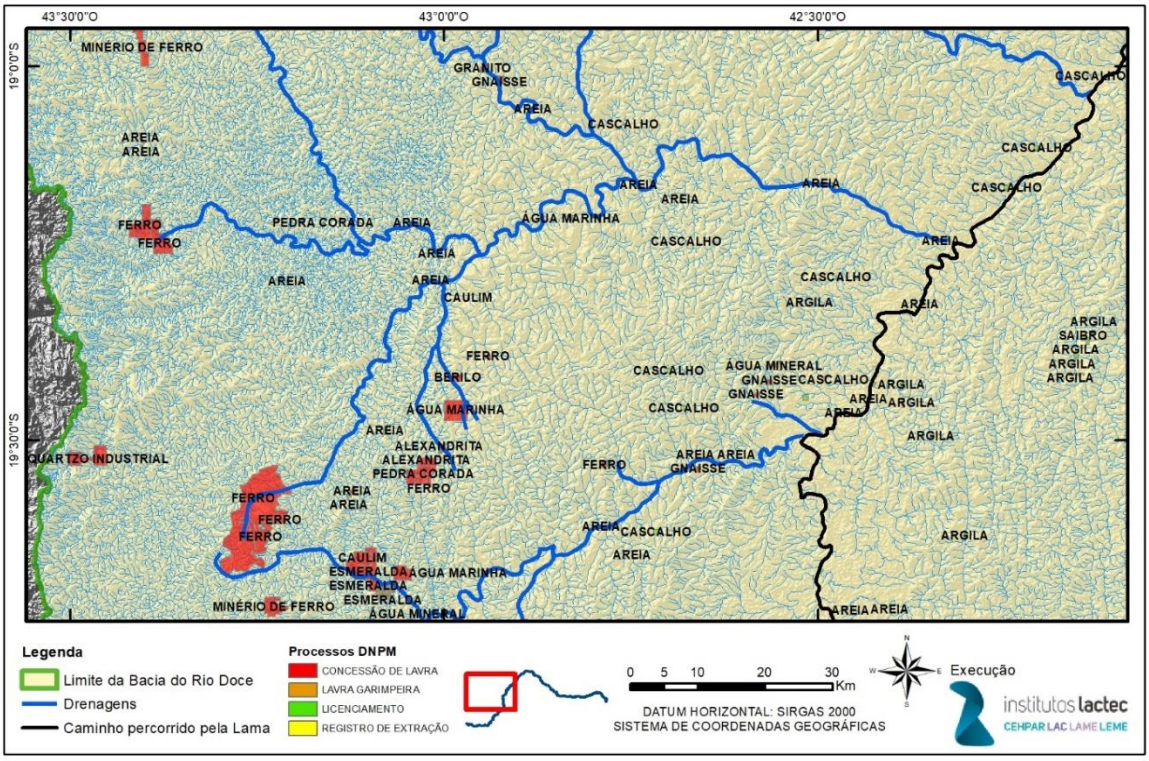


Figura 26 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área III.

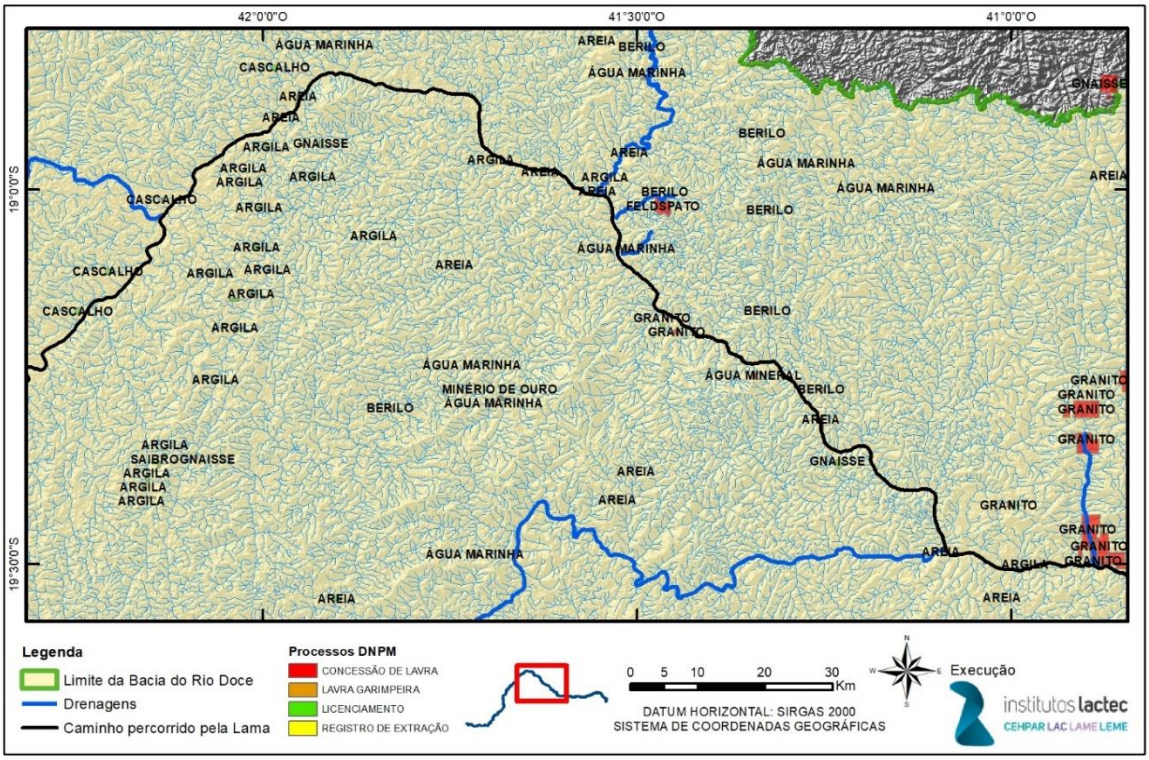
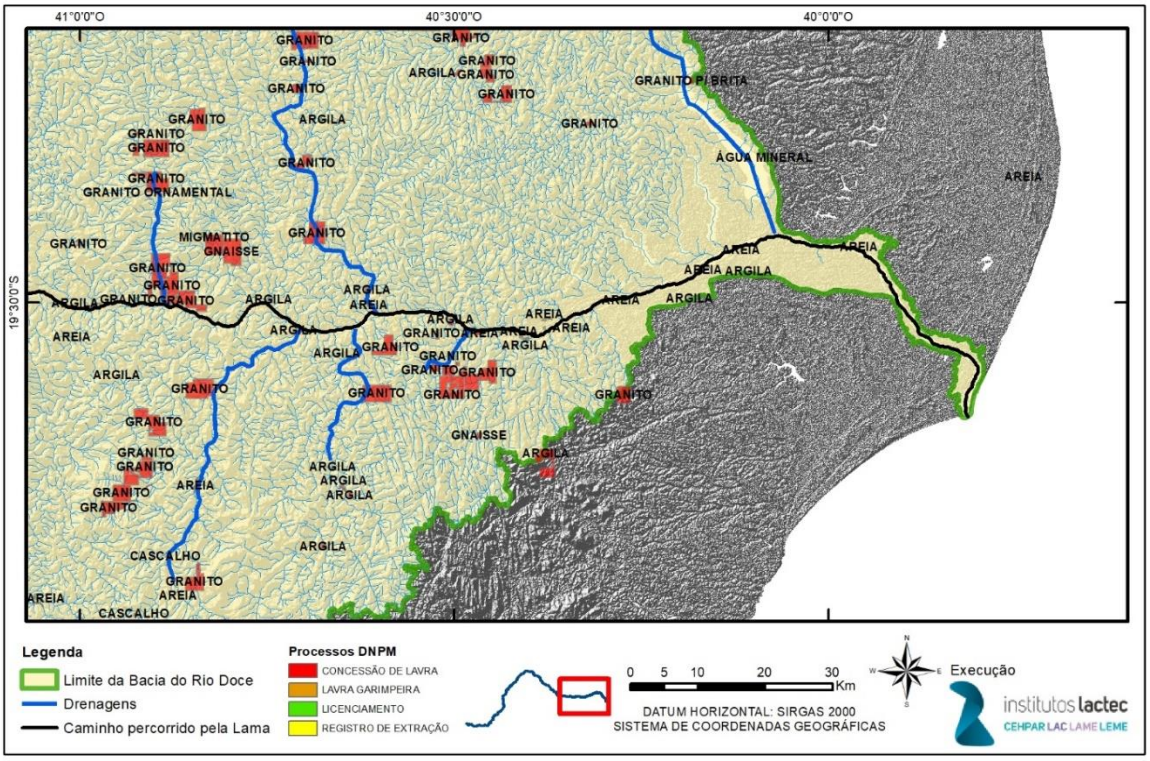


Figura 27 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área IV.



Além da seleção dos processos minerários para a área da bacia hidrográfica do rio Doce, conforme mencionado, foram considerados, também, todos aqueles cujos métodos exploratórios e bens minerais associados podem ter eventual contribuição no aporte de contaminantes para o rio Doce. Assim, são apresentados apenas os processos minerários referentes a essas substâncias, em um total de 175, tais como: bauxita, cobre, ferro, ferro manganês, hematita, itabirito, magnetita, manganês, minério de alumínio, minério de cobre, minério de ferro, minério de ouro e ouro, conforme listados na Tabela 4 e na Figura 28.

Os demais processos minerários, como brita, pedras ornamentais, talco, entre outros, encontram-se listados no **Anexo 1**.

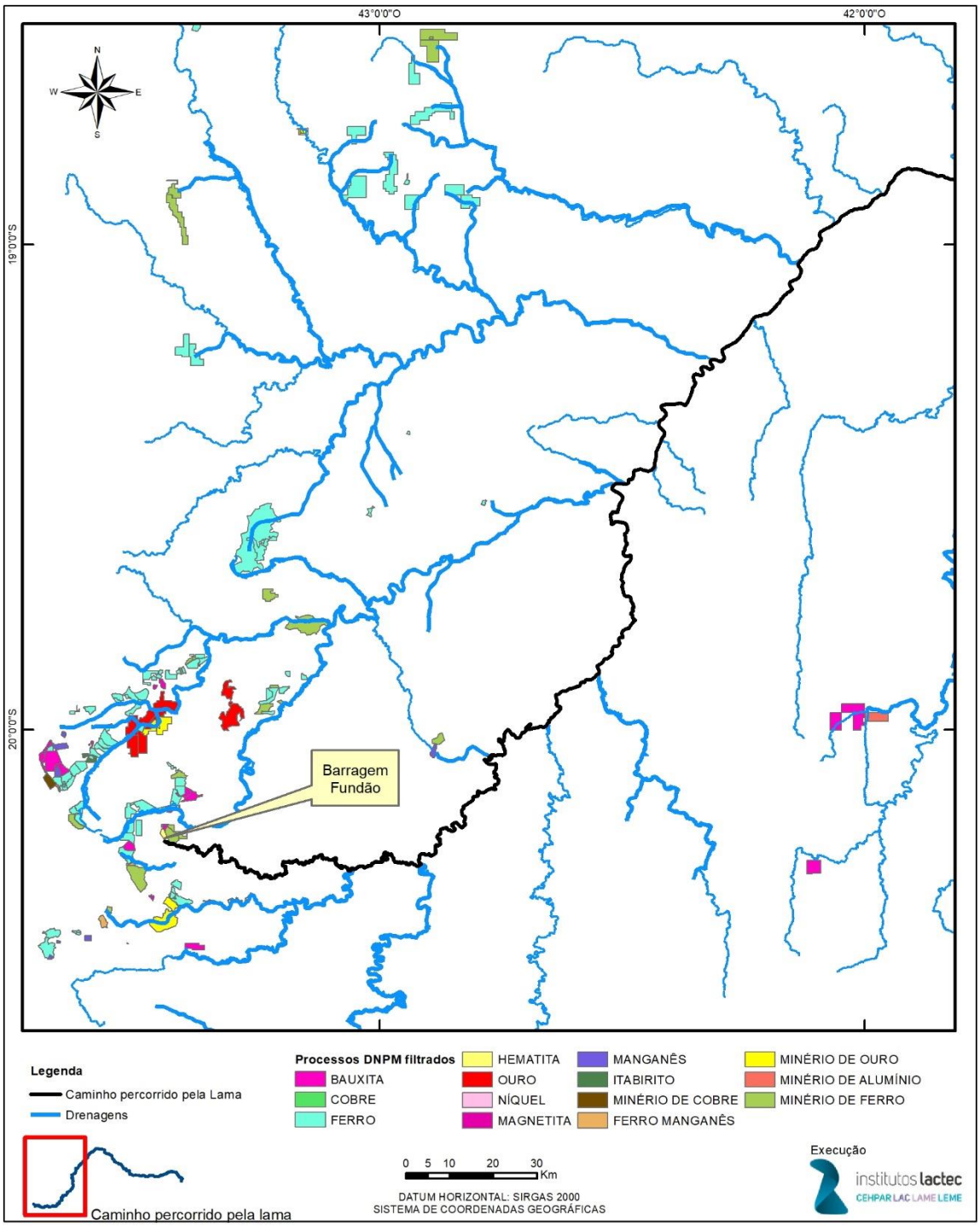
Tabela 4 – Seleção de processos minerários com relevância em potenciais contaminantes.

PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
2916/1935	Vale S.A.	BAUXITA	**820763/1972**	Vale S.A.	FERRO
8774/1956	Vale S.A.	BAUXITA	**805228/1973**	Vale S.A.	FERRO
1183/1958	Vale S.A.	BAUXITA	**813883/1973**	Vale S.A.	FERRO
8624/1958	Alcan Alumínio P	BAUXITA	**813885/1973**	Vale S.A.	FERRO
2692/1959	Vale S.A.	BAUXITA	**800220/1974**	Vale S.A.	FERRO
5268/1959	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**800299/1975**	Vale S.A.	FERRO
7182/1960	Vale S.A.	BAUXITA	**800941/1975**	Vale S.A.	FERRO
7248/1961	Vale S.A.	BAUXITA	**801204/1975**	Vale S.A.	FERRO
3071/1962	Minerações Brasileiras Reunidas	BAUXITA	**802189/1975**	Vale S.A.	FERRO
2680/1963	Vale S.A.	BAUXITA	**805280/1975**	Vale S.A.	FERRO
3022/1965	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**806099/1975**	Vale S.A.	FERRO
4099/1967	Vale S.A.	BAUXITA	**800156/1976**	Vale S.A.	FERRO
4100/1967	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**830915/1979**	Vale S.A.	FERRO

PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
800631/1968	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**830232/1983**	Baovale Mineração	FERRO
830232/1978	Bauminas Mineração	BAUXITA	**1978/1935**	Gerdau Açominas	FERRO
830684/1979	Minerações Brasileiras Reunidas	BAUXITA	**9608/1942**	Morgan Mineração	FERRO
830765/1980	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**830370/1985**	Vale S.A.	FERRO
832398/1987	Mineração Curimbaba	BAUXITA	**807959/1976**	Vale S.A.	FERRO
832399/1987	Mineração Curimbaba Ltda..	BAUXITA	**5130/1956**	Anglo American	FERRO
832401/1987	Mineração Curimbaba Ltda..	BAUXITA	**1016/1963**	Vale S.A.	FERRO
831028/1989	Mineração Curimbaba Ltda..	BAUXITA	**6499/1961**	Vale S.A.	FERRO
1492/1940	Niquelminas S.A.	COBRE	**816313/1973**	Vale S.A.	FERRO
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**43309/1956**	Companhia Siderúrgica	FERRO MANGANÊS
2312/1935	Vale S.A.	FERRO	**11207/1967**	Vale S.A.	FERRO MANGANÊS
2620/1935	Vale S.A.	FERRO	**1583/1940**	Vale S.A.	HEMATITA
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**1076/1967**	Vale S.A.	HEMATITA
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**815821/1973**	Vale S.A.	ITABIRITO
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**7298/1954**	Cmp Ouro Aluvionar	MAGNETITA
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**1099/1940**	Tratex Mineração	MANGANÊS
577/1936	Vale S.A.	FERRO	**1328/1940**	Chaffyr Ferreira	MANGANÊS
2917/1936	ESPOLIO DE SERAFIM DA SILVA GOMES	FERRO	**1362/1940**	Mineração N. Senhora do Sion Ltda.	MANGANÊS
2918/1936	Mineração Geral do Brasil S A	FERRO	**2371/1940**	Mineração N. Senhora do Sion	MANGANÊS
3237/1936	Somifra Sociedade Comercial e Industrial de Minérios	FERRO	**724/1942**	Gerdau Açominas	MANGANÊS
4644/1936	Vale S.A.	FERRO	**2809/1960**	Minerações Brasileiras	MANGANÊS
291701/1936	Topázio Imperial	FERRO	**805642/1971**	Mineração Carrilho	MANGANÊS
2295/1940	Mf Serviços Combinados de	FERRO	**5600/1945**	Nacional Minérios S.A.	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
2354/1941	Vale S.A.	FERRO	**830707/1982**	Bauminas Mineração	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
2355/1941	Vale S.A.	FERRO	**830585/1989**	Mineração Curimbaba	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
6474/1948	Vale S.A.	FERRO	**1540/1960**	Mineração Constelação.	MINÉRIO DE COBRE
3305/1951	Vale S.A.	FERRO	**2308/1935**	Arcelormittal Brasil S.A.	MINÉRIO DE FERRO
2132/1952	Vale S.A.	FERRO	**2329/1935**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
3978/1953	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**2433/1935**	Espólio de Wiliam Turner	MINÉRIO DE FERRO
3979/1953	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**43312/1956**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
4625/1955	Vale S.A.	FERRO	**3963/1962**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
8298/1956	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**12360/1967**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
8300/1956	Cia. de Mineração Rio Acima	FERRO	**14051/1967**	Baovale Mineração	MINÉRIO DE FERRO
1107/1957	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**804321/1975**	Baovale Mineração	MINÉRIO DE FERRO
1108/1957	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**830467/1980**	Titânio Goiás Mineração	MINÉRIO DE FERRO
6896/1957	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**830889/1982**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
1182/1958	Vale S.A.	FERRO	**831588/1984**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
1184/1958	Vale S.A.	FERRO	**832199/1985**	Baovale Mineração	MINÉRIO DE FERRO
1834/1958	Setovi Mineração Ltda.	FERRO	**1100/1940**	Mineração Geral do	MINÉRIO DE FERRO

PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
5441/1958	Vale S.A.	FERRO	**830172/2001**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
98/1959	Pedreira Um Valemix Micon Mineração	FERRO	**830359/2004**	Anglo American	MINÉRIO DE FERRO
3390/1959	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**830024/1993**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
7262/1959	Mineração Candonga S.A.	FERRO	**830696/1990**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
7416/1959	Vale S.A.	FERRO	**831097/1984**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
2808/1960	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**833409/2007**	Centaurus Brasil	MINÉRIO DE FERRO
4312/1960	Vale S.A.	FERRO	**831649/2004**	Centaurus Brasil	MINÉRIO DE FERRO
8337/1960	Vale S.A.	FERRO	**834106/2010**	Centaurus Brasil	MINÉRIO DE FERRO
1791/1961	Vale S.A.	FERRO	**832979/2002**	Anglo American	MINÉRIO DE FERRO
4655/1961	Mineração Marsil Ltda.	FERRO	**24331/1935**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
5148/1961	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**433092/1956**	Companhia Siderúrgica	MINÉRIO DE FERRO
6498/1961	Baovale Mineração S.A.	FERRO	**541/1935**	Passagem Mineração	MINÉRIO DE OURO
8774/1961	Vale S.A.	FERRO	**830129/1982**	AngloGold Ashanti	MINÉRIO DE OURO
3951/1962	Extracomil Ltda.	FERRO	**830463/1983**	Mineração Serras do Oeste Ltda.	MINÉRIO DE OURO
1246/1963	Vale S.A.	FERRO	**833472/2003**	AngloGold Ashanti	MINÉRIO DE OURO
1320/1963	P. Amaral Sobreira	FERRO	**831815/2011**	Heli Moura de Paula ME	MINÉRIO DE OURO
1463/1963	AngloGold Ashanti	FERRO	**834290/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
3763/1963	Vale S.A.	FERRO	**834291/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2185/1965	Vale S.A.	FERRO	**834292/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
1721/1967	Samarco Mineração S.A.	FERRO	**834293/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2263/1967	Vale S.A.	FERRO	**834294/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2264/1967	Samarco Mineração S.A.	FERRO	**834295/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2265/1967	Samarco Mineração S.A.	FERRO	**831093/2015**	Wagner José Silva	MINÉRIO DE OURO
3499/1967	Vale S.A.	FERRO	**8432/1965**	Mineração Níquel	NÍQUEL
3500/1967	Vale S.A.	FERRO	**2887/1936**	AngloGold Ashanti	OURO
3501/1967	Vale S.A.	FERRO	**336/1973**	Mineração Morro Velho Ltda.	OURO
816173/1968	Vale S.A.	FERRO	**830351/1979**	AngloGold Ashanti	OURO
811973/1969	Vale S.A.	FERRO	**830353/1979**	AngloGold Ashanti	OURO
811975/1969	Vale S.A.	FERRO	**830943/1979**	AngloGold Ashanti	OURO
811976/1969	Vale S.A.	FERRO	**830767/1981**	AngloGold Ashanti	OURO
811977/1969	Vale S.A.	FERRO	**2429/1935**	AngloGold Ashanti	OURO
811979/1969	Vale S.A.	FERRO	**337/1973**	Mineração Morro Velho.	OURO
820326/1971	Vale S.A.	FERRO	**338/1973**	Mineração Morro Velho	OURO
800704/1972	Vale S.A.	FERRO	**339/1973**	Mineração Morro Velho	OURO
816623/1972	Vale S.A.	FERRO			
820753/1972	Vale S.A.	FERRO			
820762/1972	Vale S.A.	FERRO			

Figura 28 – Processos DNPM selecionados conforme a substância potencialmente contaminante.



A identificação dessas atividades servirá de subsídio para a seleção dos pontos de coleta de sedimentos de corrente[1], a serem realizados nas fases subsequentes deste estudo,

[1] Classificação de sedimento - SEDIMENTO (Mineropar/ITCG) - (1) Material sólido, mineral ou orgânico, transportado ou que se moveu de sua área fonte por agentes transportadores – água, vento, geleiras; depositado sobre a superfície terrestre, acima ou abaixo do nível do mar. (2) Depósito superficial formado por materiais transportados por uma corrente de água ou ar.
Licht (1998) descreveu o sedimento de fundo ou corrente como sendo aquele material não consolidado, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante e contínua dos processos de intemperismo e de erosão.

que auxiliarão no entendimento e na caracterização dos processos de transporte e de sedimentação de materiais provenientes dessas atividades de extração.

As demais minerações, localizadas na bacia do rio Doce, deverão ser objeto de estudo mais detalhado nas fases subsequentes deste projeto, principalmente no que se refere aos seus processos de beneficiamento, para subsidiar o entendimento de eventuais contribuições de outros elementos contaminantes às drenagens que integram a bacia hidrográfica.

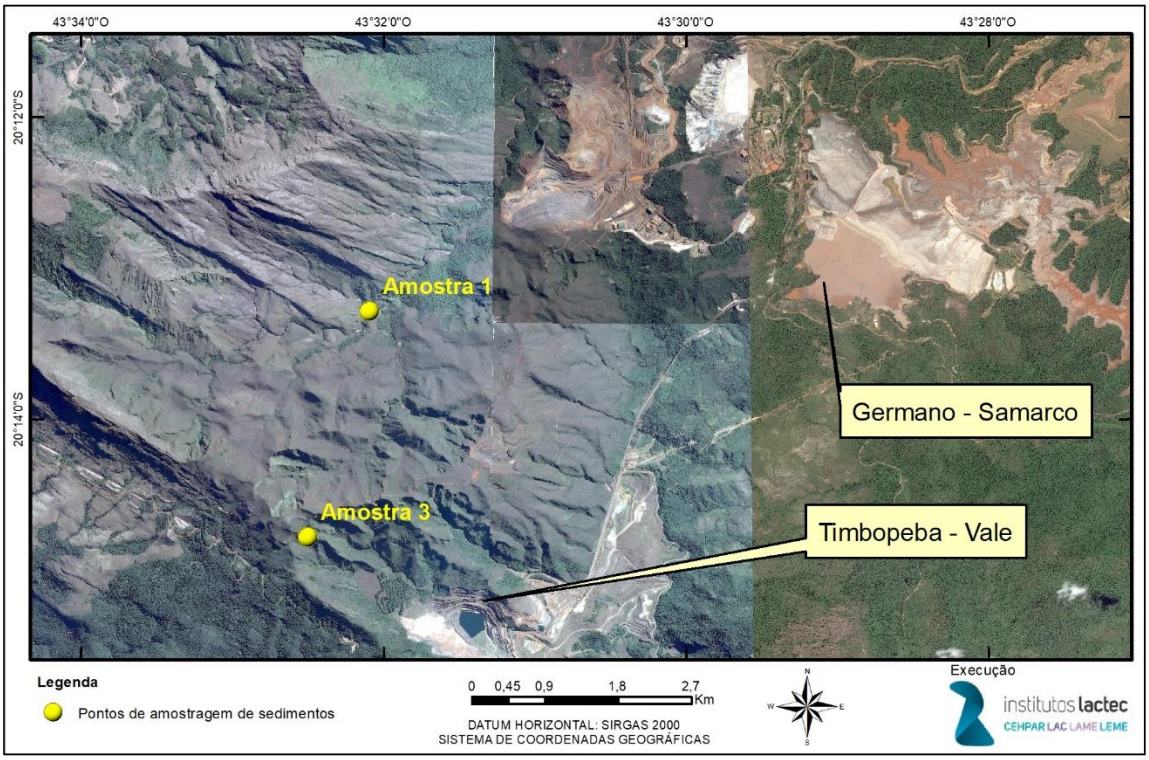
3.1.5.2 Amostragem preliminar

De forma preliminar, foram inicialmente definidos dois pontos de coleta de sedimentos de corrente, em áreas não antropizadas, situadas a montante das áreas de mineração, próximas às cabeceiras de drenagens de afluentes do rio Doce, com o intuito de quantificar, ainda que de modo prévio, os elementos químicos presentes, principalmente relacionados à presença de metais pesados e sua correlação com o *background* natural. A presença desses metais pode estar associada aos aspectos geológicos, decorrentes, sobretudo, dos processos de intemperismo e de lixiviação sobre os maciços geológicos existentes, principalmente, sobre as formações ferríferas bandadas, os itabiritos.

A localização desses pontos em áreas não antropizadas está apresentada na Figura 29.

Esses processos, por sua vez, atuam sobre os diversos tipos de rocha e/ou seus produtos de intemperização *in situ*, localizados na bacia de drenagem. Dessa forma, as amostras de sedimento de rios, lagos e lagoas representam a integração de todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático a montante e têm sido investigadas para elucidar a poluição ambiental atribuída aos elementos-traço e/ou substâncias tóxicas orgânicas.

Figura 29 – Localização dos pontos de coleta de sedimentos de corrente em áreas não afetadas sobre imagem orbital World View 2 de 10/11/2015.



Ressalta-se que, como o objetivo foi determinar previamente os valores geoquímicos naturais de fundo (*background*), que estão diretamente relacionados à linha-base, esses pontos de coleta encontram-se localizados fora da área de influência do fluxo de rejeito.

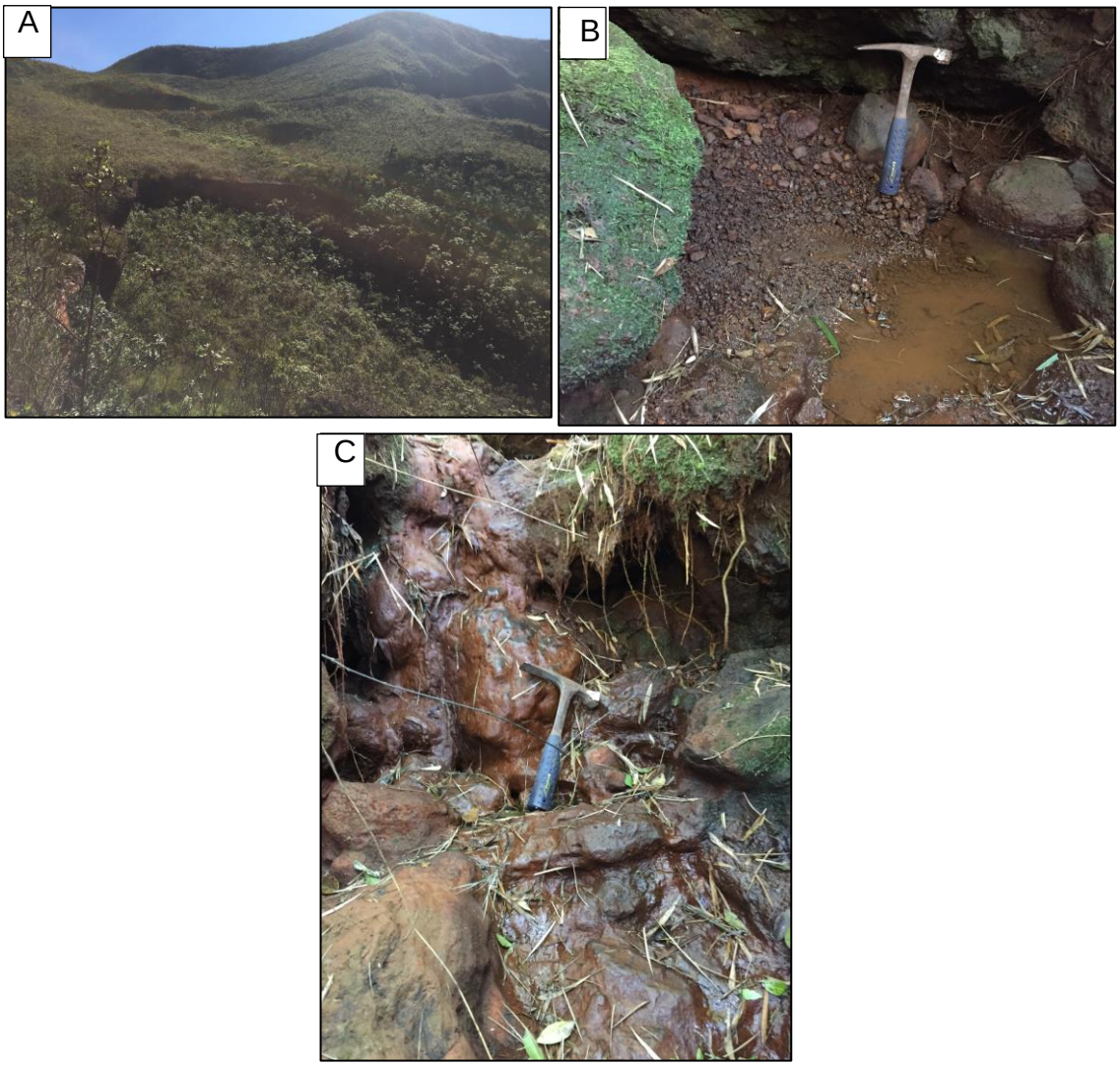
Essas duas coletas iniciais encontram-se nas cabeceiras das drenagens do rio Piracicaba e Jacuba, afluentes do rio Gualaxo do Norte, conforme mostrado na Figura 29. Essas coletas foram realizadas conforme o Procedimento de Coleta de Sedimentos de Correntes, PEA - 413 – Institutos Lactec apresentado no **Apêndice E**, sendo: i) Amostra 01 – coordenadas UTM 23S – 653089/7763357 – localizada na região das nascentes do rio Piracicaba, na serra do Gandarela, em área não antropizada, cujo acesso foi realizado a partir de estradas secundárias, controladas pelas minerações da Vale e Samarco. A drenagem onde foi realizada a coleta apresenta-se de forma encaixada, com presença de muitos blocos de rocha (Figura 30).

Figura 30 – Nascentes do rio Piracicaba, local de coleta de sedimentos amostra 01.



ii) Amostra 03 – coordenadas UTM 23S – 652335/7760597 – localizada na nascente do rio Jacuba (afluente do rio Gualaxo do Norte), nas vertentes situadas acima da mina Timbopeba (Vale), em área não antropizada, cujo acesso foi realizado a partir de estradas secundárias, controladas pelas minerações da Vale e da Samarco (Figura 31A). Além da coleta de sedimentos de corrente, (Figura 31B) foi realizada, também, a coleta de amostra de rocha (Figura 31C). A drenagem onde foi realizada a coleta apresenta-se de forma encaixada, com presença de cangas lateríticas.

Figura 31 – A) Visão geral da drenagem onde foi coletada a amostra de sedimento na nascente do rio Jacuba, afluente do rio Gualaxo do Norte; B) Local da coleta de sedimentos e C) Coleta de amostra de rocha de canga laterítica.



Com base nessas amostras, foram inicialmente realizados ensaios de Difratometria de Raios X (DRX), Fluorescência de Raios X (FRX), microscopia eletrônica de varredura, com detector de difratometria de elétrons retroespalhados, MEV-FEG/EDS/EBSD, cujos resultados encontram-se expressos na Tabela 5, na Tabela 6 e na Figura 32.

Tabela 5 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 01 - 2.0176.17, expressas na forma de óxidos.

Amostra	**Fe_2O_3 (%)**	**SiO_2 (%)**	**Al_2O_3 (%)**	**TiO_2 (%)**	**K_2O (%)**	**P_2O_5 (%)**	**MgO (%)**	**As_2O_3 (%)**	**MnO (%)**	**Cr_2O_3 (%)**	**SO_3 (%)**	**Perda ao Fogo (%)**
Amostra 01	75,0	16,4	3,5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	4,23

Tabela 6 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 03 – 2.0177.17 de sedimento de corrente e da rocha 2.0202.17, expressas na forma de óxidos.

Amostra	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	SO_3 (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 03	88,1	5,1	0,8	0,2	0,1	<0,1	<0,1	5,63
Amostra 03 Rocha	87,2	1,1	0,5	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	10,98

Por DRX, foram identificadas as principais fases químicas e mineralógicas, ilustradas na Figura 32 e Figura 33. Os certificados de análise estão apresentados no **Anexo 2** e **Anexo 3**.

Figura 32 – Difratogramas de raios X da amostra 01 – 2.0176.17, coletada na nascente do rio Piracicaba, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2).

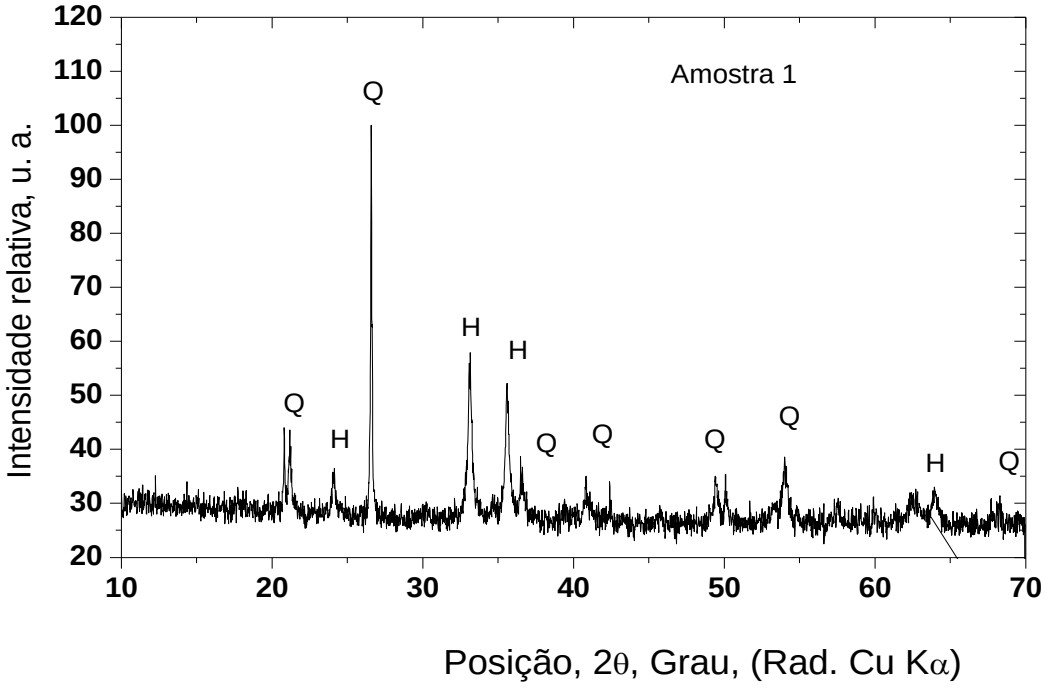


Figura 33 – Difratogramas de raios X da amostra 03 – 2.0177.17, coletada na nascente do rio Jacuba, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica hematita (Fe_2O_3) e goethita (FeO(OH)).

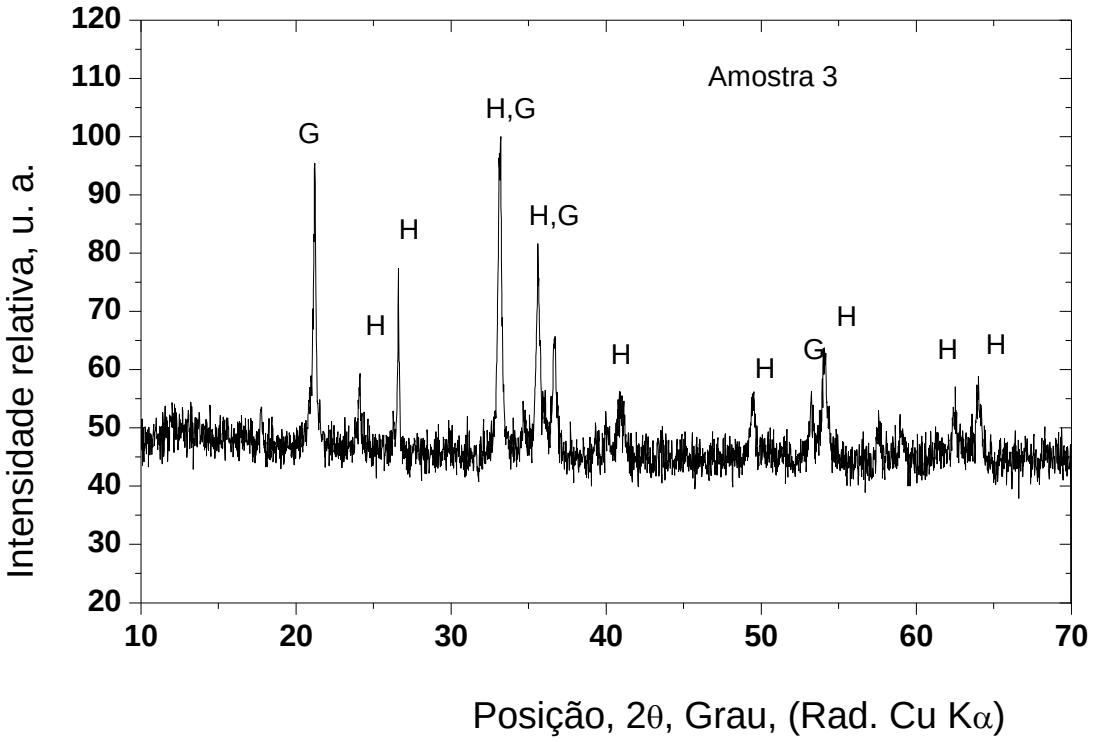
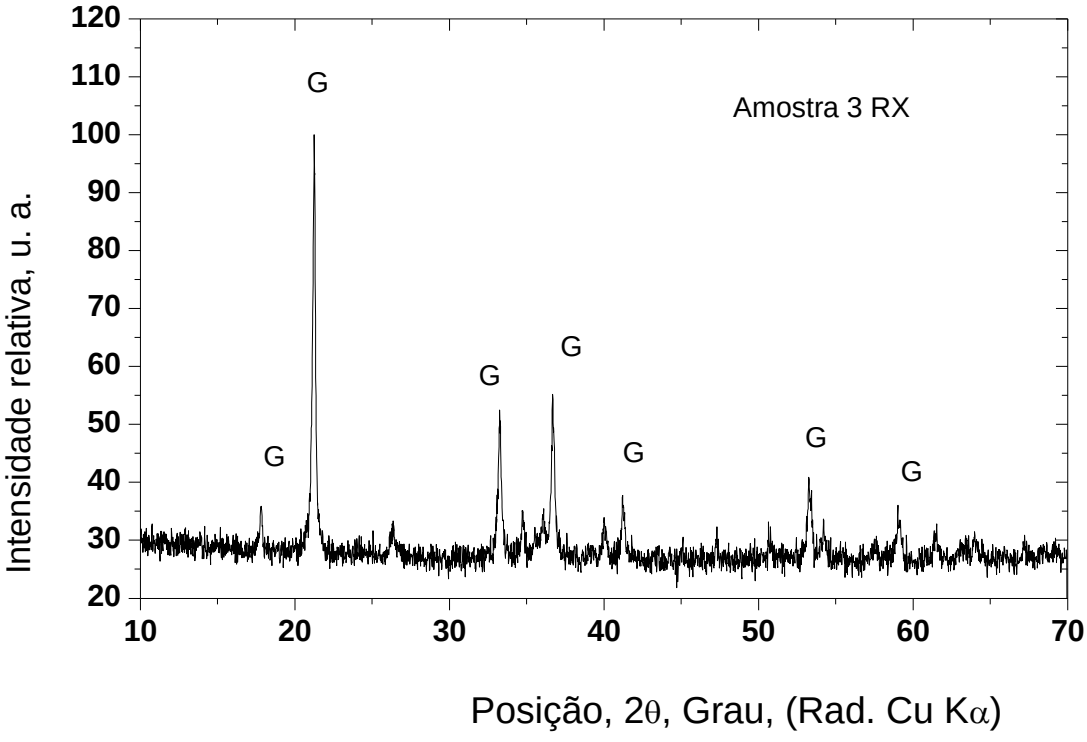


Figura 34 – Difratogramas de raios X da amostra 03 – rocha – 2.0202.17, coletada na nascente do rio Jacuba, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica goethita (FeO(OH)).



Os resultados obtidos a partir do FRX, para a amostra 01 de sedimento da nascente do rio Piracicaba, indicam que a composição química elementar é composta, principalmente, por óxidos de ferro e silício, sendo ainda verificados menores teores de alumínio, além de traços de titânio, potássio, fósforo, magnésio, arsênio, manganês, cromo e óxido sulfúrico. A composição mineralógica obtida pelo DRX apontou os minerais hematita e quartzo.

Já os resultados obtidos a partir do FRX, para a amostra 02 de sedimento da nascente do rio Jacuba, indicam que a composição química elementar é composta, principalmente, por óxidos de ferro e silício, sendo ainda verificados menores teores de alumínio e fósforo, além de traços de titânio, manganês e óxido sulfúrico. A composição mineralógica obtida pelo DRX apontou os minerais hematita e goethita.

3.1.5.3 Espeleologia

Considerando a alta sensibilidade ambiental que as cavernas apresentam, visando ao planejamento de etapas de campo subsequentes para identificação de eventuais impactos nesses ambientes, foram obtidos, junto ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), os dados referentes a essas cavidades.

A legislação brasileira no decreto federal que dispõe sobre a proteção das cavernas existentes no Brasil, Decreto nº 99.556/1990 (com redação alterada pelo Decreto Federal nº 6.640/2008) apresenta no art. 1º, parágrafo único, o seu conceito para a definição de cavernas, a qual denomina de cavidades naturais subterrâneas:

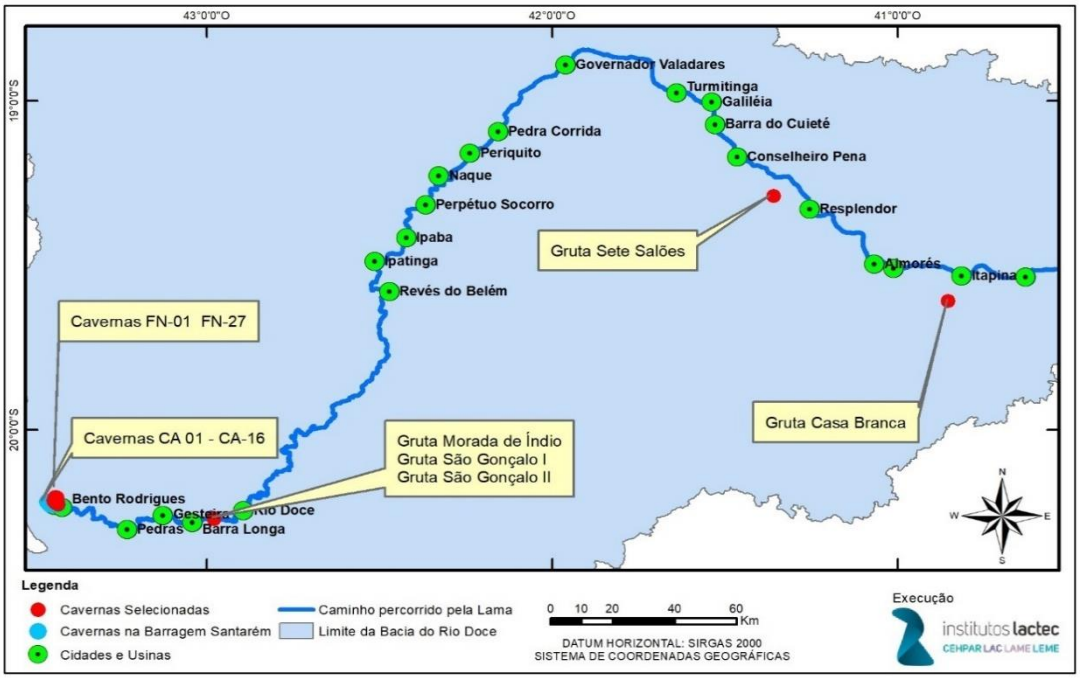
> Art. 1º As cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional deverão ser protegidas, de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
> Parágrafo único. Entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
> Art. 2º A cavidade natural subterrânea será classificada de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio ou baixo, determinado pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob enfoque regional e local. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008). (BRASIL, 1990).

As cavidades selecionadas para vistoria para identificação de eventuais impactos e potencial acompanhamento periódico são todas aquelas que se encontram nas proximidades da área de mineração, do rio Doce e das drenagens afetadas pelo rejeito. Não se definiu uma distância máxima além dessas localidades, considerando-se o limitado número dessas ocorrências. As estruturas selecionadas para acompanhamento são todas que apresentarem

indícios de danos diretos ou indiretos decorrentes do depósito de rejeitos, constituindo-se, desse modo, como indicadores do dano ambiental.

No presente momento, os dados espeleológicos (coordenadas) foram obtidos junto ao CECAV. Assim como para as informações oriundas dos processos minerários, o registro dessas cavernas refere-se a todo o estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Igualmente, essas informações foram filtradas e selecionadas, com base no limite da bacia hidrográfica do rio Doce e das demais drenagens impactadas. Foram descartadas outras, distantes das áreas afetadas, conforme detalhado na Figura 35 e Tabela 7.

Figura 35 – Localização das cavernas selecionadas para vistoria



Fonte: Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE).

Tabela 7 – Cavernas selecionadas para vistoria – Fonte: CANIE. Responsável: CECAV.

Caverna	UF	Município	Localidade	Latitude	Longitude
Caverna FN-001	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2281080	-43,4306110
Caverna FN-002	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2277740	-43,4316290
Caverna FN-003	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2224070	-43,4345250
Caverna FN-004	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2221270	-43,4345760
Caverna FN-005	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2220630	-43,4345380
Caverna FN-006	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2190590	-43,4308840
Caverna FN-007	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2108440	-43,4396460
Caverna FN-008	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2106830	-43,4399250
Caverna FN-009	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2080380	-43,4390330
Caverna FN-010	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2080830	-43,4390130
Caverna FN-011	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2080830	-43,4390610
Caverna FN-012	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2084160	-43,4388950
Caverna FN-013	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2079540	-43,4388130
Caverna FN-014	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2078960	-43,4332920
Caverna FN-015	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2061160	-43,4363150
Caverna FN-016	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2062490	-43,4369840
Caverna FN-017	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2064570	-43,4380530
Caverna FN-018	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2074900	-43,4383590
Caverna FN-019	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2075830	-43,4386930
Caverna FN-020	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2077910	-43,4387480
Caverna FN-021	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2075210	-43,4388370
Caverna FN-022	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2088040	-43,4399060
Caverna FN-023	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2088050	-43,4399440
Caverna FN-024	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2170220	-43,4425700
Caverna FN-025	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2172480	-43,4436490
Caverna FN-026	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2183530	-43,4419450
Caverna FN-027	MG	Mariana	Quadrilátero Ferrífero	-20,2242530	-43,4379520
Gruta Morada de Índio	MG	Barra Longa	Fazenda São Gonçalo	-20,2722540	-42,9798400
Gruta São Gonçalo I	MG	Barra Longa	Sem informação	-20,2703540	-42,9795400
Gruta São Gonçalo II	MG	Barra Longa	Fazenda São Gonçalo	-20,2725540	-42,9795400
Gruta Sete Salões	MG	Santa Rita do Itueto	Serra das Onças - Parque Sete Salões	-19,2893070	-41,3592110
Gruta Casa Branca	ES	Colatina	Sem informação	-19,6085470	-40,8557110

As visitas *in loco* das cavidades selecionadas também possibilitam a realização de estudos para caracterização geológica, estrutural e hidrogeológica, que podem contribuir para o diagnóstico ambiental.

Os procedimentos para os levantamentos seguirão as orientações padronizadas estabelecidas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) e CECAV. Adicionalmente, dispõe-se também da Instrução de Serviço (IS) nº 08/2017 – MG – Procedimentos para análise dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos e de atividades efetiva ou potencialmente causadoras de impactos sobre cavidades naturais subterrâneas.

Essas orientações estabelecem diretrizes básicas para a realização de levantamento espeleológico, tais como:

- as coordenadas geográficas das cavidades existentes obtidas com equipamento de GPS, no ponto onde se localizam as bases topográficas “zero” das entradas da cavidade;
- a denominação local;
- o município, nome da fazenda ou da região em que se insere;

- os dados de identificação do proprietário da área onde a caverna está inserida;
- a altitude;
- a projeção horizontal da área de influência (mínimo 250 m);
- a descrição das entradas e formas de acessos;
- a classificação da caverna quanto aos aspectos hidrológicos e morfológicos;
- o registro fotográfico.

Para a realização do diagnóstico ambiental da área de ocorrência de cavernas, se necessário, deverão ser realizados estudos temáticos para os meios bióticos e abióticos, como:

- a caracterização das unidades estratigráficas onde se insere a caverna;
- a caracterização estrutural, com referência e identificação da ocorrência de falhas, dobras, fraturas e planos de acamamento;
- a sedimentologia clástica e química da rocha encaixante;
- a identificação de áreas de risco geotécnico, com ênfase nas zonas de ocorrência de blocos abatidos e tetos ou paredes com rachaduras (locais passíveis de monitoramento);
- a identificação de processos erosivos nas áreas próximas ao patrimônio espeleológico e que apresentem potencial de risco à sua integridade;
- a descrição e a caracterização dos espeleotemas (frágeis, raros) e demais depósitos sedimentares (aluviais e coluviais);
- a caracterização das feições exocársticas ou pseudocársticas;
- a descrição da dinâmica dos processos geomorfológicos ativos na cavidade;
- a caracterização da morfologia endocárstica;
- a descrição da área de ocorrência, tipo, geometria, litologia, estrutura geológica, propriedade física, hidrodinâmica e outros aspectos do(s) aquíferos(s);
- a caracterização das áreas e dos processos de recarga, circulação e descarga do(s) aquífero(s);
- o inventário dos pontos de absorção d'água;
- a indicação da direção dos fluxos das águas subterrâneas;
- a descrição e o controle altimétrico dos corpos d'água, lago subterrâneo, sumidouro, surgência, ressurgência, com identificação de hipóteses de origem;
- a avaliação das relações existentes entre as águas subterrâneas e superficiais, assim como as de outros aquíferos;
- a identificação dos níveis de poluição e de prováveis fontes poluidoras (locais passíveis de monitoramento);
- as drenagens superficiais identificáveis (perene/intermitente);
- o levantamento de informações fluviométricas;
- a caracterização do sistema hidrodinâmico, identificando: as áreas com diferentes comportamentos frente às enchentes (risco de enchentes, elevação do nível de base);
- a caracterização físico-química e bacteriológica dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, em cavernas utilizadas para turismo;
- a descrição e a caracterização dos jazimentos e respectivos fósseis encontrados no interior e/ou na área de influência da caverna;

- os riscos potenciais à integridade dos fósseis ou jazimentos, principalmente, em relação às atividades hidrelétricas;
- os dados climáticos das áreas externas com dados históricos das estações mais próximas;
- o levantamento fisionômico e florístico na área de influência da caverna, com detalhamento às proximidades das entradas e claraboias, dolinas;
- o levantamento qualitativo e quantitativo da fauna cavernícola considerando a sazonalidade climática, utilizando técnicas consagradas (busca ativa, puçá e covo);
- o levantamento da quiropterofauna, por amostragem, utilizando, no mínimo, rede de neblina;
- a identificação de espécies migratórias, ameaçadas, raras, endêmicas e nocivas ao ser humano;
- a caracterização das interações ecológicas da fauna cavernícola e desta com o ambiente externo.

Na existência de uma ou mais comunidades na área de estudo que mantenha inter-relação com as cavidades naturais existentes, deverão ser levantados e analisados de forma integrada os seguintes estudos:

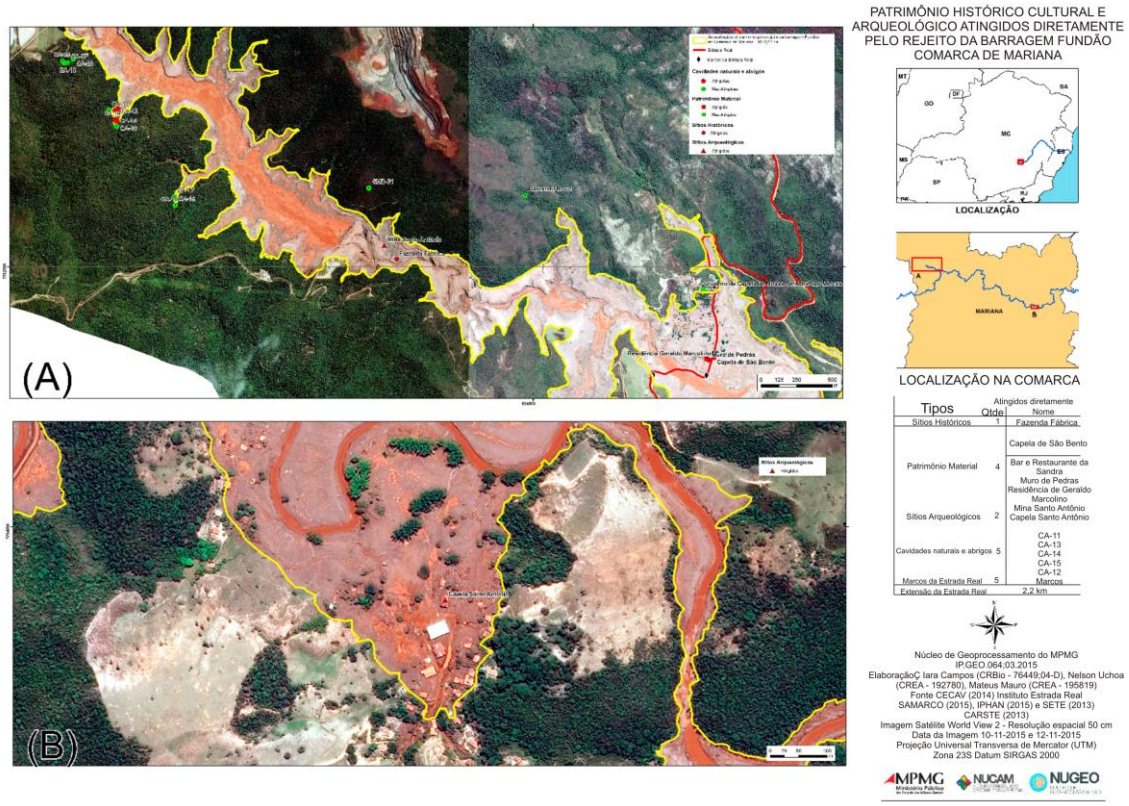
- a descrição dessa comunidade;
- a descrição das condições atuais de uso e ocupação do solo, das águas superficiais e subterrâneas;
- a descrição do potencial econômico, científico, educacional, turístico e/ou recreativo das cavidades;
- a descrição das manifestações culturais que ocorram nas proximidades e no interior da caverna, como: cultos religiosos, vestígios de caça e pesca, visitação turística.

Na existência de sítios arqueológicos na área de estudo, esses deverão ser caracterizados e descritos, indicando a provável dinâmica deposicional, seguindo as normas e as diretrizes do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

3.1.5.4 Visita espeleológica preliminar

Com base na legislação descrita e conforme documento do Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG), Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico, Figura 36, e devido à proximidade de algumas cavidades indicadas nesse documento com a área da mineração e barragens de rejeito, deu-se prioridade para uma vistoria técnica inicial dos pontos CA-11 a CA-16. Essas atividades foram realizadas no mês de julho de 2017 e contaram com o acompanhamento das equipes da Fundação Renova e da Samarco, responsáveis pelos assuntos relacionados à espeleologia.

Figura 36 – Localização das cavidades/abrigos elencadas como atingidas pelo rejeito.



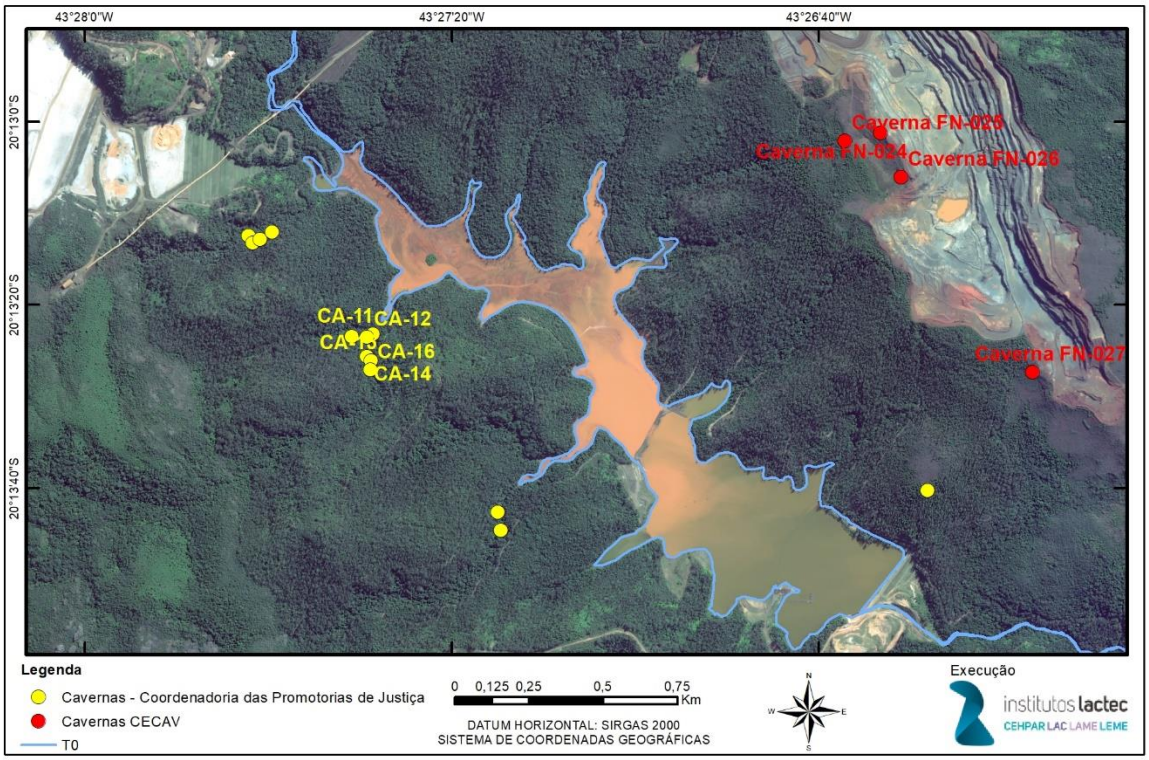
Nota: A imagem está em baixa resolução conforme obtida na fonte.
Fonte: MPMG (2017).

No referido documento são indicadas cinco cavidades/abrigos que teriam sido diretamente atingidas, das quais, foram visitadas tecnicamente quatro. As demais não foram identificadas ou as condições de acesso eram críticas, devido, sobretudo, à topografia acentuada e presença de vegetação densa, de forma que, por orientação dos técnicos segurança da Samarco, o acesso não foi permitido. Novas visitas técnicas serão programadas com antecedência, permitindo prévia limpeza dos acessos.

Conforme mencionado, a visita técnica foi realizada nas cavidades denominadas de CA-14, CA-15, CA-16, além de mais uma cavidade (abrigo sem denominação), indicadas na Figura 36.

As cavidades/abrigos indicadas no documento do Patrimônio Histórico Cultural foram georreferenciadas e incorporadas ao banco de dados em GIS conforme Figura 37.

Figura 37 – Localização das cavidades abrigos vistoriados em campo e demais mapeadas pelo CECAV e Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico sobre imagem orbital World View 2 de 10/11/2015.



Nessas visitas técnicas preliminares foram obtidas, essencialmente, medidas de altura, desenvolvimento e demais atributos para a sua classificação conforme o grau de relevância.

Na sequência, está apresentada a descrição resumida das cavidades/abrigos visitadas:

Cavidade/Abrigo – sem identificação – coordenadas UTM 23S – 661070/7763098 – localizada no lado direito da barragem de Santarém. Caracteriza-se por um bloco de rocha rolado sobre a drenagem, formando um pequeno abrigo, com a presença de vegetação rasteira. A rocha foi descrita, macroscopicamente, como um quartzo, mica, xisto. Não foram identificadas manifestações culturais, espeleotemas e demais atributos relevantes (Figura 38).

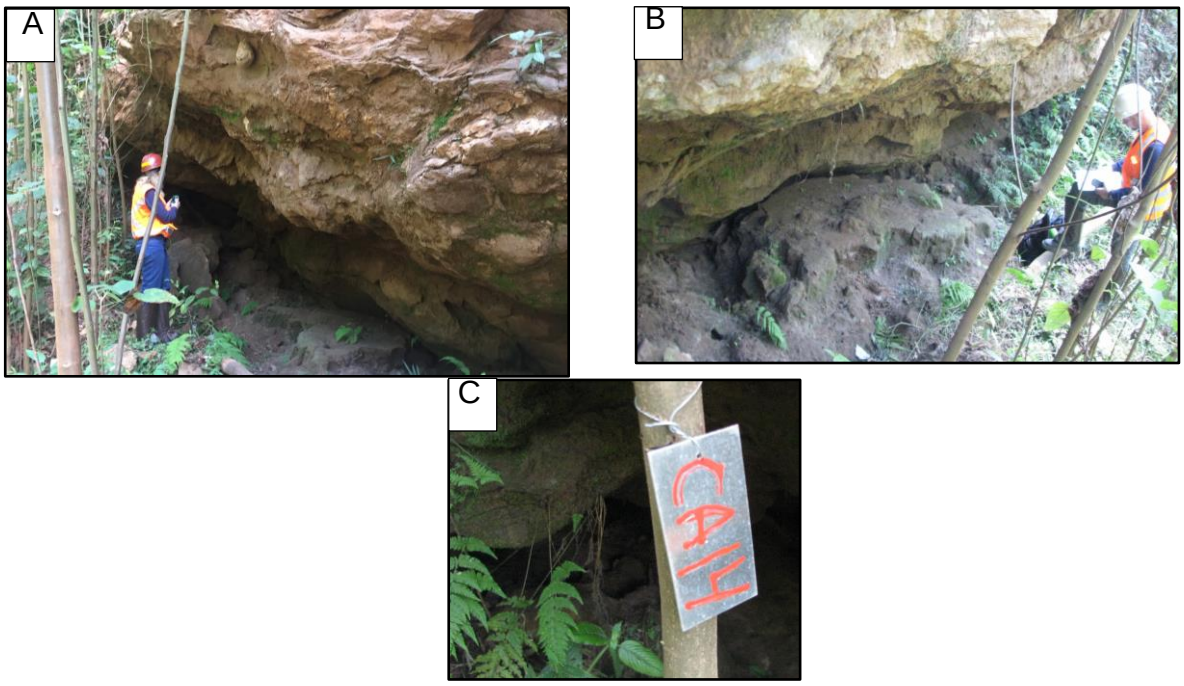
Figura 38 – Cavidade/abrigo sem identificação.



CA-14 – coordenadas UTM 23S – 661095/7763023 – cavidade/abrigo identificada p–or placas numeradas – localizada no lado direito da barragem de Santarém (Figura 39). Está posicionada na meia-encosta da vertente e caracteriza-se por apresentar a abertura paralela ao plano principal de foliação (N15E/70SE). As medidas realizadas indicam uma abertura média de 8,5 m e desenvolvimento médio de 2,20 m.

A rocha foi descrita macroscopicamente como sendo um quartzo, mica xisto, e igualmente não foram identificadas manifestações culturais, espeleotemas e demais atributos relevantes.

Figura 39 – A e B) Vista geral da cavidade/abrigo CA-14 e C) Identificação.



CA-15 – coordenadas UTM 23S – 661095/7763027 – cavidade/abrigo identificada por placas numeradas – localizada no lado direito da barragem de Santarém. Está posicionada

junto à drenagem, paralela a esta (Figura 40). É caracterizada por apresentar a abertura paralela ao plano principal de foliação (N22W/50SW). As medidas realizadas indicam uma abertura média de 10,0 m e desenvolvimento de 2,0 m.

A rocha foi descrita, macroscopicamente, como sendo um quartzito, e igualmente não foram identificadas manifestações culturais, espeleotemas e demais atributos relevantes.

Figura 40 – Cavidade/abrigo CA-15.



CA-16 – coordenadas UTM 23S – 661100/7762983 – cavidade/abrigo identificada por placas numeradas e está localizada no lado direito da barragem de Santarém. Está posicionada junto à drenagem, paralela a esta (Figura 41). É caracterizada por apresentar a abertura paralela ao plano principal de foliação (N10E/55SE). As medidas realizadas indicam uma abertura média de 13,0 m e desenvolvimento médio de 2,0 m.

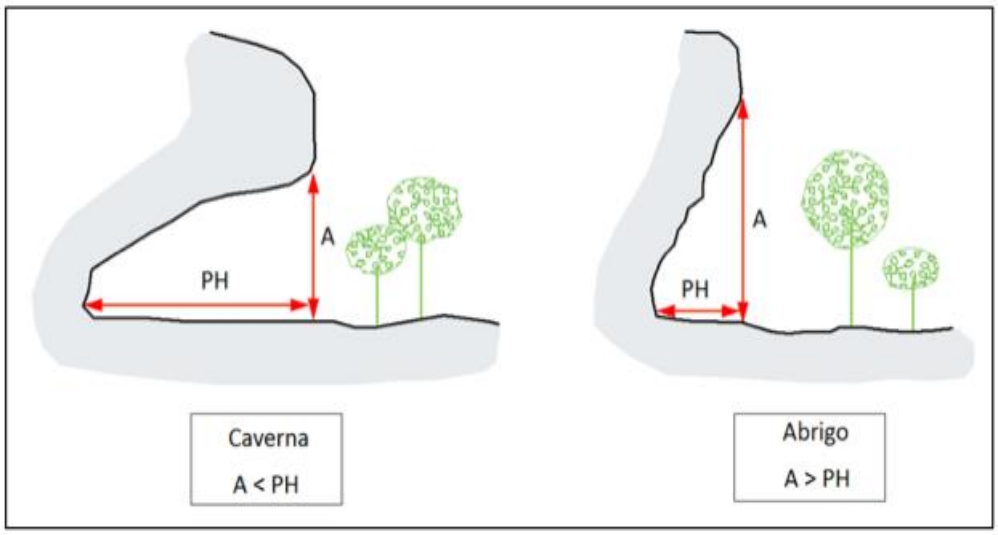
A rocha macroscopicamente foi descrita como sendo um quartzito, e igualmente não foram identificadas manifestações culturais, espeleotemas e demais atributos relevantes.

Figura 41 – Cavidade/abrigo CA-16.



De acordo com a IS nº 08/2017, essas cavidades, devido à relação altura da entrada x desenvolvimento, classificam-se como abrigos, conforme indicado na Figura 42.

Figura 42 – Classificação de abrigos e cavidades conforme o desenvolvimento, IS nº 08/2017, sendo A = altura da entrada e PH = Desenvolvimento.



3.1.6 Geotecnia

Quanto às propriedades físicas de materiais geotécnicos, três são hierarquicamente importantes. Cita-se a textura do solo, que é definida pela distribuição de tamanho de partículas e a estrutura do solo definida pelo arranjo das partículas em agregados. E a porosidade do solo, que por sua vez, é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como retenção e fluxo de água e ar, e, se analisada conjuntamente com a matriz do solo, gera um grupo de outras propriedades físicas do solo associadas às relações de massa e volume das fases do sistema solo.

Não menos importante são as propriedades associadas à reação mecânica do solo à aplicação de forças externas. A física de solos estuda e define, qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas, bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo principal de entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera. A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água. A natureza dos solos denota variações físicas que ocorrem ao longo da profundidade do solo, na superfície da paisagem e ao longo do tempo. Um exemplo clássico refere-se ao suprimento de água e ar que varia continuamente junto com os ciclos de umedecimento e secagem, que ocorrem com a alternância de chuva e estiagem.

Entende-se que a busca por informações relativas ao solo deve estar focada nas propriedades dos solos que recobrem o embasamento rochoso e em função das características de resistência inerentes ao próprio maciço rochoso. O solo mais evoluído, resultante da completa intemperização de rochas, pode apresentar características que induzam instabilidade em função de espessuras, texturas, heterogeneidade e resistência ao cisalhamento. Os solos homogêneos são mais facilmente estudados, pois as suas características de resistência podem ser admitidas para todo o conjunto ocorrente no local. A

heterogeneidade é representada pelas variações de textura, concentração de material iluvial, planos remanescentes de estruturas reliquiares de rocha e elevada anisotropia de propriedades geomecânicas.

Faz-se necessário, portanto, conhecer as características de todas as variações presentes em um maciço de solo. As informações geotécnicas levantadas oriundas de ensaios de campo e/ou ensaios de laboratório, com a intenção de conhecer o comportamento dos solos, são: resistência ao cisalhamento; deformabilidade; informações sobre expansão, colapsibilidade e erodibilidade; e hídricas – como a permeabilidade e a infiltração. Cabe citar ainda o reconhecimento geológico-geotécnico do subsolo da área em estudo a partir de sondagens a trado; sondagens a percussão; coleta de amostras; ensaios de caracterização; e estudo de estabilidade de taludes.

Tais informações complementarão o texto de linha-base a partir de projetos de engenharia realizados para a construção de pontes ao longo do percurso do rio; construção de UHEs e PCHs; rodovias; e eventuais estruturas de contenções ao longo do rio (indicados nas tabelas do **Apêndice F**), uma vez que, para a elaboração de projetos das estruturas citadas, necessitam-se parâmetros geotécnicos.

Foram obtidos dados das propriedades físicas do solo junto ao banco de dados hidrofísico de solos no Brasil (HYBRAS), o qual foi elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), conforme Ottoni et al. (2017). Foram levantadas informações a respeito de solos das cidades de Sete Lagoas, de São Sebastião do Paraíso e Araponga, esses resultados se encontram no **Anexo 4**. Tratam-se de informações sobre textura em diferentes profundidades, características e permeabilidades do solo, que não são especificamente da área afetada.

No relatório técnico emitido por Watergeo (2016), pode ser identificado um perfil construtivo de poços de abastecimento que indicam que o solo em questão onde o poço foi instalado foi identificado como aluvião com cerca de 5 m de profundidade, solo saprolítico com cerca de 15 m de profundidade no ponto com posição geográfica 684.037E; 7.751.726N. Na sequência do solo saprolítico, o perfil indica a ocorrência de rocha sã.

Até o momento, após a análise da documentação disponibilizada pelo Ministério Público Federal (MPF), identificou-se os parâmetros geotécnicos apresentados na Tabela 8, da área de influência direta apontada no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Estrada de Ferro Vitória a Minas, que poderão viabilizar projetos de recuperação ambiental, ou seja, são elementos que poderão ser comparados com sondagens e levantamentos posteriores, assim como parâmetros geotécnicos, utilizados para a análise de estabilidade do aterro da ferrovia (EFVM) (SETE, 2012).

Tabela 8 – Parâmetros de resistência e permeabilidade utilizados no projeto dos bueiros 1 e 2 sob a EFVM (Geoestável, 2012 apud SETE, 2012).

Material	Peso específico (kN/m^3)	Coesão efetiva (kPa)	Ângulo de atrito interno efetivo (°)	Coeficiente de permeabilidade (m/s)
Fundação	18,0	30	28	5×10^{-7}
Solo compactado (núcleo)	17,5	20	28	1×10^{7}
Sedimentos	18,5	5	0	1×10^{-10}
Rejeito compactado	18,5	0	32	1×10^{-6}
Dreno – Enrocamento	19,0	0	45	1×10^{-2}

3.2 Processos de Mineração, Beneficiamento e Caracterização de Rejeito

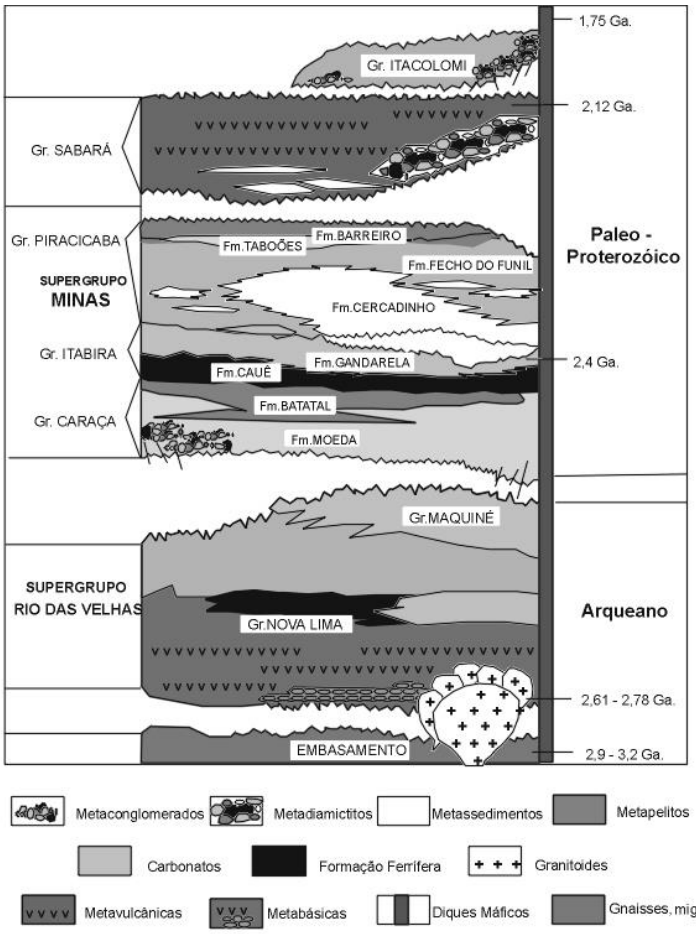
Nesta seção, estão apresentadas as informações pertinentes aos processos minerários e de beneficiamento, bem como a caracterização do seu rejeito da Samarco Mineração. Tais informações são importantes para a avaliação da linha-base, uma vez que dizem respeito a todo o processo, desde a extração do minério na frente de lavra até a forma como é depositado.

3.2.1 Geologia local

Especificamente, no que se refere à linha-base, considerando que tanto o minério quanto seus subprodutos e, consequentemente, o rejeito estão diretamente ligados à geologia, principalmente no que concerne à sua composição e ao quimismo da rocha fonte, considera-se fundamental o seu entendimento, assim como os processos de beneficiamento associados para que se possa compreender os seus produtos e, consequentemente, fazer uma adequada análise ambiental. De acordo com Costa et al. (2001), as reservas da Samarco Mineração estão localizadas no chamado Complexo Alegria, localizado na porção leste do QF, fazendo parte do Sinclinal de Alegria, estrutura formada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas, conforme coluna litoestratigráfica da Figura 43.

A formação ferrífera encontra-se na Formação Cauê do Grupo Itabira, pertencente ao Supergrupo Minas. Estão presentes nessa formação diversos tipos de itabirito, outros materiais ferruginosos como cangas, brechas e hematitas compactas e ainda, rochas não ferruginosas como quartzitos, filitos, filitos dolomíticos, xistos e metabasitos (ALKMIM; MARSHAK, 1998).

Figura 43 – Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Adaptado de Alkmim e Marshak (1998).

A partir de visita técnica de campo, realizada em julho de 2017, verificou-se que a rocha aflorante na mina de Alegria Sul caracteriza-se por itabiritos e quartzitos ferruginosos, muito friáveis (Figura 44), razão pela qual o processo de lavra é realizado essencialmente a partir de maquinário para escarificação (retroescavadeiras), de forma que raramente são realizados desmontes com explosivos. Uma vez executada a desagregação da rocha, o minério é levado até as usinas de beneficiamento por meio de esteiras transportadoras (Figura 45).

Figura 44 – Itabiritos da frente de lavra da mina Alegria Sul – Samarco.



Figura 45 – Esteiras transportadoras.



Cabe ressaltar que junto à frente de lavra (Alegria Sul) foi coletada uma amostra, em caráter preliminar, com o objetivo de identificar a rocha fonte do ponto de vista mineralógico e químico para melhor entendimento da geologia local e, consequentemente, dos elementos constituintes do rejeito. A coleta dessa amostra foi realizada conforme as normas ABNT NBR-NM 26 e ABNT NBR 1577-2.

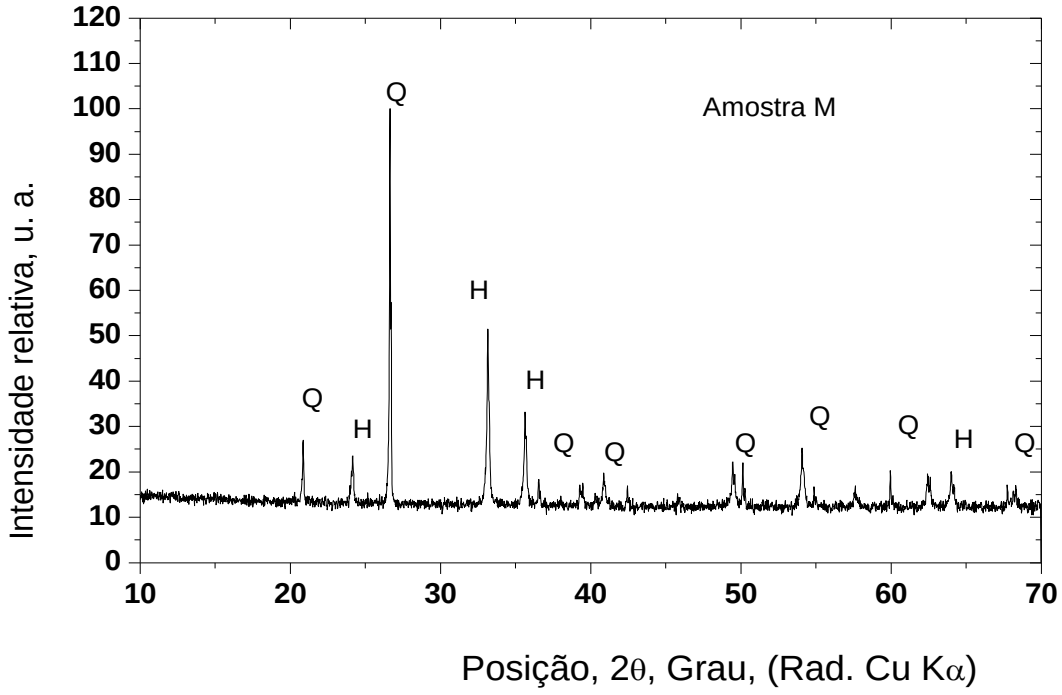
Com base nessa amostra, inicialmente, foram realizados ensaios de FRX, cujos resultados estão apresentados na Tabela 9, DRX, apresentado na Figura 46, e microscopia eletrônica de varredura, com detector de difratometria de elétrons retroespalhados, MEV-FEG/EDS/EBSD. Posteriormente, pretende-se, também, realizar ensaios complementares de espectrometria de massa (ICP-MS), análise petrográfica e análises isotópicas.

Os resultados dos ensaios preliminares, conforme Tabela 9 e Figura 46, indicam que os principais minerais constituintes da rocha são hematita e quartzo, compatíveis com as formações ferríferas bandadas – Itabirito. A composição química predominantemente é de óxido de ferro e dióxido de silício.

Tabela 9 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da rocha coletada na mina Alegria Sul, expressas na forma de óxidos.

Amostra	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	Perda ao Fogo (%)
Rocha Alegria Sul (M)	64,9	33,8	0,7	< 0,1	0,44

Figura 46 – Difratogramas de raios X da amostra de rocha (M), coletada mina Alegria Sul, com identificação de picos pelo ICDD. Composição mineralógica hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2).



Com o objetivo de avaliar a morfologia, a microtextura e as fases químicas e minerais principais presentes nas amostras de rochas coletadas, foram realizadas microanálises com uso de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV-FEG) com detector de dispersão de energia de raios X (EDS) para obter as informações químicas elementares dos materiais e de difração dos elétrons retroespalhados na câmara de vácuo (EBSD), para análise de fases.

As microanálises foram realizadas em amostras de fragmentos de rocha, devidamente preparadas para EBSD, embutidas em resina baquelite e devidamente polidas, fixadas nos porta-amostras com fita de carbono, sendo avaliada sem o tratamento prévio de cobertura para o aumento de sua condutividade (*in natura*), de modo a permitir a realização de análises químicas elementares de forma mais precisa. A seguir, está apresentado o procedimento detalhadamente.

Especificamente na preparação para o EBSD, as amostras foram submetidas a cortes de precisão, com uso do equipamento IsoMet 1000, marca Bühler, provido de disco diamantado. Blocos fatiados de dimensões aproximadas de 20 x 30 mm e 5 mm de espessura foram impregnados e embutidos em resina de epóxi, EpoThin Epoxy, marca Bühler, a frio.

Após o processo de amostragem, corte e montagem, as amostras foram desformadas dos moldes de embutimento e seguiram com o procedimento de desbaste manual na lixa de granulosidade de 240 grit até a retirada aparente da resina de embutimento nas superfícies de análises. Em seguida, foram realizados os polimentos, em politriz de baixa rotação, modelo MetaServ 250, marca Bühler, com uso do carbeto de silício na granulosidade de 600 e 1000 grit por 5 min, e pasta de diamante de granulometrias de 9, 6, 3, 1, 0,25 µm por 30 min, em cada etapa.

O início do polimento final foi executado em pasta de alumina de granulometria de 0,05 µm por 90 min na mesma politriz mencionada anteriormente. O complemento do polimento final procedeu com a utilização da MiniMet, marca Bühler, com a utilização da sílica coloidal durante cerca de 60 min. Por fim, as amostras sem cobrimento receberam apenas o tratamento com fita de alumínio, para aumentar sua condutividade, a fim de evitar possíveis carregamentos durante a aquisição dos dados.

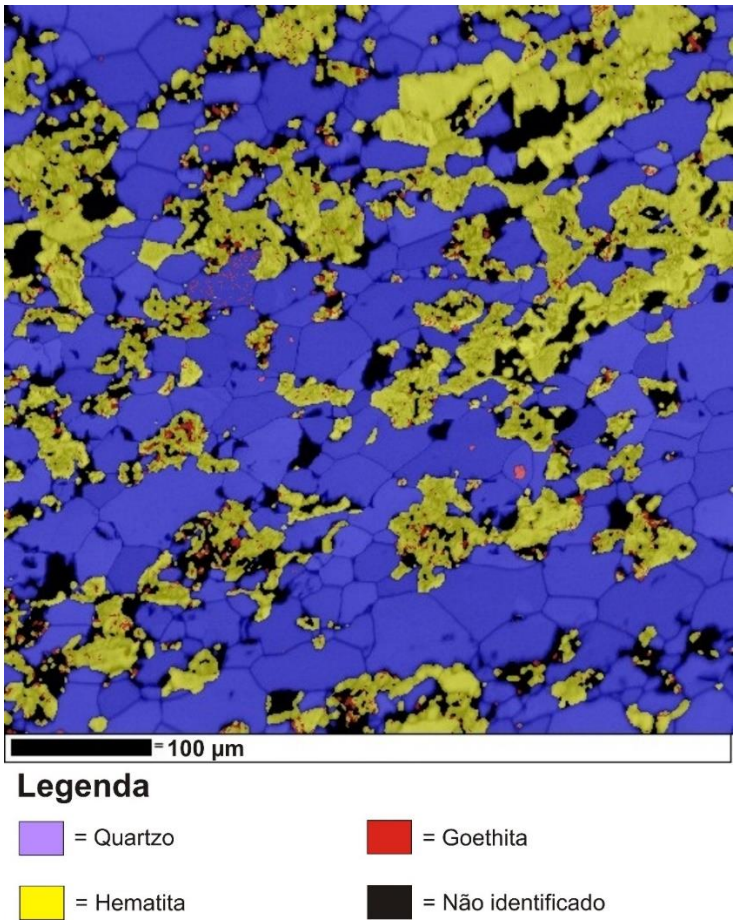
Os ensaios foram realizados em MEV-FEG, com monocristal de tungstênio e camada de zircônio, modelo MIRA3 LM, marca TESCAN, com uso dos detectores de elétrons secundários (SE) e de elétrons retroespalhados (BSE), marca TESCAN. Os parâmetros do equipamento seguiram com a tensão do feixe de elétrons de 15 kV, intensidade de 15,00, abertura de 18,0 mm, distância de trabalho de 15 mm e modo de resolução de varredura.

A avaliação qualitativa e semiquantitativa dos elementos químicos presentes nos materiais foi realizada, para ambos os preparos, com o uso do detector EDS, marca Oxford Instruments. As análises foram realizadas em regiões específicas (pontuais), por área e, principalmente, com a construção de mapas elementares.

Já para as análises de fase, foi utilizado o detector da difração dos elétrons retroespalhado na câmara de vácuo, marca Oxford Instruments, que é representado por uma câmera de CCD (dispositivo de carga acoplada) de interação rápida, alta sensibilidade e uma tela de fósforo a qual possui a função principal de coletar os padrões de difração fornecidos pela amostra mediante a incidência de raios X, chamados de linhas ou bandas de Kikuchi.

Por MEV/EDS/EBSD, foi possível verificar a morfologia da amostra de rocha coletada na frente de lavra, bem como identificar as principais fases mineralógicas ocorrentes. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 47.

Figura 47 – Análise da amostra de rocha coletada na frente de lavra Alegria, 2.0202.17, com identificação das fases mineralógicas principais por EBSD.



Conforme pode ser verificado na imagem apresentada na Figura 47, a amostra de rocha coletada na frente de lavra Alegria apresentou a ocorrência das fases químicas quartzo (53,2%), hematita (21,3%) e goethita (3,3%), não sendo possível a indexação de 22,2% dos compostos presentes, o que pode ser relativo aos contornos de grão e ocorrência de fases não cristalinas.

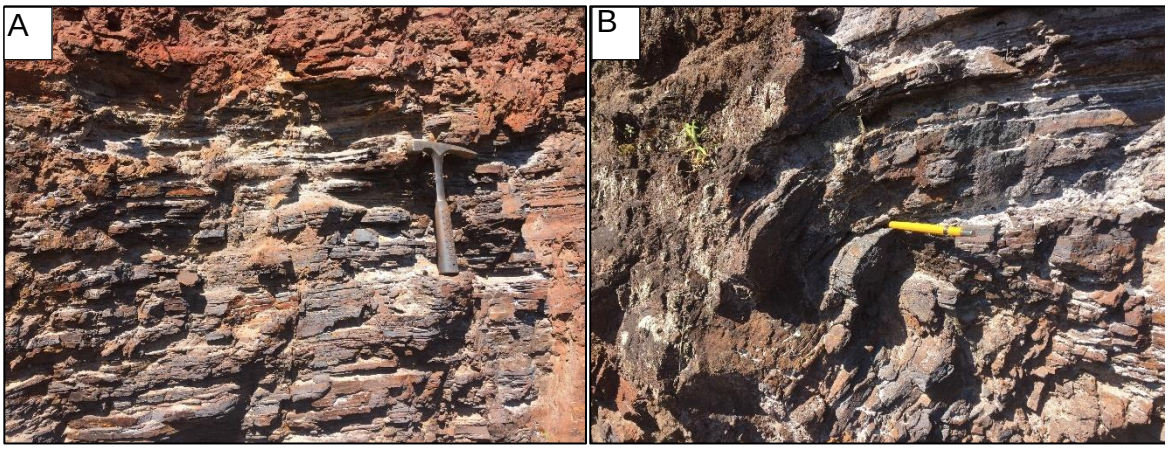
Além da área da mina, nessa mesma etapa de campo foram vistoriados outros afloramentos rochosos como subsídio a caracterização geológica e estrutural local. Nas proximidades às áreas da barragem de Fundão e Santarém, verificou-se a presença de filitos sericíticos, com foliação marcante, crenulada (Figura 48), assim como quartzitos finos, ambos com aspecto friável.

Figura 48 – Filitos sericíticos, com foliação marcante, crenulados.



Nas proximidades da mina de Timbopeba (Vale), foram identificados afloramentos de quartzitos ferruginosos, com bandamento marcante, localmente dobrados e igualmente friáveis (Figura 49).

Figura 49 – A) Afloramento de quartzito ferruginoso com bandamento marcante e B) Dobras mapeadas no quartzito.



A Formação Cauê pertencente ao Grupo Itabira é conhecida como o gigante depósito de minério de ferro hospedado do QF (SPIER et al., 2006), sobrepõe a Formação Batatal e é sobreposto pela Formação Gandarela, ambos em contato de natureza transicional (DORR, 1969). Devido ao comportamento plástico das Formações Ferríferas Bandadas (FFB) da Formação Cauê durante o processo de deformação que afetou o QF, a espessura dessa unidade em diversas partes do QF excede 1.500 m (AMORIM; ALKMIM, 2011).

A Formação Cauê (DORR, 1969) é uma sequência composta por FFB do tipo Lago Superior metamorfizadas de baixo a médio grau (itabiritos), hematita-filitos, filitos

dolomíticos e mármores. Segundo Amorim e Alkmim (2011), há quatro tipos de itabirito hospedados na Formação Cauê: silicoso, dolomítico, anfibolítico e magnetítico.

Os diferentes tipos de óxido de ferro presentes nessa formação seguem uma sequência paragenética (do estágio mais velho para o mais novo): magnetita, kenomagnetita, martita, hematita granoblástica recristalizada, hematita microtabular de granulometria fina e hematita especular hospedada na zona de cisalhamento (HENSLER, 2013).

Mendes (2012), ao realizar estudos em formações ferríferas da região do QF, concluiu que, no domínio oeste com menor grau de deformação e menores temperaturas, as fáceis óxido apresentam a magnetita como mineral predominante e, que à medida que seguem para os domínios central e leste com maior grau de deformação e maiores temperaturas, a quantidade de hematita e o tamanho desses grãos aumentam.

Segundo Costa et al. (2001), a alimentação da usina de concentração era feita com um "*blending*" de minérios provenientes de subdivisões do complexo Alegria.

3.2.2 Processos de mineração e de beneficiamento

A mineração é um complexo de atividades necessárias à extração econômica de bens minerais da crosta terrestre, apresentando grande importância para a economia brasileira. O beneficiamento desses minerais resulta em dezenas de milhões de toneladas de resíduos sólidos (BRASIL, 2012), criando um considerável passivo ambiental, além de requerer um gerenciamento oneroso e complexo. Os significativos volumes são comumente dispostos de forma direta sobre a superfície do terreno, em reservatórios, formando as bacias de disposição, conhecidas também como as barragens de rejeitos (BOSCOV, 2008).

Segundo Espósito e Assis (2000), as atividades relacionadas à obtenção dos produtos finais da mineração são a lavra e o beneficiamento do material extraído. A lavra constitui-se no conjunto de atividades de extração de um bem mineral, objetivando o seu aproveitamento industrial ou o uso direto. Os processos de beneficiamento (tratamentos) envolvem separações físicas e químicas visando à obtenção da substância mineral de interesse. Esses processos têm a finalidade de regularizar o tamanho dos fragmentos, remover os minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, a pureza ou o teor do produto final. Os procedimentos empregados para esse fim são variados, pois dependem, basicamente, do tipo e da qualidade do minério a ser extraído. No processo, também são produzidos os rejeitos, que são considerados, até então, de pouco valor comercial e, por isso, são descartados da unidade de beneficiamento.

Situado no QF, o complexo minerário de Germano-Alegria localiza-se nas cabeceiras dos rios Piracicaba e Gualaxo do Norte, na divisa dos municípios de Mariana e Ouro Preto, em Minas Gerais. O complexo foi implantado na década de 1970 para a obtenção do minério de ferro, a partir da exploração de itabirito (material geológico, constituído de quartzo e hematita, de forma intercalada) nas minas do Germano e, na década de 1990, iniciou-se a exploração nas minas de Alegria. As instalações industriais compreendem as cavas das duas minas e a usina de concentração de minério, onde o produto é processado e enviado, via mineroduto, para uma usina de pelotização, localizada em Ponta de Ubu, município de Anchieta (ES) (MINAS GERAIS, 2017; REZENDE, 2013).

O complexo de Germano é formado pelas barragens de Germano, de Santarém e do Fundão, localizadas no distrito de Mariana (MG), com o objetivo de disposição do rejeito gerado na planta de beneficiamento (REZENDE, 2013; MINAS GERAIS, 2017).

Ao longo dos processos de deslamagem e flotação, são gerados respectivamente dois tipos principais de rejeito: o rejeito fino, conhecido como lama, e o rejeito arenoso. Dadas as satisfatórias características de drenabilidade e de resistência do rejeito arenoso, esse material era empilhado no aterro da barragem de Fundão e nas áreas a jusante da barragem de Germano. Já a lama proveniente da deslamagem e do processo de planta de finos era disposta nos reservatórios das barragens a montante da disposição de rejeito arenoso (REZENDE, 2013; MINAS GERAIS, 2017).

Cabe salientar que essas denominações estão relacionadas às características visuais, não se podendo, nesse caso, referenciar os materiais finos às argilas e os materiais granulares às areias. Por mais que essa associação possa ser verificada em ensaios de granulometria (ABNT NBR 7181:2016) o comportamento dos rejeitos não é o mesmo de solos convencionais (MOTTA, 2008).

3.2.3 Beneficiamento de minério de ferro

O processo de beneficiamento e de tratamento do minério de ferro objetiva a obtenção de ferro concentrado e a eliminação das impurezas, principalmente a sílica (ARAUJO, 2006). De uma forma geral, consiste em britagem, moagem (Figura 50a), deslamagem, flotação convencional, remoagem, flotação em coluna (Figura 50b), bombeamento por mineroduto (Figura 51), filtragem da polpa, pelotamento e queima das pelotas.

Figura 50 – Moinhos de bolas para moagem primária e secundária (a) e maquinário para o processo de flotação (b). Planta 4 – Samarco.

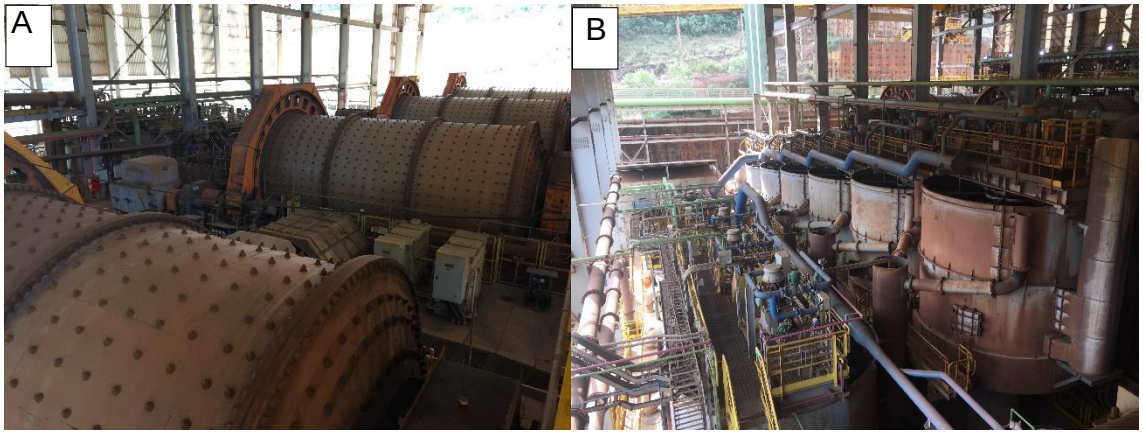


Figura 51 – Mineroduto da Samarco, na unidade de Germano.



Conforme Pires et al. (2003), o processamento de minério de ferro itabirítico, proveniente das minas de Germano (Samarco Mineração), dava-se por meio de correntes transportadoras, alimentando as usinas de britagem e peneiramento. Após esse transporte, o material passava por um processo de flotação, que é aquele no qual uma parte do minério se decanta e a outra, fica suspensa. O processo de flotação utilizado é chamado de catiônica reversa, porque utiliza um coletor catiônico (eteraminas ou eterdiaminas) e um depressor, o amido. Para esses autores, tanto o depressor quanto o coletor são compostos orgânicos que possuem uma cadeia polar ou hidrofílica, apresentando afinidade com a água, e outra que não possui nenhuma afinidade com esse solvente.

A eteramina, comumente usada como coletor, adsorve o quartzo sobre sua superfície, tornando-o hidrofóbico e promovendo sua flotação. O quartzo é considerado como parte principal do rejeito, sendo coletado por bolhas de ar e jogado fora. A flotação é chamada de reversa porque nesse processo, ao usar um coletor, retira-se o constituinte de menor interesse no produto final do processo produtivo (PIRES et al., 2003).

O processo de depressão ocorre de modo a promover a decantação do mineral de interesse no minério, a hematita. Antes de fazer a depressão do minério, o depressor passa

por um processo chamado de gelatinização, que consiste em adicionar uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) até a solução atingir pH 10,5, o que é feito para quebrar as ligações entre os carbonos e os oxigênios presentes na amilopectina, que é um açúcar presente no amido, constituído de moléculas de glicose. Com essa quebra, expõem-se os oxigênios desse açúcar, promovendo a adsorção da goethita em suas paredes superficiais (PIRES et al., 2003).

Resultante do processo de mineração, tem-se o rejeito, caracterizado como o material residual do processo de beneficiamento.

3.2.4 Rejeitos de mineração

Entende-se por rejeitos, os resíduos resultantes de processos de beneficiamento a que são submetidos os minérios. O tamanho das partículas de rejeito se encontra tipicamente na faixa de areias finas e siltes. As suas características químicas variam de acordo com o mineral de interesse e as substâncias envolvidas no processo de extração dos metais (ARAUJO, 2006).

O rejeito de mineração de ferro, tipicamente, como comentado anteriormente, é resultante de um processo de beneficiamento que envolve etapas sucessivas de peneiramento, britagem, moagem, deslamagem e flotação em colunas, de modo a obter-se o ferro concentrado e eliminando-se as impurezas, principalmente a sílica (ARAUJO, 2006). No entanto, na etapa de concentração, não se obtém uma eficiência completa, apresentando, como um material residual, de forma geral, os minerais Fe_2O_3 (hematita), FeO(OH) (goethita), SiO_2 (quartzo), $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (caulinita) e $Al(OH)_3$ (gibsita), em diferentes proporções (FRANCO et al., 2004; ARAUJO, 2006; BATISTA et al., 2016). Pires et al. (2003) e Muniz e Oliveira-Filho (2004) destacaram os principais impactos provocados pela exploração e o beneficiamento do minério de ferro, como a capacidade de retenção de cromo (Cr) e de outros metais pesados, devido, principalmente à ocorrência de goethita. Ainda, destacaram que tais minerais tendem a diminuir a capacidade de dispersão de poluentes. Franco et al. (2004) e Batista et al. (2016) discutiram ainda a respeito do rejeito de mineração de ferro, do ponto de vista da ABNT NBR 10004:2004 e o classificaram como Classe II (não inerte), devido à ocorrência de ferro e fenóis em concentrações superiores às normatizadas no extrato solubilizado.

Especificamente, no que diz respeito ao rejeito de mineração da Samarco, de acordo com a Brandt Meio Ambiente (2005), trata-se de um material residual do processo de concentração do minério de ferro. Na ocasião do estudo, a lavra era realizada a céu aberto e na operação de decapeamento era gerado um material estéril e obtido o minério itabirítico, composto, primordialmente, por quartzo e hematita. Uma vez que o quartzo era indesejável para o processo siderúrgico, foi desenvolvido o beneficiamento, que visava à concentração do minério de ferro.

O processo de concentração de minério de ferro desenvolvido pela Samarco, segundo descrito por Brandt Meio Ambiente (2005), envolvia a flotação do material, sendo utilizados, para tal, os reagentes: (i) o amido gelatinizado com NaOH, como reagente depressor de minério de ferro; (ii) o NaOH, para a regulação do pH, que deve ser mantido em 10; e a (iii) amina ($R\text{-}NH_2$), como coletor de sílica. Após a flotação ocorria, ainda, um processo de limpeza do minério, sendo, para tal, necessário o espessamento das lamas, a partir do uso de: (i) CaO,

para a clarificação de águas; e (ii) a poliacrilamida aniônica (poli-C_3H_5NO), utilizada como floculante.

A partir desses processos, de forma residual, obtinha-se o rejeito de mineração, que comumente era subdividido em classes arenosa e argilosa, conforme a sua granulometria. A sua geração, em proporção de massa, relativa ao minério procedente que entra na usina de concentração, está apresentada na Tabela 10 (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2005). De acordo com a Golder Associates (2016a), a geração anual de rejeitos arenosos e lama, anteriormente ao rompimento, era estimada pela Samarco em cerca de 17 milhões de toneladas e 5 milhões de toneladas, respectivamente.

Ainda, de acordo com a Brandt Meio Ambiente (2005), os rejeitos da Samarco eram classificados como não perigosos – inertes (antiga Classe III – inerte da versão de 1987 da ABNT NBR 10004:2004). Sua composição química era predominantemente formada por óxidos de ferro e silício, contendo ainda pequenas concentrações de óxidos de alumínio e manganês e fósforo.

Pires et al. (2003), em trabalhos anteriores, estudaram amostras de resíduos sólidos da barragem de Germano (Samarco). O material foi classificado como Não Perigoso - Inerte, segundo a norma brasileira ABNT NBR 10004:2004 (Casse II – Inerte, conforme a classificação atual), devido aos extratos lixiviado e solubilizado não apresentarem a ocorrência dos elementos-traço Cr, Cd, Pb, Mn, Fe e Na em concentrações superiores aos limites normativos. No entanto, neste trabalho não foram avaliados todos os parâmetros exigidos, sendo necessários estudos adicionais para a correta classificação deste. Sua composição química foi avaliada por volumetria de oxirredução, gravimetria e espectrofotometria de absorção atômica, e inferiu-se que o material era predominantemente formado por Fe, na forma de goethita (FeOOH) e de hematita (Fe_2O_3), em valores médios de 57,2%, em massa; por sílica (SiO_2), na forma de quartzo, de 6,7%, em massa; e por 1,4% de Al, em massa, resultante da caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) presente. Assim, segundo os autores, a constituição em massa do rejeito foi resultante dos minerais goethita, em 63,1%, de hematita, com 24,6%, de quartzo, em 11,0% e de caulinita, em 6,7%. O erro, representado como um valor final excedente, foi resultante dos teores de goethita e de hematita, os quais apresentavam um desvio padrão de 0,4%.

Tabela 10 – Tipos de rejeito e percentual em massa em relação ao total de geração.

Rejeitos gerados em Germano	% em massa
Rejeito arenoso da flotação convencional	65,0
Lamas de transbordo e lavagem de piso	14,0
Rejeitos argilosos do recleaner	3,0
Rejeitos argilosos da planta de finos	5,0
Lama dos espessadores	13,0

Fonte: Adaptado de Brandt Meio Ambiente (2005).

Wolff (2009) caracterizou os rejeitos de minérios de ferro presentes em amostras coletadas em sete usinas de beneficiamento de diversas minas da Vale, de duas regiões de destaque: o QF, por exemplo, na mina da Fábrica Nova, pertencente ao Complexo Minerário de Mariana; e Carajás, no município de Paraupebas, a 700 km de Belém (PA). Os métodos utilizados para a caracterização abrangeram a separação granulométrica por peneiramento a

úmido e elutriação (cyclosizer), com determinação da distribuição de partículas por difração de laser. Já as análises químicas foram realizadas pelas técnicas de Espectrometria de Plasma de Acoplamento Indutivo e por via úmida (ICP), Espectrometria Mössbauer, DRX, Microscopia Eletrônica de Varredura com Análise Química Elementar (MEV-EDS), entre outros. Os resultados obtidos, de uma forma geral, indicaram que os rejeitos de mineração de ferro apresentavam um teor significativo de ferro (44% a 64%), principalmente, nas formas de hematita (α-Fe_2O_3) e goethita (α-FeOOH). Foi, ainda, verificada a ocorrência de fósforo (0,1 - 0,3%) e de alumina (1,0 - 3,0%) em grande parte das amostras, e os seus teores aumentaram à medida que as partículas diminuíram de tamanho. Além dos oxi-hidróxidos de ferro, também foram verificadas as fases gibbsita, caulinita, quartzo, talco e moscovita. Por espectroscopia Mössbauer, foi constatado que, à medida que a granulometria das partículas diminuía, o teor de goethita aumentava, chegando, inclusive, a frações nanométricas; já o teor de hematita tendeu a ser superior nas frações mais grossas (superiores a 10 μm). Por MEV, foi verificado que as partículas dos rejeitos não apresentavam morfologia esférica e, muito embora, tenha ocorrido a separação de fases pelo processo de elutriação e pelo peneiramento a úmido, ainda foram verificadas partículas fora de sua faixa granulométrica. Associado ao EDS, foi constatada a alta concentração de compostos de ferro (hematita e goethita) puros e associados a outros minerais, principalmente silicatos, como nas formas de moscovita, quartzo, caulinita e talco.

Milonas (2006) estudou o manuseio e os procedimentos envolvidos na reconstituição de amostras de rejeito de mineração de ferro, com o objetivo de caracterizar o comportamento em barramentos. Foram utilizados ensaios com amostras deformadas, reconstituídas, para a caracterização geotécnica, sendo o teor de ferro (na forma de hematita) estimado a partir do peso específico, em relação à distribuição granulométrica, sendo variável entre 11,2% e 46%. As amostras foram obtidas a partir da Pilha do Monjolo do Complexo de Água Limpa (CVRD), sendo comparadas, para alguns ensaios, com o material residual da mina da Mutuca, localizada em Nova Lima (MG), explorada pela Minerações Brasileiras Reunidas (MBR), classificado como rejeito de hematita; e da cava de Germano, da Samarco, descrito como rejeito de itabirito.

Bastos (2013) avaliou os rejeitos de mineração de ferro provenientes de atividade mineradora da região do QF, objetivando verificar a aplicabilidade do material, após a sua estabilização granulométrica e química, como matéria-prima alternativa para a construção de obras de infraestrutura de pavimentação. O rejeito coletado foi caracterizado por granulometria conjunta, limites de Atterberg, massa específica, compactação, índice de suporte Califórnia (CBR), expansão, resistência à compressão simples, absorção, durabilidade; além de análises químicas por difratometria de raios X e análises ambientais, de lixiviação e de solubilização, conforme as prescrições normativas descritas na ABNT NBR 10004:2004. Os resultados obtidos, para a caracterização do material em estado puro, previamente à estabilização química com cimento, cal e escória de aciaria, indicaram uma composição química predominante à base de óxidos de ferro 2 (hematita, 45,92%), silício (quartzo, 24,19%) e alumínio (caulinita e gibbsita, 4,82%). Do ponto de vista físico, foi verificado que o rejeito apresentava uma massa específica de 3,55 g/cm^3 e a granulometria com predominância silte-argilosa, com 85% dos grãos passantes na peneira de 0,075 mm. Para as determinações dos limites de Atterberg, o material foi classificado como não plástico,

o que pode ser decorrente de sua composição química, à base de ferro e areia, muito embora pela avaliação granulométrica se tenha caracterizado como silte. Do ponto de vista ambiental, o rejeito foi classificado como resíduo sólido Classe II A (não perigoso e não inerte), por apresentar teores de ferro, alumínio e fenóis acima do limite permitido pelos parâmetros normativos para o extrato solubilizado (superiores em 0,74 mg/L, 0,18 mg/L e 0,53 mg/L, respectivamente).

Florez, Barbosa e Esposito (2015) estudaram as características físico-químicas de 30 amostras de rejeito de minério de ferro, coletadas em uma barragem localizada no município de Mariana (MG). Os ensaios realizados foram: o teor de umidade natural, a massa específica dos grãos, a granulometria e a concentração de ferro e de quartzo (SiO_2). Os resultados obtidos indicaram um teor de umidade médio de 10,85%, sendo que os limites mínimos e máximos variaram entre 3,56% e 21,01%. Por granulometria, foi verificada a predominância de partículas finas, sendo a composição das amostras classificadas como predominantemente areia (63%), com teores de silte (35%) e argila (2%). Para a composição química, cujo percentual de ferro foi verificado como diretamente proporcional à massa específica dos grãos (avaliada em 2,85 g/cm^3), o rejeito de mineração apresentou predominância média de quartzo e teores de ferro da ordem de 10%.

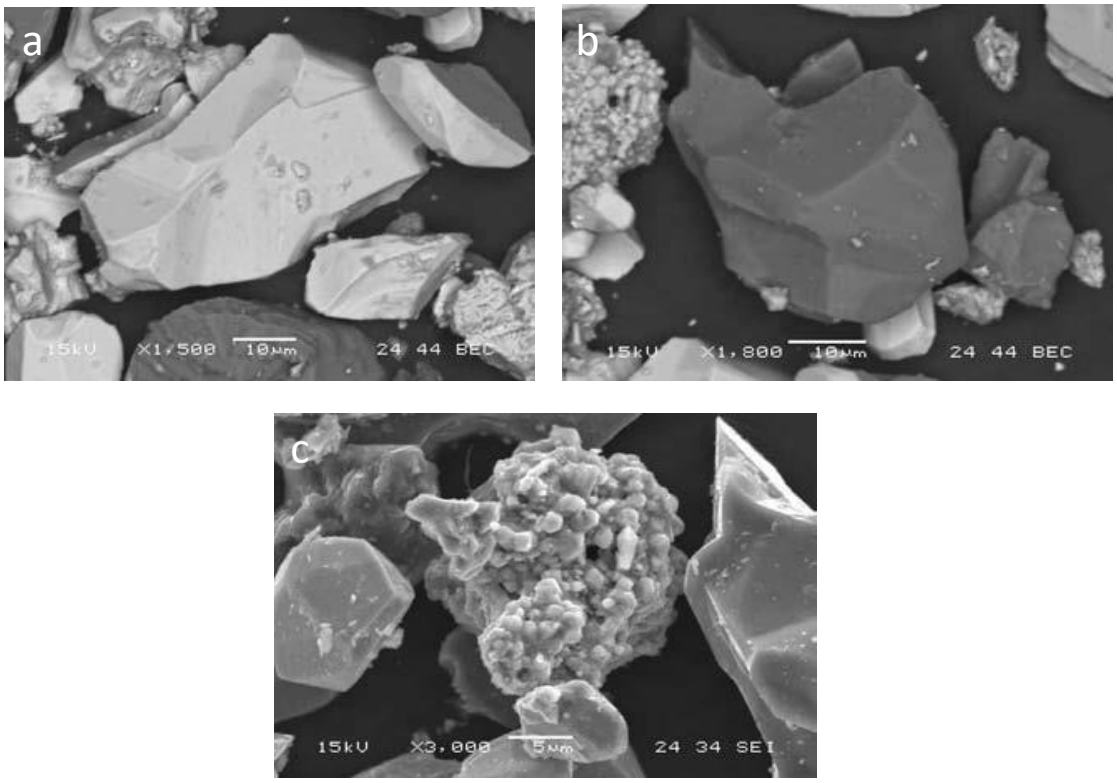
Rezende (2013) avaliou, especificamente, os rejeitos intitulados arenosos, obtidos a partir de três campanhas de coleta efetuadas em 2009 a 2012 na barragem de Fundão na cidade de Mariana (MG), sendo a primeira realizada com 34 amostras obtidas, *in situ*, da praia de rejeito desta; e a segunda, executada com a caracterização de 18 amostras de polpas, coletadas antes do lançamento na barragem. Os resultados da primeira campanha indicaram a ocorrência de um rejeito predominantemente à base de óxido de silício (73,89%) e de ferro (17,54%), contendo ainda menores concentrações de óxidos de alumínio, de manganês e de fósforo elementar. O material apresentou ainda uma massa específica relativa (G) de 3,01 (diretamente proporcional ao teor de ferro das amostras); peso específico seco médio de 15,62 kN/m^3; teor de umidade natural de 10,99% e percentual de sólidos em polpa de 90,23%. Na campanha 2, para as amostras provenientes das saídas do processo de flotação do beneficiamento do minério, foi verificada a ocorrência predominante de material fino arenoso, com percentual de silte de 33,49% e de argila em 2,12%.

Pereira (2005) estudou a susceptibilidade à liquefação de rejeitos granulares de minério, de ferro, a partir da avaliação geotécnica e físico-química de amostras coletadas em seis diferentes sistemas de contenção da região do QF, entre as quais, a cava de Germano. Os resultados obtidos, no que diz respeito à caracterização química e morfológica do material, avaliada por MEV/EDS e espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP), indicaram uma composição, predominantemente, à base de óxidos de ferro, alumínio e silício, sendo ainda verificados alguns traços de fósforo e manganês. Por MEV, foram identificadas as fases principais, quartzo, hematita e goethita, tendo, as duas primeiras, morfologia granular similar, apresentando o quartzo, uma coloração mais escura; e a terceira, com textura característica, conforme pode ser verificado na Figura 52.

Após o rompimento da barragem de Fundão, uma série de estudos foram desenvolvidos, para levantar as características físico-químicas (geoquímicas) do rejeito de mineração barrado, preteritamente, de modo a compreender melhor a interação deste com os ambientes impactados.

Para a Environmental Resources Management (ERM, 2017), no documento produzido para a BHP Billiton Brasil Ltda. e Vale S.A., intitulado "Relatório consolidado de informações técnicas sobre a investigação e resposta ao rompimento da barragem de Fundão", capítulo 2 (contexto), os rejeitos da Samarco foram definidos como material residual sólido proveniente do processo de concentração de minério de ferro. Estes foram subdivididos em dois tipos, conforme a sua granulometria, em referência aos documentos 16 e 20: "(i) grosso ou arenoso, composto por uma mistura de partículas do tamanho de grãos de areia e partículas mais finas de silte, e (ii) fino ou lama, que consiste na mistura de partículas mais finas com características argilosas e água." A composição química, especificamente do material contido na barragem de Fundão, com base em estudos desenvolvidos em 2013, foi definida como predominantemente formada por quartzo (SiO_2) em teores de 88,68%; e hematita, (Fe_2O_3), em 9,46%, além de outros dois minerais de ocorrência natural, os quais não foram citados (referência ao documento 21). Em termos de classificação de resíduos sólidos, em acordo com a ABNT NBR 10004:2004, as análises realizadas nessa mesma época (2013) indicaram que o material foi classificado como Classe II B (resíduo não perigoso e inerte), em referência aos documentos 21, 22 e 23.

Figura 52 – Microscopia eletrônica de varredura de amostras de rejeito coletadas na cava de Germano, com identificação morfológica de fase, sendo: (a) hematita, (b) quartzo e (c) goethita.

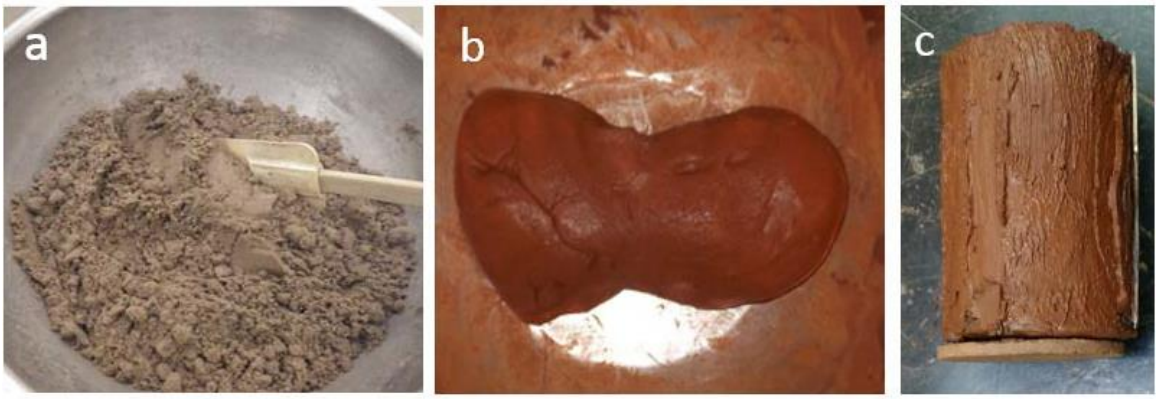


Fonte: Adaptado de Pereira (2005).

No trabalho elaborado por Morgenstern et al. (2016) (apud ERM, 2017), a subdivisão dos rejeitos em duas classes, conforme a sua granulometria, foi mais detalhada e apresentada, inclusive visualmente, conforme pode ser verificado na Figura 53. Tratam-se de dois materiais distintos, sendo um deles um material não coesivo, de cor acinzentada e constituída de 40%

de silte (Figura 53a) e o outro, de característica coesiva, coloração avermelhada e composto inteiramente por partículas de silte e argila (Figura 53b).

Figura 53 – Registro fotográfico das amostras de rejeito da barragem de Fundão, antes do rompimento, sendo: (a) o material fino e arenoso, (b) a lama remoldada e (c) a amostra de lama intacta.



Fonte: Morgenstern et al. (2016).

Ainda, de acordo com Morgenstern et al. (2016), o rejeito da barragem de Fundão apresentava, em sua composição química, as fases hematita (α-Fe_2O_3), goethita (α-FeO(OH)) e quartzo (SiO_2), em concentração majoritária (42,9%, 30,9% e 19,2%, respectivamente). As análises de fases mineralógicas, por difração de raios X, indicaram ainda a ocorrência de caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$, 4,4%); ilita-muscovita ($KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$, 1,4%); plagioclásio ($NaAlSi_3O_8$ – $CaAl_2Si_2O_8$, 1,1%); além de traços de calcopirita ($CuFeS_2$), em concentrações inferiores a 0,1%. As propriedades físicas dos materiais também foram levantadas pelos pesquisadores e os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Propriedades físicas dos rejeitos da barragem de Fundão, subdivididos nas categorias de areia e lama, conforme a sua granulometria.

Propriedades físicas	Rejeito – Areia	Rejeito – Lama
Passante peneira 0,074 mm	40-45%	98-100%
Passante peneira 0,002 mm	<2%	20-25%
Massa específica	2,8-2,9 g/cm^3	3,9-4,0 g/cm^3
Índice de Plasticidade	Não plástico	7-11%
Permeabilidade	3 x 10^{-4} cm/s	< 10^{-6} cm/s

Fonte: Adaptado de Morgenstern et al. (2016).

O Memorando Técnico MT-023_159-515-2282_01-B, elaborado pela Golder Associates (2016b) (relativo aos documentos 20, 21, 22 e 23, citados pela ERM, 2017), apresentou resultados de caracterização, disponibilizados pela Samarco, de duas amostras de rejeito, coletadas na saída do processo metalúrgico da Unidade Germano, antes do rompimento da barragem de Fundão. De forma análoga aos trabalhos da ERM (2017) e de Morgenstern et al. (2016), foram analisadas duas alíquotas distintas, sendo uma com características arenosas, datada de junho de 2013; e a outra, um resíduo fino, intitulado como lama, coletada no início de fevereiro de 2014. Ambas as amostras foram avaliadas conforme as recomendações da ABNT NBR 10004:2004, para o extrato lixiviado e o solubilizado. Ainda,

especificamente para o rejeito arenoso (intitulado T01), a sua composição química e mineralógica foi analisada por espectroscopia de FRX, DRX e microscopia óptica (MO).

Para o rejeito arenoso, conforme também citado no relatório da ERM (2017), a composição química obtida por FRX, com fases químicas estimadas por cálculo estequiométrico, foi definida como predominantemente formada por quartzo (SiO_2, 88,68%) e hematita, (Fe_2O_3, 9,46%), sendo ainda verificada a ocorrência de óxido de alumínio (Al_2O_3) em 0,34% e da perda ao fogo de 0,43%. A lama, intitulada T02, não foi avaliada pela técnica de FRX. No entanto, no mesmo documento, informações cedidas pela Samarco indicaram a ocorrência predominante de óxidos de ferro (como o Fe_2O_3), de forma típica, neste material, o que corroborou com os dados de Pires et al. (2003), Morgenstern et al. (2016) e Pereira (2016). Ainda, para a amostra T01, por DRX e MO, foi verificada a ocorrência predominante da fase quartzo (SiO_2), com presença subordinada da hematita (Fe_2O_3). A classificação de ambos os materiais, T01 e T02, em acordo com ABNT NBR 10004:2004, indicou tratarem-se de resíduos Classe II B (não perigoso e inerte), uma vez que todos os constituintes ocorrentes nos extratos lixiviado e solubilizado apresentaram concentrações inferiores aos parâmetros de referência (GOLDER ASSOCIATES, 2016b).

Em outro estudo desenvolvido pela Golder Associates (2016a), as informações geoquímicas referentes ao rejeito da barragem de Fundão foram estimadas a partir da caracterização do material residual de Germano (por condições de segurança), uma vez que, segundo a Samarco, as operações em ambas eram similares e o resíduo tenderia a apresentar composição química equivalente. Os resultados obtidos, do ponto de vista da análise de fases (por FRX, com aproximação por cálculo estequiométrico), indicaram a ocorrência predominante de sílica (SiO_2) e hematita (Fe_2O_3), em concentrações médias, respectivamente, de 60% e 36%, em massa.

Adicionalmente, nesse trabalho (GOLDER ASSOCIATES, 2016a) foram realizados estudos específicos para a determinação das concentrações de metais, por meio de dois métodos de digestão, com água régia e ácida (com uma combinação de HCl, HNO_3, HF e $HClO_4$). Os resultados obtidos foram, então, comparados com os valores de referência especificados na legislação de Minas Gerais para solos (Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011) e visaram ao levantamento dos elementos que poderiam se tornar "ambientalmente disponíveis" para a contaminação dos meios. Conforme pode ser verificado na Tabela 12, os valores de referência para os solos foram excedidos para os metais Sb, As, Ba, Pb, Co, Cr, Hg, Mo, Ni, Ag e Zn. Outras considerações efetuadas verificaram que os valores de prevenção foram excedidos para Sb, As, Ba e Cr, e os critérios agrícolas, somente para Sb. Os valores de prevenção residencial e industrial não foram excedidos para nenhum dos parâmetros.

Tabela 12 – Resultados da caracterização das amostras de rejeito de Germano, em comparação aos valores de referência para solos, para os padrões excedidos.

Parâmetros		Padrão de Referência de Minas Gerais (mg/kg seco)	Rejeito de Germano (mg/kg seco)					
			Digestão Ácida			Digestão Água Régia		
			Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Antimônio	Sb	0,5	< 0,05	5,0	1,1	0,35	6,2	1,5
Arsênio	As	8	< 1,0	28	5,5	< 1,0	28	5,1
Bário	Ba	93	9,0	253	55	5,0	82	23
Chumbo	Pb	19,5	1,0	23	6,3	0,90	13	3,8

Cobalto	Co	6	0,50	22	1,8	0,30	20	1,6
Cromo	Cr	75	8,0	79	21	7,0	73	19
Molibdênio	Mo	0,9	0,28	2,4	0,81	0,34	2,5	0,76
Níquel	Ni	21,5	< 0,50	23	1,5	< 0,50	3,6	0,61
Prata	Ag	0,45	< 0,02	0,58	0,22	< 0,01	1,6	0,39
Zinco	Zn	46,5	10	51	21	7,0	38	18

Fonte: Adaptado de Golder Associates (2016a).

Como considerações finais acerca do estudo geoquímico dos rejeitos, a Golder Associates (2016a) sintetizou, então, que estes apresentaram tendência à segregação em dois tipos, arenosos e finos. Os materiais arenosos apresentaram sílica como composição principal e, os finos, um teor de ferro mais elevado. Nesse material mais fino e com maior concentração de ferro, foi verificada, ainda, uma tendência geral de incremento na concentração de metais como As, Mn, Mo, Pb e Zn, o que foi relacionado à própria ocorrência de ferro em maior teor. Ainda, concluiu-se que, para a análise elementar, em alguns pontos, foram observados valores superiores aos de referência especificados em legislação para solo (conforme demonstrado na Tabela 12), que foi escolhida como base. No entanto, ressaltou-se que os métodos de digestão usados para as amostras diferem do método prescrito nas legislações para o solo, o que pode interferir no resultado comparativo.

Nesse mesmo trabalho (GOLDER ASSOCIATES, 2016a), foi desenvolvido um estudo mais completo sobre as características geoquímicas do rejeito de Germano, a partir da caracterização de quatro amostras compostas. Além das propriedades já mencionadas (granulometria, composição química e de fases, ocorrência de metais-traço), os rejeitos foram analisados do ponto de vista do balanço ácido-base, de modo a avaliar a tendência à geração de ácido e liberação ao ambiente; e classificados como resíduo, em acordo com a ABNT NBR 10004:2004, sendo utilizados, para a obtenção de extrato lixiviado, além da solução padrão, água do rio e do mar, coletadas em pontos específicos, conforme demonstrado no relatório.

Os resultados obtidos para a composição química, de forma análoga aos demais trabalhos, indicou a predominância de óxidos de ferro e de silício no material, estando o último principalmente presente (em maiores concentrações) nas fases arenosas. Além disso, para todas as amostras estudadas, foi verificada a ocorrência de alumínio, em concentrações similares para as quatro amostras. Por DRX, com análise quantitativa pelo método de refinamento por Rietveld, foram avaliadas as fases mineralógicas, sendo verificada a predominância de quartzo (SiO_2, de 55,4 a 85,3%), hematita (Fe_2O_3, de 12 a 28%) e goethita (FeO(OH), 2,7 a 13%). Quantidades menores (inferiores a 5%) foram verificadas para a gibbsita ($Al(OH)_3$) e a caulinita ($Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$), corroborando com os estudos desenvolvidos por FRX. Do ponto de vista dos metais-traço, os resultados indicaram a ocorrência de As, Ba, Co, Cu, Pb, Ni, Ag, V e Zn nos rejeitos, mesmo que em menores concentrações em relação aos demais materiais incluídos no estudo (solos e sedimentos). Para o balanço ácido-base, em relação a todos os padrões estudados, foram obtidos resultados baixos e até inferiores aos limites de detecção das técnicas e equipamentos utilizados, o que indicou o potencial de neutralização dos materiais, de forma geral, com valores típicos de pH das pastas entre 6,2 e 7,5. Isso corroborou, novamente, com a caracterização química, uma vez que não foi verificada a presença de minerais contendo sulfatos em sua composição, que têm maior tendência à geração de ácidos (GOLDER ASSOCIATES, 2016a).

Do ponto de vista dos estudos de lixiviação e de solubilização, desenvolvidos conforme a ABNT NBR 10004:2004, o enfoque da interpretação realizada pela Golder Associates (2016a) foi geoquímico e comparativo aos demais materiais estudados no trabalho (solos e sedimentos). A análise dos resultados indicou que amostras de rejeito tiveram baixo potencial de lixiviação de metais, sendo verificadas maiores concentrações para Mn e Fe, porém em teores comparáveis aos demais materiais do estudo e inferiores aos limites determinados pela norma, o que descartou a classificação dos mesmos como Classe I (perigoso). Para os testes de solubilização, no entanto, duas amostras excederam os limites normativos para Fe, sendo, portanto, classificadas como Classe II (não inerte). Nos testes de extrato lixiviado utilizando água do rio e do mar, os resultados foram avaliados comparativamente aos limites de qualidade da água estipulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Duas amostras de rejeito excederam os limites para Fe; uma delas, excedeu, também, para o Al; e, a outra para o P. Nesse ponto, destaca-se, apenas, que a coleta de amostras de água do rio e do mar para a execução dos testes de lixiviação ocorreu após o evento do rompimento da barragem de Fundão. Assim, é possível que o material já apresentasse influência de contaminação por metais, não sendo, portanto, comparável ao ocorrido em si (lixiviação dos rejeitos por água do rio e do mar em condições pretéritas).

No estudo de Pereira (2016), quanto à gestão de resíduos contidos nas barragens da Samarco, os rejeitos foram considerados como de Classe I (perigosos) (ABNT NBR 10004:2004). Esse trabalho englobou os materiais contidos nas barragens de Germano, com capacidade esgotada próxima de 116 milhões de m^3, de Fundão, que possuía cerca de 7 milhões de m^3 e de Santarém com, também, aproximadamente, 7 milhões de m^3 de material. Nesse trabalho, porém, não estão apresentados os dados de caracterização e de classificação do resíduo, em acordo com os requisitos da ABNT NBR 10004:2004, nem mesmo referências a outros documentos nos quais haja dados referentes a tais estudos.

A Fundação COPPETEC, sob a coordenação do Prof. Rogério Valle, efetuou uma avaliação dos impactos da ruptura da barragem de Fundão, nove meses após a ocorrência do evento, por solicitação da Vale do Rio Doce (COPPE, 2017). Neste, em especial nos capítulos 2 e 8, foi desenvolvida a amostragem e a avaliação físico-química, mineralógica e geotécnica de rejeitos localizados na barragem de Santarém. De acordo com os autores, os rejeitos da barragem de Fundão eram compostos por rochas moídas, saibro (saprolito) e minério de ferro residual, hematita especular, provenientes dos processos de moagem e flotação do minério lavrado na mina de Alegria. Com o rompimento, a massa fluida incorporou, inicialmente, o saibro dos morros arrastados, depois o solo e saibro erodido do vale até a represa de Santarém, que foi ultrapassada, e seguiu incorporando material das margens do córrego Santarém e rio Gualaxo do Norte. Sendo assim, a caracterização do material depositado nessa barragem, possivelmente, é o que mais se aproxima daquele que estava anteriormente contido.

Para a caracterização do material, foram então coletadas três amostras dos rejeitos depositados na barragem de Santarém, nos meses de setembro de outubro de 2016. Estas, em laboratório, foram secas a 80 °C e avaliadas quanto à composição química e mineralógica. Os resultados obtidos indicaram que estas não são adequadas para o plantio de vegetais, pela sua composição, predominantemente à base de minério de ferro (hematita, magnetita, martita e goethita), areia, quartzo e silicatos, não sendo verificados os teores necessários de magnésio,

cálcio, sódio, potássio, nitrogênio e fósforo, principalmente, e materiais porosos e com capacidade de troca iônica, como as argilas. Do ponto de vista das análises de rejeitos e de sedimentos integrais para os metais pesados cromo, níquel, cobre, cádmio e zinco, os rejeitos de Santarém apresentam teores um pouco mais elevados de zinco, em 40 mg/kg. Este ocorreu associado a silicatos. Os teores de cromo, níquel e cobre foram verificados como similares aos de ocorrência natural da região. Já os teores de cádmio e chumbo foram considerados desprezíveis. Nesse sentido, as conclusões apresentadas indicaram que os metais pesados presentes nos rejeitos de Santarém não representam riscos à contaminação ambiental (COPPE, 2017).

Complementando o trabalho realizado pela COPPE (2017), o relatório da Geoprojetos (2016) apresentou alguns parâmetros adotados para a lama depositada no reservatório da UHE Risoleta Neves, obtidos de amostras coletadas em diferentes profundidades de três sondagens (SM-01, SM-02 e SM-03). Essas amostras foram submetidas a ensaios de granulometria, massa específica dos grãos, determinações de massa específica natural e de teor de umidade, permitindo calcular o índice de vazios e outros parâmetros físicos relacionados. Os resultados desses ensaios estão apresentados na Tabela 13, juntamente com uma compilação dos diversos estudos realizados no material de rejeito das barragens de Germano antes e após a ruptura de Fundão e durante o processo de dragagem que está sendo realizado. Em geral, o material é classificado como silte argilo-arenoso ou areia silto-argilosa. Os materiais depositados no reservatório da UHE Risoleta Neves possuem granulometria semelhante aos depositados nas barragens de Fundão e de Germano.

Com relação à densidade dos grãos (Gs), que é proporcional à porcentagem de Fe, nos ensaios realizados no solo próximo à UHE Risoleta Neves foram obtidos respectivamente os valores mínimos e máximos de Gs=2,94 e 3,28, mostrando que o material depositado a montante da usina possuía elevada quantidade de rejeitos de minério de ferro. Como mostrado na Tabela 13, o rejeito arenoso da barragem de Fundão apresenta densidade dos grãos em torno de 2,90 e o rejeito fino em torno de 3,95, com base nas análises mais recentes (REZENDE, 2013; FLOREZ, BARBOSA; ESPOSITO, 2015; MORGENSTERN et al., 2016).

A faixa de variação do peso específico natural dos rejeitos de mineração de Fe (γn) reportada por Boscov (2008) é de 19,5 kN/m^3 a 26,0 kN/m^3, e para a barragem de Germano era de 19,0 kN/m^3 a 25,4 kN/m^3 segundo Motta (2008), com valores de até 23 kN/m^3 para profundidades de deposição de 10,0 m. No relatório da Geoprojetos (2016) foi apresentado o valor de 20,0 kN/m^3. Os valores da umidade natural das amostras extraídas no reservatório da UHE Risoleta Neves variaram entre 24% e 33%.

Segundo a COPPE (2017), na Figura 54, está mostrada a diferença entre a fração granular e a fração fina dos rejeitos ciclonados depositados na barragem de Fundão,o granular no lago da frente (que era identificado como Dique 1), e os finos no lago aofundo granulométricas dos rejeitos originais. Ou seja, ora está sendo dragado o silte argilo-arenoso (finos), ora a areia silto-argilosa (granular).

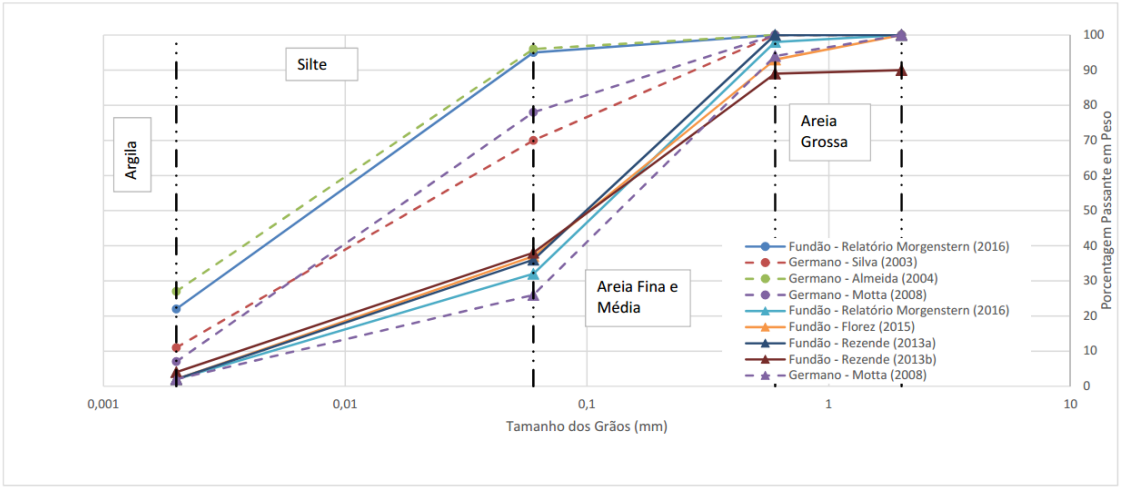
Tabela 13 – Resultados de ensaios de caracterização antes e após a ruptura.

Referência	Local	Granulometria (% de peso)				Umidade (%)	Gs mín.	Gs max.	Gs med.	Situação
		Argila	Silte	Areia Fina/Med	Grossa					
Morgenstern et al. (2016)	Fundão	22	73	5	0	–	3,90	4,00	3,95	
Morgenstern et al. (2016)	Fundão	2	30	66	2	–	2,80	2,90	2,85	
Silva (2003)	Germano	11	59	30	0	–	3,70	4,20	3,95	Antes Ruptura
Almeida et al. (2004)	Germano	27	69	4	0	–	3,89	3,89	3,89	Antes Ruptura
Motta (2008)	Germano	2	24	68	6	–	2,93	2,93	2,93	Antes Ruptura
Motta (2008)	Germano	7	71	22	0	–	3,22	3,22	3,22	Antes Ruptura
Rezende (2013)	Fundão	2	34	64	0	–	2,77	3,25	3,01	Antes Ruptura
Rezende (2013)	Fundão	4	34	51	1	–	2,84	3,13	2,99	Antes Ruptura
Florez, Barbosa e Esposito (2015)	Fundão	2	35	56	7	11	2,74	3,00	2,85	Antes Ruptura
Geoprojetos (2016)	UHE Risoleta Neves	16	79	5	0	32	3,28	3,28	3,28	Pós-Ruptura
Geoprojetos (2016)	UHE Risoleta Neves	15	71	14	0	33	2,94	2,94	2,94	Pós-Ruptura
Geoprojetos (2016)	UHE Risoleta Neves	7	38	54	1	24	3,09	3,09	3,09	Pós-Ruptura
Geoprojetos (2016)	UHE Risoleta Neves	12	73	15	0	30	3,25	3,25	3,25	Pós-Ruptura
Geoprojetos (2016)	UHE Risoleta Neves	17	72	11	0	27	3,22	3,22	3,22	Pós-Ruptura
Geoprojetos (2016)	UHE Risoleta Neves	11	69	19	1	27	3,11	3,11	3,11	Pós-Ruptura
Samarco (2016)	UHE Risoleta Neves	67		18	0	–	–	–	–	Material Dragado - Pós-Ruptura
Samarco (2016)	UHE Risoleta Neves	60		22	0	–	–	–	–	Material Dragado - Pós-Ruptura
Samarco (2016)	UHE Risoleta Neves	40		53	0	–	–	–	–	Material Dragado - Pós-Ruptura

Samarco (2016)	UHE Risoleta Neves	28		55	0	–	–	–	–	Material Dragado - Pós-Ruptura
Samarco (2016)	UHE Risoleta Neves	20		70	0	–	–	–	–	Material Dragado - Pós-Ruptura

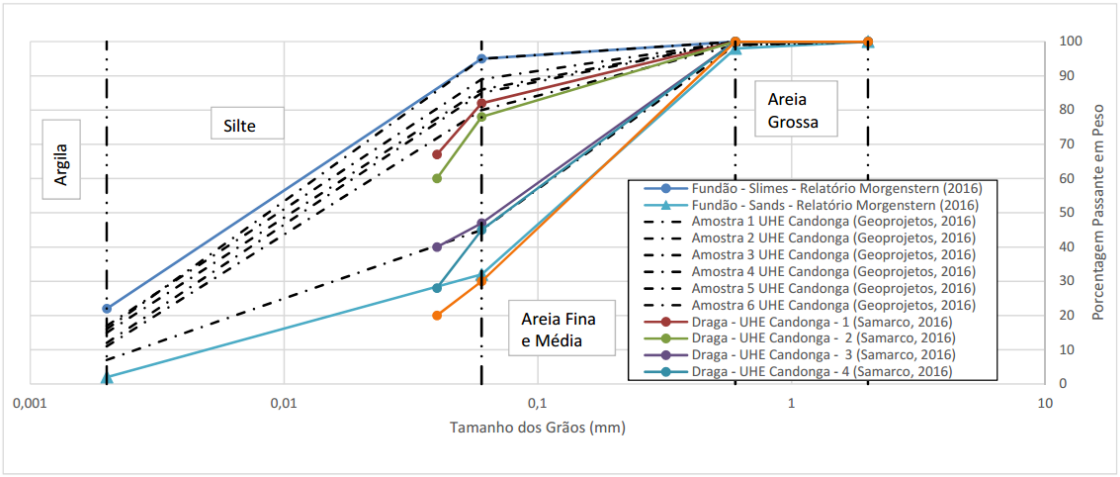
Fonte: COPPE (2017).

Figura 54 – Curvas de distribuição granulométrica do rejeito na barragem de Fundão e Germano.



Fonte: COPPE (2017).

Figura 55 – Comparação entre as curvas de distribuição granulométrica do material retirado no reservatório da UHE Risoleta Neves (Candonga) com o da barragem de Fundão.



Fonte: COPPE (2017).

Ainda, no mesmo relatório elaborado pela COPPE (2017), estão apresentados três perfis obtidos com os ensaios de CPTu (*Piezocone Penetration Test*) e um ensaio de palheta (*vane test*), realizados em abril de 2016 pela empresa Pattrol no reservatório da UHE Risoleta Neves. O relatório ressalta que os excessos de poropressão obtidos nos ensaios CPTu-01 e CPTu-04 também apresentaram comportamento anômalo, e esses resultados deverão ser utilizados com cautela ou ressalvas.

- CPTu-01 – 17,0 m – rejeito arenoso até ~1,8 m. Rejeito fino até 5,8 m. Sedimentos/terreno natural após.
- CPTu-03 – 17,7 m – rejeito arenoso até ~3,3 m. Rejeito fino até 8,9 m. Sedimentos/terreno natural após.
- CPTu-04 – 17,7 m – rejeito fino até 4,4 m. Sedimentos/terreno natural após.

O valor do ângulo de atrito interno dos solos pode ser correlacionado com a capacidade de carga Nq (resultados de ensaios CPTu). Assim, os pesquisadores da COPPE apresentaram os seguintes resultados de correlação para os ensaios CPTu-01, 03 e 04: valores inferiores de ângulo de atrito de 20°, iguais aos obtidos em estudos da COPPE/UFRJ com rejeito granular da barragem de Fundão, em ensaios triaxiais com grandes deformações. Segundo os autores, a interpretação dos ensaios de campo foi combinada com dados disponíveis de caracterização e ensaios de resistência realizados em laboratório com rejeitos das barragens de Germano e de Fundão, para definir os parâmetros geotécnicos recomendáveis para a sua utilização em cálculos de verificação da estabilidade da UHE Risoleta Neves (COPPE, 2016).

Pelas medições durante a dragagem e perfis observados nas sondagens e ensaios de campo, observou-se que o material depositado se apresentava dividido em dois estratos, de posição e espessuras variáveis dentro do reservatório: um rejeito mais fino (silte argilo-arenoso), mais rico em Fe, e um rejeito mais granular (areia silto-argilosa). Com base nas análises apresentadas anteriormente, os pesquisadores adotaram as faixas de valores resumidas na Tabela 14 para os dois materiais.

Tabela 14 – Parâmetros geotécnicos mais representativos dos materiais depositados.

Material	Gs	γ_n (kN/m³)	C_v (m²/s)	ϕ', c'=0
Fino	3,43	20	$1,2 \times 10^{-6}$	20
Granular	2,95	20	-/-	20

Fonte: COPPE (2017).

Motta (2008) apresentou resultados de ensaios geotécnicos realizados com amostras oriundas da barragem de Germano, com a intenção de avaliar o comportamento de um rejeito de transição de característica siltosa, oriundo da mineração de ferro, a partir de ensaios com mini-CPT em centrifuga geotécnica. Os ensaios consistiram na caracterização, compactação, permeabilidade, compressibilidade e resistência (triaxial e cisalhamento direto), além de análises química e difratométrica, visando à avaliação das características globais do rejeito de transição. Resumindo os resultados obtidos pela autora, o rejeito de minério de ferro coletado na barragem de Fundão se apresenta, fisicamente, como:

- silte arenoso, com 71% de fração silte, 22% de fração areia e 7% de fração argila;
- densidade dos grãos (G_s= 3,22);
- não possui plasticidade;
- massa específica seca máxima em ensaio de compactação, de 2,16 g/cm³ e teor de umidade ótima de 12%;
- permeabilidade característica de materiais siltosos, na ordem de $8x10^{-6}$ cm/s;
- compressibilidade encontrada na ordem de $2x10^{-6}$ m²/s. O coeficiente de permeabilidade, determinado por ensaio de adensamento, confirmou o valor encontrado em ensaio de permeabilidade.

Quanto aos parâmetros de resistência ao cisalhamento, Motta (2008) citou as dificuldades encontradas na obtenção de resultados coerentes com a realização de ensaio

triaxial CU, e, considerando-se a diferença encontrada entre os resultados deste com o ensaio de cisalhamento direto, executou-se o ensaio de triaxial CD. O ensaio triaxial CD confirmou os parâmetros de resistência ao cisalhamento efetivos obtidos no ensaio CU e apresentou menores dificuldades para a obtenção da envoltória de resistência. O resultado geral foi que, para os ensaios triaxiais, o ângulo de atrito efetivo foi de, aproximadamente, 40°, enquanto que, para os ensaios de cisalhamento direto, o ângulo de atrito foi cerca de 32°. A razão dessa diferença não foi identificada e pode decorrer dos diferentes arranjos das partículas nos métodos de moldagem adotados nos ensaios triaxiais e de cisalhamento direto, e do nível de tensões impostos por esse método. Os autores do presente relatório entendem que os diferentes tipos de ensaio realizados também podem fornecer parâmetros diferentes. Cabe ressaltar que nos ensaios de cisalhamento direto os corpos de prova são cisalhados em um plano induzido de ruptura, enquanto nos ensaios triaxiais a ruptura se dá no plano de fraqueza do corpo de prova ensaiado.

Motta (2008) concluiu que os parâmetros de rejeito arenoso se apresentaram de forma dispersa na condição de campo. Em termos de compacidade, os índices de vazios de campo registrados estão na faixa de 1,0 a 0,81 e 0,65 a 1,3 para as amostras do ensaio triaxial e edométrico, respectivamente, evidenciando, assim, um estado de densificação variável. Nos ensaios triaxiais, não foi observado um comportamento clássico da influência da tensão de confinamento com os índices de vazios. Alguns ensaios mostraram que a dilatação do rejeito arenoso não é uma característica intrínseca do índice de vazios inicial, pois os materiais com índice de vazios elevado dilataram no cisalhamento.

Rezende (2013), como já citado, realizou três campanhas de amostragens entre anos de 2009 e 2012, na barragem de Fundão. No programa de amostragens da Campanha 1, com amostras coletadas na superfície da barragem de Fundão, nos eixos 1 e 2 da barragem, onde os teores de ferro apresentam uma tendência de valores mais elevados e, consequentemente, maior peso específico dos sólidos quanto mais próximo do ponto de lançamento de rejeito, nesse trecho o material possui uma tendência de segregação por peso. Nas Campanhas 2 e 3, a condutividade hidráulica do rejeito arenoso, determinado, respectivamente, pelo ensaio no permeâmetro de carga constante e no ensaio de compressão edométrica acoplado, apresentou valores na ordem de grandeza de 10-6 m/s. Nas condições anisotrópicas de permeabilidade, a relação média de kv/kh foi igual a 0,30. Pela granulometria, o rejeito arenoso foi classificado como areia fina siltosa. O comportamento granulométrico randômico da Campanha 3 não possibilitou uma associação do tamanho dos grãos com a distância de coleta das amostras. Concluiu-se que a curva de distribuição granulométrica apresentava uma variabilidade e não mostrava uma tendência de segregação por tamanho na praia de rejeito arenoso da barragem de Fundão.

O ensaio edométrico, a altos níveis de tensão, proporcionou um índice de vazios bem inferior àquele registrado na fase de compressão confinada dos ensaios triaxiais. De certa forma, esse comportamento sugere que os ensaios triaxiais deveriam ser realizados seguindo trajetórias de k constante (com incremento concomitante da tensão de confinamento em uma razão k), mais adequadas para as trajetórias de tensão de campo. A realização de ensaio em amostras previamente congeladas após a extração em campo mostrou-se ser uma boa alternativa na obtenção de parâmetros de materiais finos não coesivos. Além de se mostrar eficiente, essa técnica foi considerada simples e de baixo custo. No ensaio edométrico, o rejeito

in situ mostrou-se muito distante da curva de compressão virgem. Esse comportamento sugere que algum efeito de contração por sucção tenha ocorrido no campo. Por se tratar de um aterro hidráulico, muito provavelmente o ciclo de secagem e de umedecimento gerou uma forte tendência de contração do material. De forma aleatória, randômica e concomitantemente com a heterogeneidade matricial do rejeito, a contração induziu a uma grande variabilidade na magnitude dos índices de vazios de campo e do estado de compacidade (REZENDE, 2013).

Nos ensaios triaxiais drenados, a maior rigidez foi obtida nos diques de alteamento devido ao efeito do processo construtivo com equipamentos móveis de superfície. Os resultados para a praia de rejeitos apresentaram parâmetros efetivos médios iguais a ϕ'=34,5° e c'=20,0 kPa. A magnitude do intercepto de coesão apresentou-se fora da faixa de ocorrência típica para solos granulares devido a efeitos de não linearidade da envoltória (MOTTA, 2008).

Em síntese, os trabalhos desenvolvidos para a caracterização físico-química de rejeitos de mineração de ferro e, em específico, aqueles provenientes da operação da Samarco (em especial para as barragens de Germano e Santarém), tenderam a apresentar dois tipos de material, cuja subdivisão está correlacionada à granulometria e à coloração, sendo um deles mais arenoso e acinzentado e o outro, uma espécie de lama avermelhada. A composição química foi caracterizada como à base de óxidos de silício e ferro, nas fases de quartzo, hematita e goethita, sendo ainda verificados compostos de alumínio, em menores concentrações, como caulinita, gibbsita, magnetita e martita. A ocorrência de metais-traço foi avaliada, em especial nos trabalhos desenvolvidos pela Golder Associates (2016a e 2016b) e pela Fundação COPPETEC (2017) e os resultados indicaram a presença de As, Ba, Co, Cu, Pb, Ni, Ag, V e Zn em pequenas concentrações, o que foi relacionado à característica argilomineral da goethita, que tende a complexar ou adsorver tais elementos; e a ocorrência de silicatos, aos quais o Zn pode estar associado. A geração de ácidos pelo rejeito não foi confirmada em nenhum dos estudos efetuados, o que pode ser decorrente da ausência de sulfetos minerais entre as fases principais. Quanto à classificação de resíduos, em acordo com a ABNT NBR 10004:2004, os resultados apresentados divergiram, com a predominância da Classe II (não perigoso e não inerte) devido, principalmente, à ocorrência de metais (Fe e, em alguns pontos, Al e P) em concentrações acima dos limites para os testes de extrato solubilizado. Especificamente para os rejeitos de Fundão, poucos trabalhos de caracterização físico-química foram encontrados, sendo a maioria dos dados fornecidos pela Samarco, referentes a estudos efetuados anteriormente ao rompimento.

Assim, com base nos resultados e nas conclusões verificados a partir do levantamento bibliográfico, foi realizado um plano de amostragem de rejeitos para a obtenção de amostras das barragens de Fundão, Santarém e Germano, para a caracterização físico-química e mineralógica.

3.2.5 Caracterização do rejeito de mineração

A seguir, estão apresentadas as definições metodológicas para a caracterização do rejeito amostrado após a ruptura da barragem de Fundão, bem como o plano de amostragem utilizado.

3.2.5.1 Coleta de amostras de rejeito de mineração

Entre os dias 17 e 18 de julho de 2017, em campanha inicial de campo, da qual participaram parte da equipe técnica dos Institutos Lactec, autorizados pelo MPF e acompanhados por representantes da Samarco, Fundação Renova e BHP, foi realizada uma visita técnica ao complexo de Germano para a coleta de amostras deformadas e indeformadas de rejeito. O objetivo dessa amostragem foi a caracterização físico-química preliminar do material barrado (e parte daquele sedimentado na barragem de Santarém), de modo a compreender as dinâmicas do material que possam interferir no diagnóstico do dano e que, desde os momentos iniciais dos trabalhos (levantamento de linha-base), devem ser observados pelas diversas áreas de atuação, no sentido de estabelecer um panorama comparativo temporal futuro, após o evento. Na Figura 56 estão apresentados os registros fotográficos da atividade desenvolvida de coleta do rejeito indeformado e deformado nas barragens de Germano (a-c), Fundão (d) e em Santarém (e).

As coletas deformadas e indeformadas de rejeito foram realizadas conforme procedimento interno dos Institutos Lactec, aprovado no plano de qualidade da Instituição. No plano de amostragem (PEA 412 – Procedimento de amostragem para o rejeito de mineração, **Apêndice G**) estão definidos os equipamentos, os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), os procedimentos de coleta, o armazenamento, o transporte e os cuidados necessários, a fim de serem evitados quaisquer tipos de dano à pessoa ou ao material coletado.

O PEA 412 foi definido com base nas normas ABNT NBR 9604:2016 e ABNT NBR 10007:2014, as quais descrevem, respectivamente, os procedimentos para a abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas; e a amostragem de resíduos sólidos. Essas normas foram utilizadas, em paralelo, uma vez que não existem normas nacionais que definam os procedimentos para a amostragem de rejeito de mineração.

Figura 56 – Registro fotográfico das coletas de amostras deformadas e indeformadas de rejeito, realizadas em meados de julho de 2017, nas barragens de Germano (a-c), Fundão (d) e Santarém (e).



Os pontos de coleta foram selecionados de forma aleatória, conforme a disponibilidade de acesso. Foram coletadas, no total, cinco amostras de rejeito, obtidas de camadas superficiais, sendo descartados apenas os 10 cm iniciais, por conta do intemperismo natural. Destas, foram coletadas três amostras da barragem de Germano (duas de rejeito intitulado argiloso e outra, arenoso), uma vez que se trata da área não afetada pelo evento (GOLDER ASSOCIATES, 2016b); uma amostra de Fundão, obtida de uma das ombreiras, na qual, supostamente, parte do material carreado tendeu a depositar-se; e uma na calha do rio e próximo à barragem de Santarém, onde o volume principal após o rompimento tendeu a sedimentar se (COPPE, 2017). Os pontos georreferenciados de coleta das amostras estão apresentados na Figura 57. Coletadas, as amostras foram acondicionadas em frascos, identificadas com código e lacradas, e dispostas em caixas térmicas para envio aos laboratórios dos Institutos Lactec e da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Na chegada ao laboratório, as amostras foram registradas e identificadas seguindo numeração interna do laboratório de Geotecnia, conforme apresentado na Tabela 15

Figura 57 – Localização dos pontos de coleta de amostras de rejeito nas barragens de Germano (01, 02 e 03), Fundão (04) e Santarém (5).

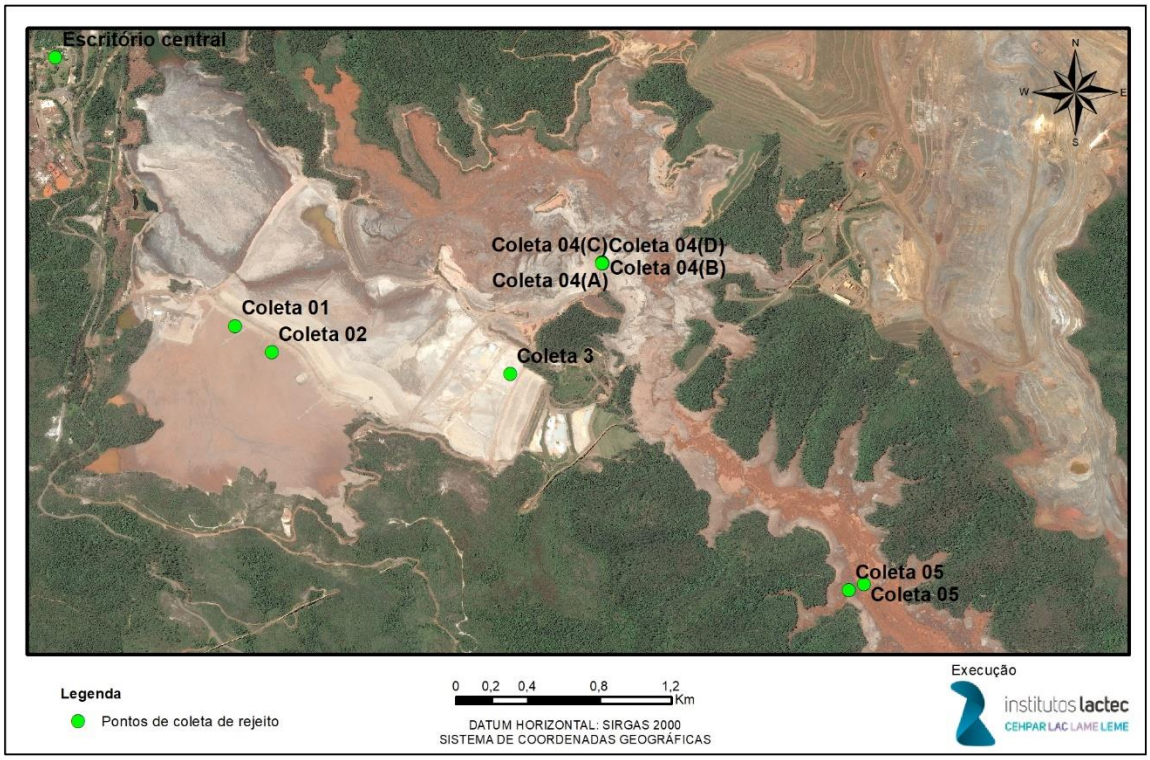


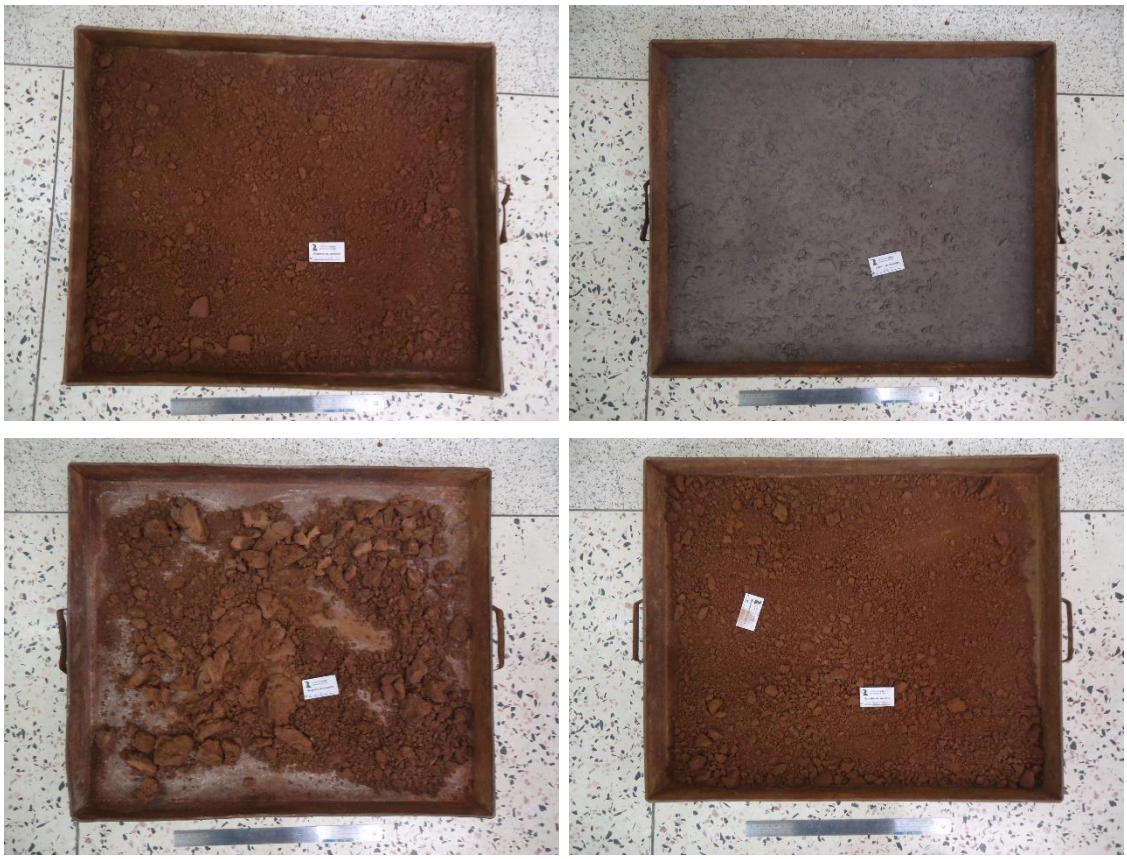
Tabela 15 – Registro das amostras de rejeito e descrição dos pontos de coleta.

Registro	Ponto de coleta	Posições geográficas - UTM	Descrição
2.0186.17	01	658.626 E 7.764.260 N	Amostras indeformadas e deformadas – barragem de Germano – rejeito argiloso ("lama") – Baia 3
2.0187.17	02	658.817 E 7.764.113 N	Amostras indeformadas e deformadas – barragem de Germano – rejeito argiloso ("lama") – Baia 3
2.0188.17	03	660.063 E 7.763.982 N	Amostras indeformadas e deformadas – barragem de Germano – rejeito arenoso
2.0192.17	04	660.548 E 7.764.589 N	Amostras deformadas – barragem de Fundão – Ombreira
2.0193.17	05	661.901 E 7.762.802 N	Amostras indeformadas e deformadas – barragem de Santarém

3.2.5.2 Metodologias de preparo e de caracterização das amostras

Em laboratório, as amostras foram registradas (conforme apresentado na Tabela 15) e devidamente preparadas para as suas caracterizações, sendo dispostas em bandejas metálicas, secas em estufa a (80 ± 2) °C por 24 h (com exceção dos ensaios de teor de umidade natural, da massa específica natural e dos compostos orgânicos voláteis), quarteadas e separadas em alíquotas para a realização de cada um dos ensaios. Na Figura 58, estão apresentados os registros fotográficos de parte das amostras, após a secagem.

Figura 58 – Registro fotográfico de quatro amostras preparadas por tratamento térmico de secagem em estufa ventilada.



Para o quarteamento, após a secagem, as amostras foram previamente homogeneizadas e destorroadas, sendo o procedimento realizado conforme as recomendações das normas ABNT NBR 9604:2016 e ABNT NBR 10007:2014. Na Figura 59, estão apresentados os registros fotográficos relativos ao processo de destorroamento e de quarteamento.

Figura 59 – Registro fotográfico de parte das etapas do preparo das amostras de rejeito para a sua caracterização, com o quarteamento e, após a secagem, o destorroamento e a homogeneização.









Preparadas, as amostras secas, destorroadas, homogeneizadas e quarteadas, foram divididas, então, em alíquotas para a caracterização por técnicas físico-químicas, conforme metodologias descritas nos itens subsequentes, como a massa específica dos grãos, a granulometria por peneiramento, a sedimentação a laser, a DRX, a fluorescência de raios X e a microscopia eletrônica de varredura com a análise elementar por sonda de energia dispersiva (MEV-FEG/EDS).

Para os ensaios de teor de umidade, da massa específica natural, da massa específica seca e aparente *in situ* e dos compostos orgânicos voláteis (COVs) e fenóis, foram utilizadas amostras deformadas e indeformadas, conforme coletado em campo. As metodologias utilizadas estão também descritas nos itens subsequentes.

Massa específica dos grãos

A massa específica dos grãos de rejeito foi determinada seguindo um procedimento laboratorial, definido a partir do que prescreve a norma ABNT NBR 6508:1984.

Para o cálculo da massa específica dos grãos, foi considerada a média de, pelo menos, duas determinações, nas quais os resultados obtidos não diferiram mais de 0,02 g/cm^3.

Teor de umidade

A preparação das amostras de rejeito e a determinação do teor de umidade natural para os ensaios de caracterização seguiram as recomendações da ABNT NBR 6457:2016. Para o cálculo do teor de umidade, foi considerada a média de, no mínimo, três determinações.

Massa específica natural e massa específica (aparente) seca in situ

A moldagem das amostras para a determinação da massa específica natural do rejeito *in situ* foi realizada em anéis metálicos de inox, em campo (Figura 60), a fim de serem evitadas contaminações e perturbações (amolgamento) decorrentes do transporte destas até o laboratório. Para o cálculo da massa específica natural *in situ*, definiu-se como procedimento de cálculo prescrito na norma ABNT NBR 9813:2016.

Figura 60 – Registro fotográfico do momento de moldagem de uma das amostras em anéis metálicos de inox, em campo, para a determinação da massa específica natural do rejeito, conforme prescrito na norma para solos (ABNT NBR 9813:2016).



Para o cálculo da massa específica natural aparente seca do rejeito *in situ*, manteve-se como base de cálculo do procedimento prescrito na norma ABNT NBR 9813:2016.

Análise de distribuição granulométrica

Para o levantamento das curvas de distribuição granulométrica das amostras de rejeito, foi utilizada a metodologia prescrita na ABNT NBR 7181:2016.

Granulometria a laser

A avaliação da distribuição granulométrica das amostras de rejeito coletadas, uma vez que se trata de um material com partículas menores, foi efetuada a partir do ensaio de granulometria a laser, em equipamento marca CILAS, modelo 1064, com capacidade de medição entre 0,04 e 500 µm.

Para tal, alíquotas das amostras, previamente secas, homogeneizadas e quarteadas, foram adicionadas no porta-amostra do equipamento e estas foram dispersas mecanicamente com ultrassom em meio aquoso, sendo então efetuadas as medidas. Não foram utilizados outros reagentes químicos como dispersantes. As amostras foram analisadas em duplicata.

Espectrofotometria de fluorescência de raios X (FRX)

Para a avaliação química elementar semiquantitativa das amostras de rejeito, foi utilizada a técnica de FRX. O teste foi realizado com as amostras preparadas na forma de pastilha fundida com tetraborato de lítio, depois de suas secagens, homogeneizações, destorroamentos e quarteamentos, em equipamento Espectrofotômetro PANalytical Axios Max. O procedimento utilizado foi similar ao previsto para a caracterização de cimentos, descrito na normatização brasileira ABNT NBR 14656:2001, adaptada para rejeitos de mineração.

Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR) da UFPR.

Difratometria de raios X (DRX)

A avaliação semiquantitativa das fases químicas e mineralógicas presentes nas amostras de rejeito foi realizada por DRX, sendo as amostras preparadas na forma de pó, após a secagem, homogeneização, destorroamento e quarteamento. Estas foram analisadas em um equipamento de difração PANalytical Empyrean, sendo o ensaio desenvolvido com radiação Cu-Kα, de comprimento de onda λ de 1,54051 Å, varredura em 2θ entre 0° e 70°, tensão de 40 kV, corrente de 40 mA, passo de 0,001 s e velocidade de passo igual a 0,002 $p.s^{-1}$. Os compostos foram identificados por comparação no banco de dados do International Centre for Diffraction Data (ICDD).

De forma análoga ao DRX, esse ensaio foi realizado no LAMIR da UFPR.

Microscopia eletrônica de varredura com análise química elementar (MEV-FEG/EDS)

Com o objetivo de avaliar a morfologia e a microtextura das amostras de rejeito coletadas e preparadas por secagem, homogeneização, destorroamento e quarteamento, foram realizadas microanálises, com uso de um microscópio eletrônico de varredura com detector de dispersão de energia de raios X para obter as informações químicas elementares dos materiais.

Inicialmente, as microanálises foram realizadas em amostras de pó, fixadas nos porta-amostras com fita de carbono, sendo avaliadas sem o tratamento prévio de cobertura para o aumento de sua condutividade (*in natura*), de modo a permitir a realização de análises químicas elementares, diretamente na superfície da amostra. Em uma segunda etapa, estas foram novamente modificadas, com a moagem em moinho de alta energia, de modo a buscar a segregação dos argilominerais presentes. Para isso, foi utilizado o equipamento Emax, da Retsch, sendo as amostras colocadas em um porta-amostras em aço e cominuídas por 10 minutos, a 1.000 rpm. A moagem foi realizada a seco, sendo adotado um meio de moagem de 10 mm de diâmetro, em uma proporção de 16 esferas para 20 ml de amostras. Após esse processo, as amostras foram novamente avaliadas por microanálises, em procedimento similar ao anteriormente utilizado.

Para as observações, em ambas as etapas de processamento, foi utilizado o MEV-FEG, com monocristal de tungstênio e camada de zircônio, modelo MIRA3 LM, marca TESCAN, com o uso dos detectores de elétrons secundários (SE) e de elétrons retroespalhados (BSE), marca TESCAN. Os parâmetros do equipamento seguiram com a tensão do feixe de elétrons de 15 kV, intensidade de 15,00, abertura de 18,0 nm, distância de trabalho de 15 mm e modo de resolução de varredura.

A avaliação qualitativa e semiquantitativa dos elementos químicos presentes nos materiais foi realizada, para ambos os preparos, com o uso do EDS, marca Oxford Instruments. As análises foram realizadas em regiões específicas (pontuais), por área e, principalmente, com a construção de mapas da composição química elementar.

Cromatografia gasosa com espectrometria de massa (GC/MS)

Para a verificação da ocorrência de compostos orgânicos voláteis (COVs) e de fenóis nas amostras de rejeito coletadas em frascos âmbar, devidamente preenchidos e selados com batoque, foram utilizadas as técnicas de cromatografia gasosa com espectrometria de massa (GC/MS). As análises foram realizadas em um cromatógrafo a gás, marca Agilent, modelo 7890B acoplado a um espectrômetro de massas, também Agilent, modelo 5977A, com amostrador automático PAL 3, para *headspace*. Especificamente, para a caracterização de fenóis, foi utilizado, de forma adicional, o extrator automático ASE 200.

As amostras foram preparadas e os ensaios realizados conforme a normatização internacional da Environmental Protection Agency (EPA), EPA 8260C, EPA 5021A (COVs), EPA 8270D (fenóis), devido à inexistência de normativa nacional para tais análises.

Os resultados obtidos a partir de tais técnicas são relativos à quantificação de COVs e fenóis ocorrentes, sendo o limite de detecção estabelecido em 0,003 mg/kg, em analogia às amostras de solos.

3.2.5.3 Resultados e discussão

Os resultados obtidos com a caracterização das amostras de rejeito coletadas nas barragens de Fundão, Germano e Santarém foram divididos em ensaios físicos e químicos e estão apresentados nos itens subsequentes.

Ensaios físicos de caracterização

Os resultados obtidos para os ensaios físicos de caracterização, no que diz respeito ao teor de umidade, da massa específica natural, da massa específica aparente seca *in situ* e da massa específica dos grãos, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados obtidos nos ensaios físicos de caracterização das amostras de rejeito.

Amostra	Teor de umidade (%)	Massa específica dos grãos (g/cm³)	Massa específica natural (g/cm³)	Massa específica aparente seca *in situ* (g/cm³)
2.0186.17	15,3	3,97	2,06	1,79
2.0187.17	14,8	3,99	2,14	1,86
2.0188.17	4,2	3,00	2,16	2,07
2.0192.17	2,1	2,97	-/-	-/-
2.0193.17	19,7	3,29	2,05	1,71

Conforme pode ser verificado na Tabela 16, as amostras de rejeito coletadas na barragem de Germano (amostras 2.0186.17 a 2.0188.17) apresentaram valores de massa específica dos grãos superiores, tendo sido inferido sobre tais resultados a presença, na sua composição química, de um maior teor percentual de Fe_2O_3, como apresentado no item 4.2.1.4, no que diz respeito às amostras de rejeito "argiloso" ou "lama". De modo similar, o teor da fase mineral à base de Fe_2O_3 também influenciou na obtenção de um valor mais elevado dessa propriedade na amostra coletada na calha do rio, próximo à barragem de Santarém, diferentemente da amostra "arenosa". No que diz respeito aos valores da massa específica natural e aparente seca *in situ*, os valores foram coerentes e ligados diretamente ao tipo de mineral, cujos resultados estão apresentados em itens subsequentes.

Pelas análises granulométricas por peneiramento e sedimentação, e a laser, foi possível obter as curvas de distribuição média de tamanhos de partículas das amostras coletadas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 61 até a Figura 64 (peneiramento e sedimentação); na Tabela 17, e na Figura 65 até a Figura 69 (a laser).

Figura 61 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0186.17.

institutos lactec
CEHPAR LAC LAME LEME

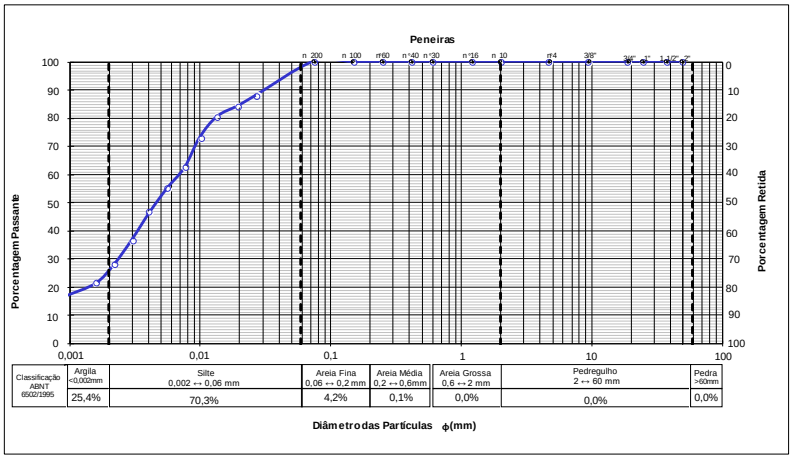
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

ABNT NBR 7181:2016

DATA DO ENSAIO : 03/08/2017
REGISTRO DA AMOSTRA : 2.0186.17
RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO : José Henrique / Reginaldo

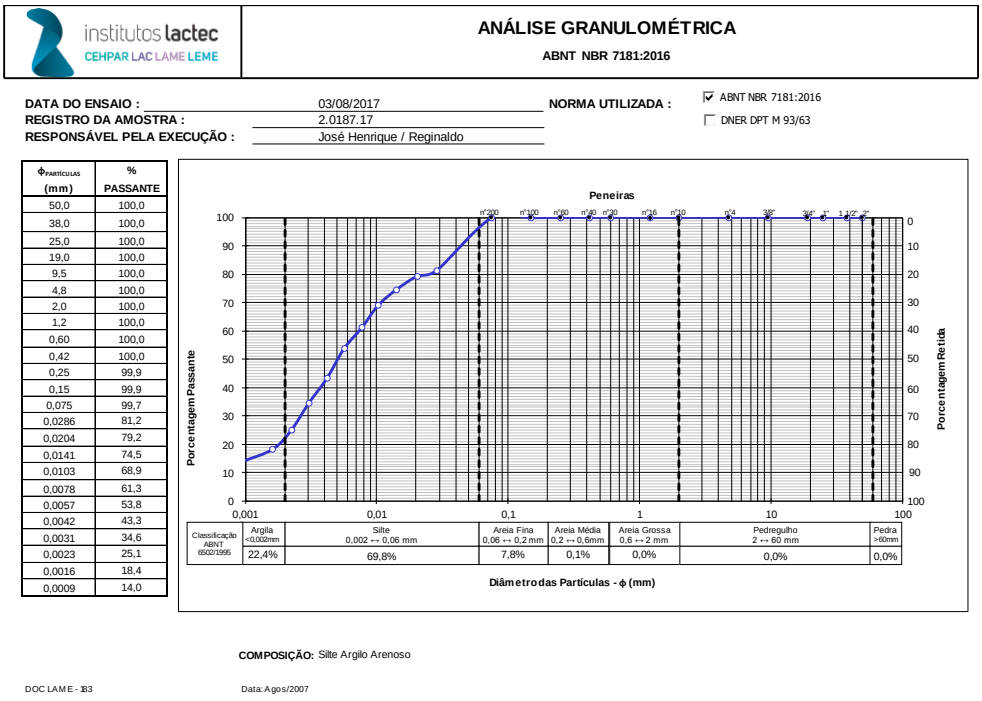
NORMA UTILIZADA : ☑ ABNT NBR 7181:2016 ☐ DNER DPT M 93/63

Φ PARTÍCULAS (mm)	% PASSANTE
50,0	100,0
38,0	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,5	100,0
4,8	100,0
2,0	100,0
1,2	100,0
0,60	100,0
0,42	100,0
0,25	99,9
0,15	99,9
0,075	99,9
0,0277	88,1
0,0200	84,3
0,0138	80,4
0,0101	72,9
0,0078	62,4
0,0057	54,9
0,0042	46,3
0,0031	36,7
0,0022	28,0
0,0016	21,3
0,0009	16,7



Classificação ABNT 6502/1995	Argila <0,002mm	Silte 0,002 ↔ 0,06 mm	Areia Fina 0,06 ↔ 0,2 mm	Areia Média 0,2 ↔ 0,6mm	Areia Grossa 0,6 ↔ 2 mm	Pedregulho 2 ↔ 60 mm	Pedra >60mm
	25,4%	70,3%	4,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%

Figura 62 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0187.17.



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

ABNT NBR 7181:2016

DATA DO ENSAIO : 03/08/2017
REGISTRO DA AMOSTRA : 2.0187.17
RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO : José Henrique / Reginaldo

NORMA UTILIZADA : ☑ ABNT NBR 7181:2016 ☐ DNER DPT M 93/63

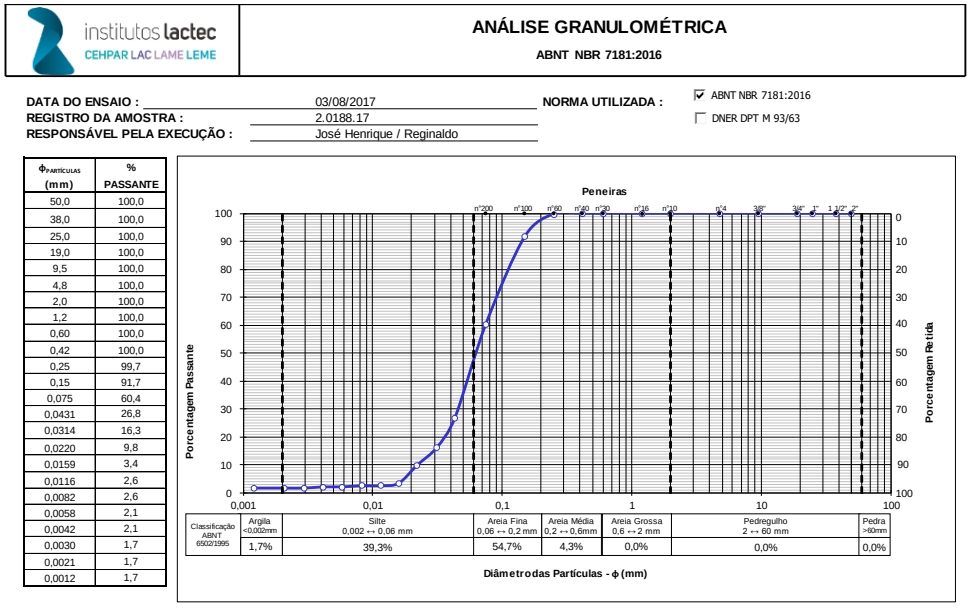
Φ PARTÍCULAS (mm)	% PASSANTE
50,0	100,0
38,0	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,5	100,0
4,8	100,0
2,0	100,0
1,2	100,0
0,60	100,0
0,42	100,0
0,25	99,9
0,15	99,9
0,075	99,7
0,0286	81,2
0,0204	79,2
0,0141	74,5
0,0103	68,9
0,0078	61,3
0,0057	53,8
0,0042	43,3
0,0031	34,6
0,0023	25,1
0,0016	18,4
0,0009	14,0

Classificação ABNT 6502/1995	Argila <0,002mm	Silte 0,002 ↔ 0,06 mm	Areia Fina 0,06 ↔ 0,2 mm	Areia Média 0,2 ↔ 0,6mm	Areia Grossa 0,6 ↔ 2 mm	Pedregulho 2 ↔ 60 mm	Pedra >60mm
	22,4%	69,8%	7,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%

COMPOSIÇÃO: Silte Argilo Arenoso

DOC LAME - 183 Data: Agos/2007

Figura 63 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0188.17.



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

ABNT NBR 7181:2016

DATA DO ENSAIO : 03/08/2017
REGISTRO DA AMOSTRA : 2.0188.17
RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO : José Henrique / Reginaldo

NORMA UTILIZADA : ☑ ABNT NBR 7181:2016 ☐ DNER DPT M 93/63

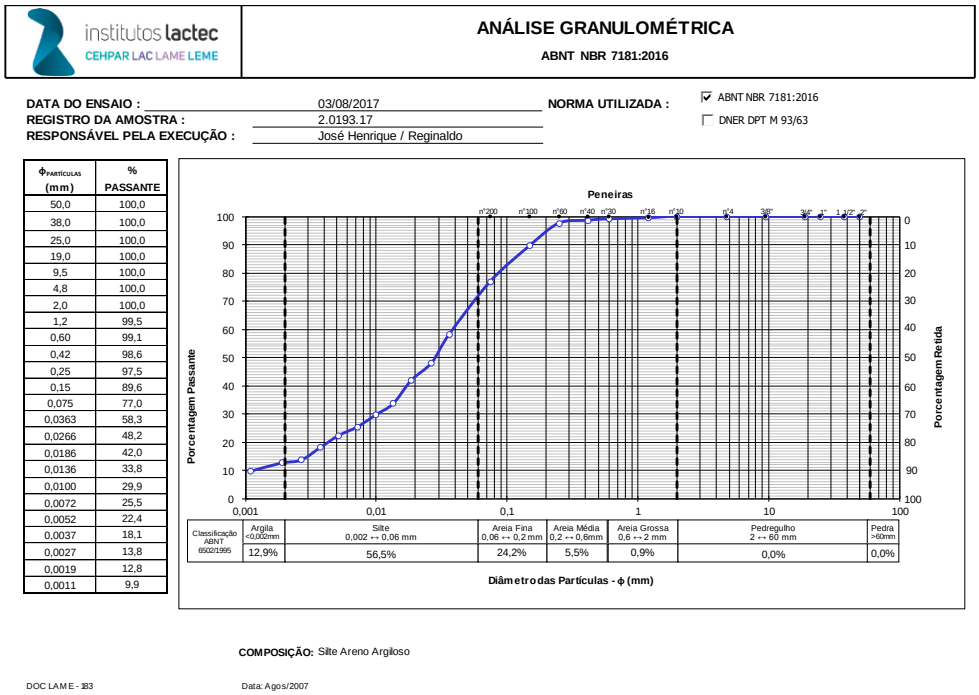
Φ PARTÍCULAS (mm)	% PASSANTE
50,0	100,0
38,0	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,5	100,0
4,8	100,0
2,0	100,0
1,2	100,0
0,60	100,0
0,42	100,0
0,25	99,7
0,15	91,7
0,075	60,4
0,0431	26,8
0,0314	16,3
0,0220	9,8
0,0159	3,4
0,0116	2,6
0,0082	2,6
0,0058	2,1
0,0042	2,1
0,0030	1,7
0,0021	1,7
0,0012	1,7

Classificação ABNT 6502/1995	Argila <0,002mm	Silte 0,002 ↔ 0,06 mm	Areia Fina 0,06 ↔ 0,2 mm	Areia Média 0,2 ↔ 0,6mm	Areia Grossa 0,6 ↔ 2 mm	Pedregulho 2 ↔ 60 mm	Pedra >60mm
	1,7%	39,3%	54,7%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%

COMPOSIÇÃO: Areia Silto Argilosa

DOC LAME - 183 Data: Agos/2007

Figura 64 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio por peneiramento e sedimentação – amostra 2.0193.17.



ϕ PARTÍCULAS (mm)	% PASSANTE
50,0	100,0
38,0	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,5	100,0
4,8	100,0
2,0	100,0
1,2	99,5
0,60	99,1
0,42	98,6
0,25	97,5
0,15	89,6
0,075	77,0
0,0363	58,3
0,0266	48,2
0,0186	42,0
0,0136	33,8
0,0100	29,9
0,0072	25,5
0,0052	22,4
0,0037	18,1
0,0027	13,8
0,0019	12,8
0,0011	9,9

Tabela 17 – Resultados obtidos no ensaio de granulometria a laser para as amostras de rejeito de mineração.

Amostra	Análise	Diâmetro a 10% (µm)	Diâmetro a 50% (µm)	Diâmetro a 90% (µm)	Distribuição de tamanho de partículas (µm)
2.0186.17	1	0,28	2,28	7,59	0,04 a 12,00
	2	0,55	3,42	11,94	0,04 a 23,00
2.0187.17	1	0,37	2,63	8,38	0,04 a 15,00
	2	0,49	3,50	12,69	0,04 a 23,00
2.0188.17	1	19,79	79,58	390,78	0,07 a 500,00
	2	19,08	67,13	131,13	0,07 a 240,00
2.0192.17	1	41,71	137,11	438,31	0,07 a 500,00
	2	41,82	118,37	413,92	0,30 a 500,00
2.0193.17	1	0,30	11,40	57,08	0,04 a 112,00
	2	1,25	20,80	107,05	0,04 a 300,00

Figura 65 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0186.17.

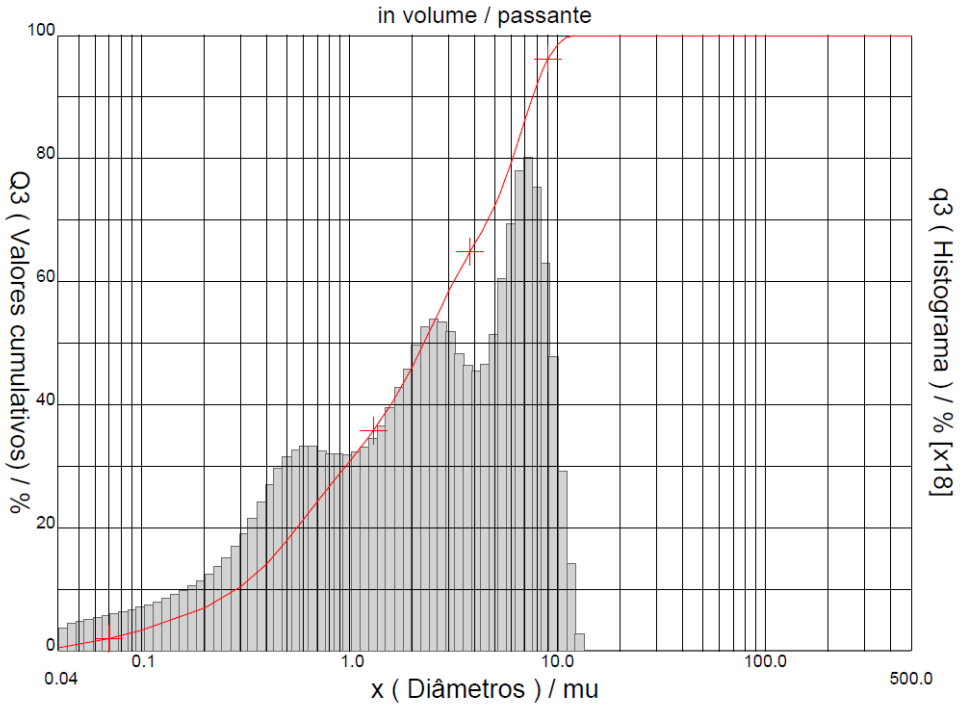


Figura 66 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0187.17.

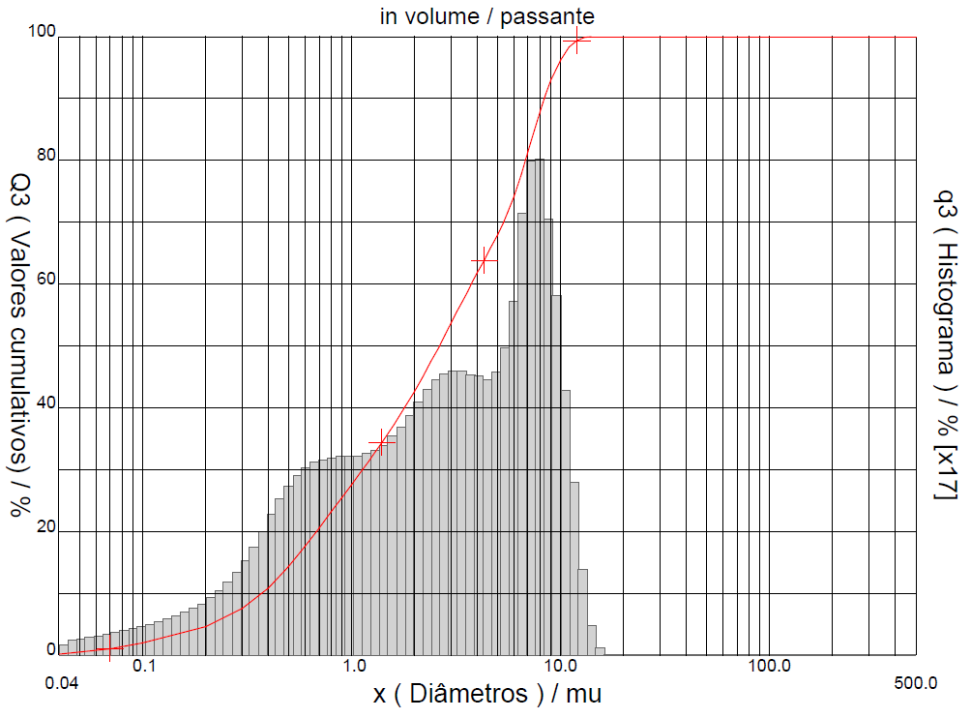


Figura 67 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0188.17.

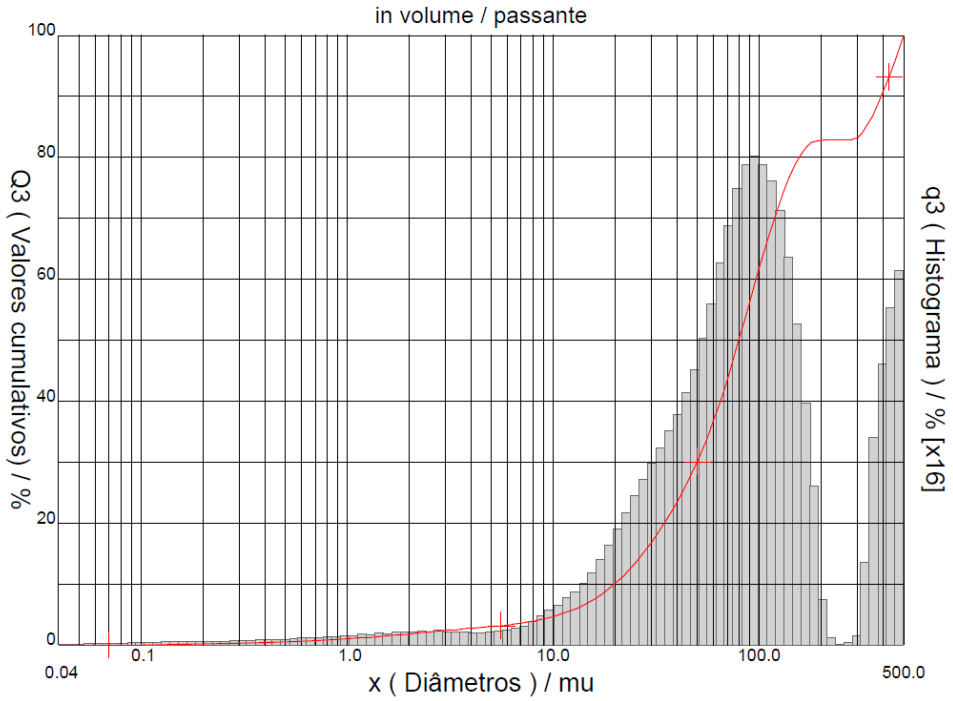


Figura 68 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0192.17.

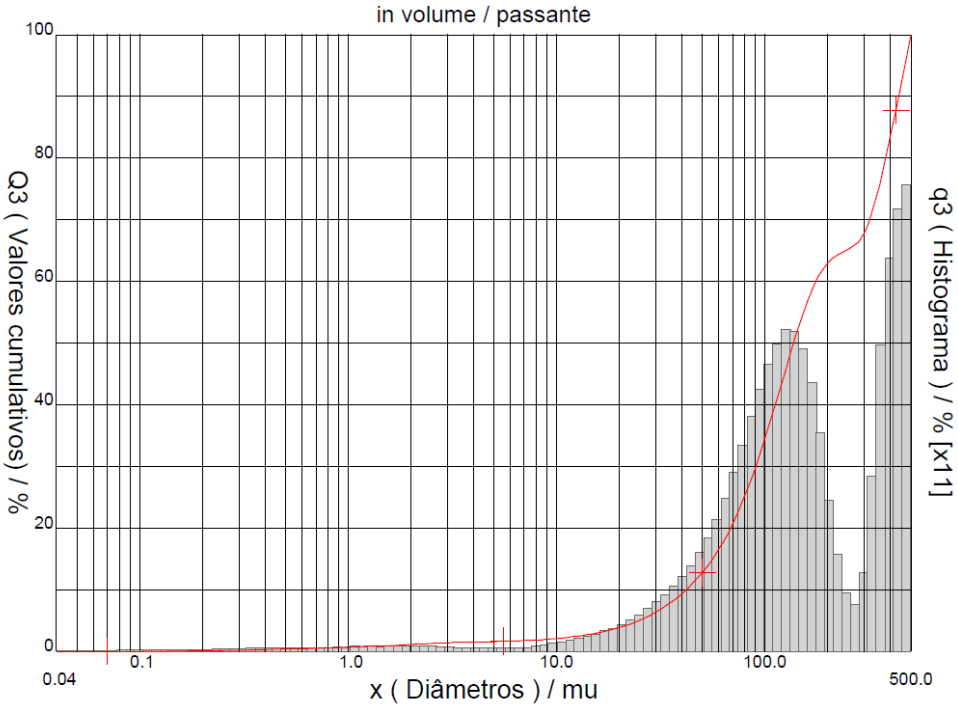
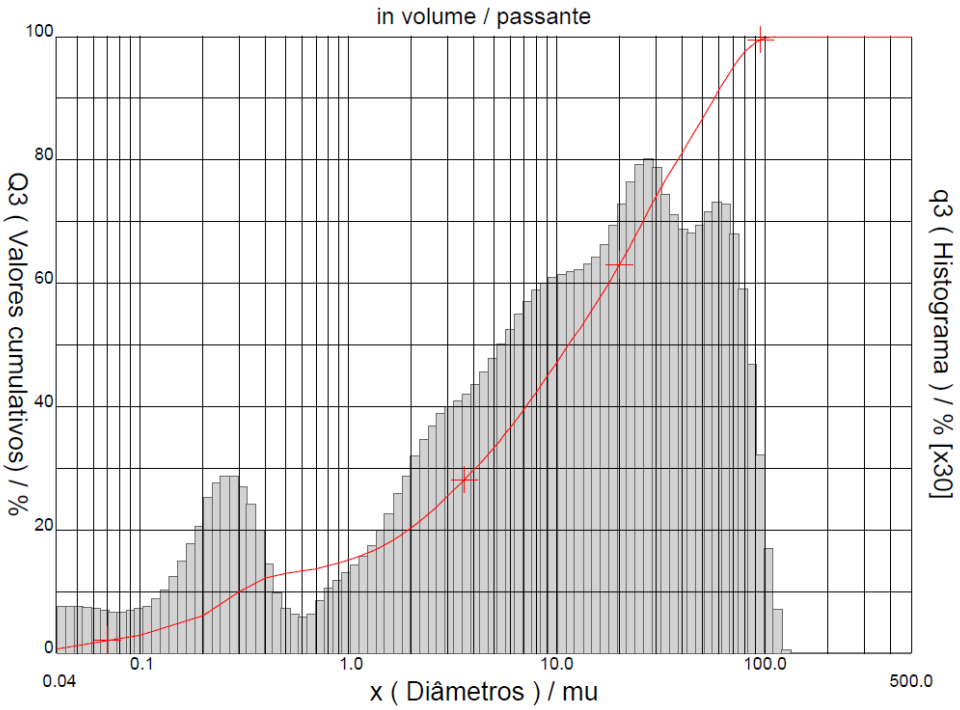


Figura 69 – Curva de distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria a laser, realizada para a amostra 2.0193.17.



Conforme pode ser observado, os rejeitos coletados apresentaram granulometria fina, com maior concentração de partículas da ordem de 0,002 a 0,05 mm (silte), com exceção do rejeito coletado na barragem de Germano, descrito como rejeito "arenoso". Conforme disposto na literatura (FLOREZ; BARBOSA; ESPOSITO, 2015; MORGENSTERN et al., 2016), o processo de beneficiamento pode ter contribuído diretamente na dimensão final dos grãos e o rejeito coletado na calha do rio, próximo à barragem de Santarém, uma vez que este tendeu a apresentar características físicas similares ao rejeito "argiloso", devido a uma quantidade significativa de silte encontrada.

Por granulometria a laser foram detectadas distribuições granulométricas dos materiais particulados com diferentes características modais e tamanhos médios, variando de 2,3 µm, para a amostra 2.0186.17, a 120 µm, para a amostra 2. 0192.17. Partículas com dimensões médias de até 100 µm podem se manter suspensas e dispersas no ar atmosférico por maiores períodos de tempo. O material particulado causa também redução da visibilidade, danos à vegetação, desgaste de edifícios e de monumentos (BAIRD, 2002 apud MAGALHÃES, 2005).

3.2.5.4 Ensaios químicos de caracterização

Os resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX das amostras de rejeito coletadas, expressas na forma de óxidos e em termos semiquantitativos, estão apresentados na Tabela 18. O certificado de análise está apresentado no **Anexo 5**.

Tabela 18 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX das amostras de rejeito coletadas, expressas na forma de óxidos.

Amostra	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	MnO (%)	Na_2O (%)	P_2O_5 (%)	CaO (%)	TiO_2 (%)	MgO (%)	Perda ao Fogo (%)
2.0186.17	73,3	16,0	3,7	0,1	0,3	--	0,2	0,2	0,1	< 0,1	6,17
2.0187.17	75,5	14,8	3,4	0,1	0,2	--	0,2	0,2	0,1	0,1	5,43
2.0188.17	24,5	74,6	0,4	--	--	--	< 0,1	--	--	--	0,49
2.0192.17	21,0	78,3	0,2	--	--	--	< 0,1	--	--	--	0,51
2.0193.17	46,7	39,6	8,4	0,7	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	3,79

Conforme apresentado na Tabela 18, os materiais coletados apresentaram composição química elementar prioritariamente composta por ferro e silício, sendo ainda verificados menores teores de alumínio, além de traços de potássio, manganês, sódio, fósforo, cálcio, titânio e magnésio. Entre as diferentes amostras, foi constatada uma maior concentração de ferro, em relação ao silício, naquelas de característica "argilosa" e coloração avermelhada (Germano 1 e 2 e Santarém), relacionadas à maior massa específica dos grãos. Para as amostras de rejeito "arenoso" de Germano e Fundão, foi verificada uma predominância de silício, em detrimento do ferro, além da coloração em tons acinzentados. Isso corroborou com os resultados observados por Pires et al. (2003), Wolff (2009) e Morgenstern et al. (2016), e que indicaram a ocorrência de dois tipos principais de rejeito, com características distintas do ponto de vista físico e químico.

Por DRX, foram identificadas as principais fases químicas e mineralógicas, conforme pode ser verificado na Tabela 19 e da Figura 70 à Figura 74. Os certificados de análise estão apresentados no **Anexo 6**.

Tabela 19 – Resultados obtidos para a caracterização de fases químicas e mineralógicas, por DRX, das amostras de rejeito coletadas.

Amostra	Fases químicas predominantes
2.0186.17	Hematita (Fe_2O_3), H; Goethita (FeOOH), G; Greenalita ($H_8Fe_6O_{18}SiO_4$), Gr
2.0187.17	Hematita (Fe_2O_3), H; Goethita (FeOOH), G; Titanita ($CaTiSiO_5$), T
2.0188.17	Quartzo (SiO_2), Q; Hematita (Fe_2O_3), H
2.0192.17	Quartzo (SiO_2), Q; Hematita (Fe_2O_3), H; Goethita (FeOOH), G
2.0193.17	Quartzo (SiO_2), Q; Hematita (Fe_2O_3), H; Goethita (FeOOH), G

Figura 70 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0186.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Gr: Greenalita; H: Hematita e G: Goethita.

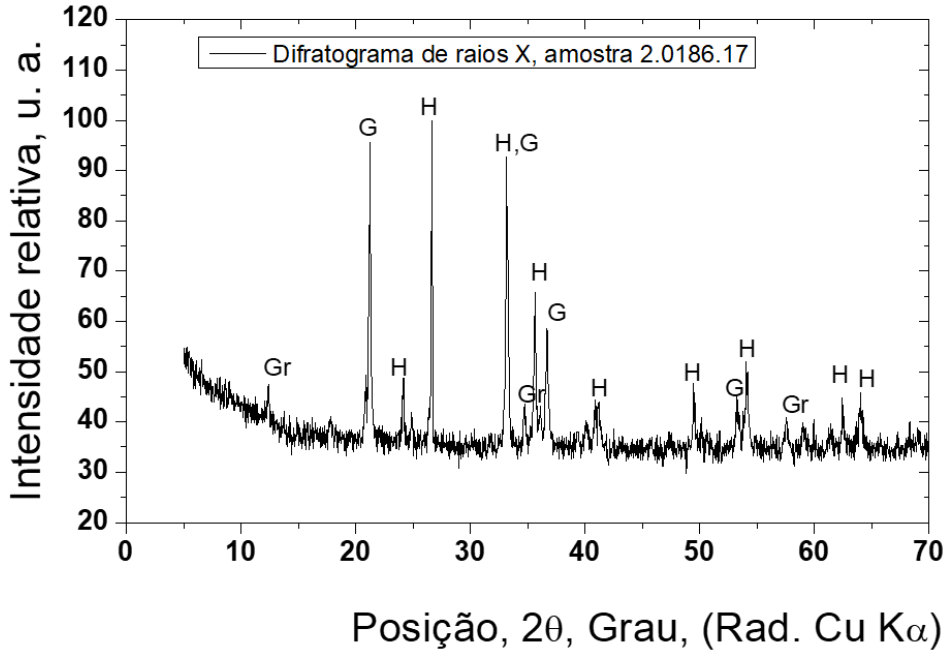


Figura 71 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0187.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo T: Titanita; H: Hematita e G: Goethita.

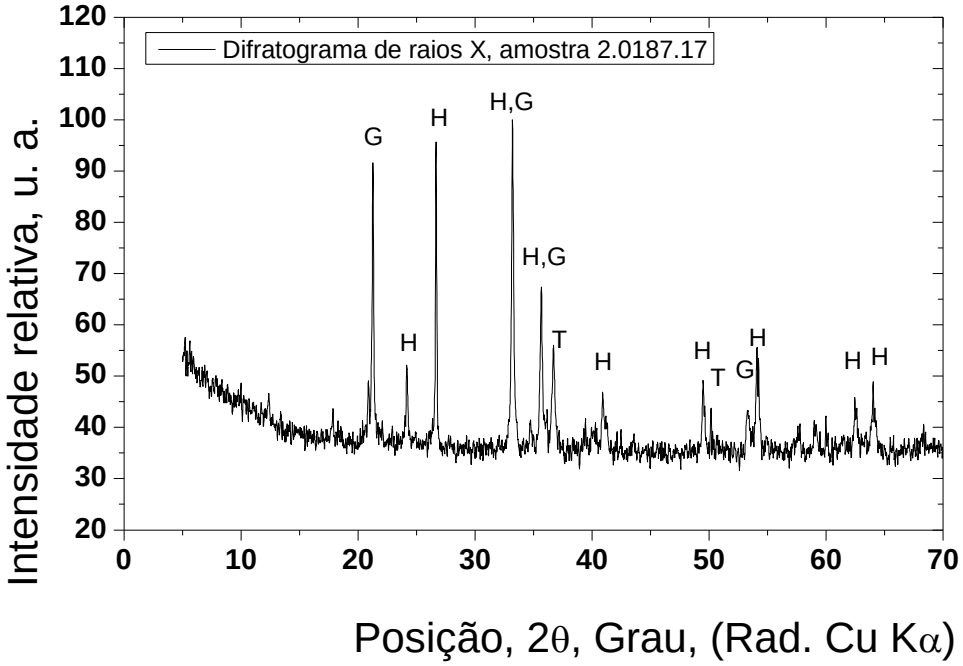


Figura 72 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0188.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Q: Quartzo e H: Hematita.

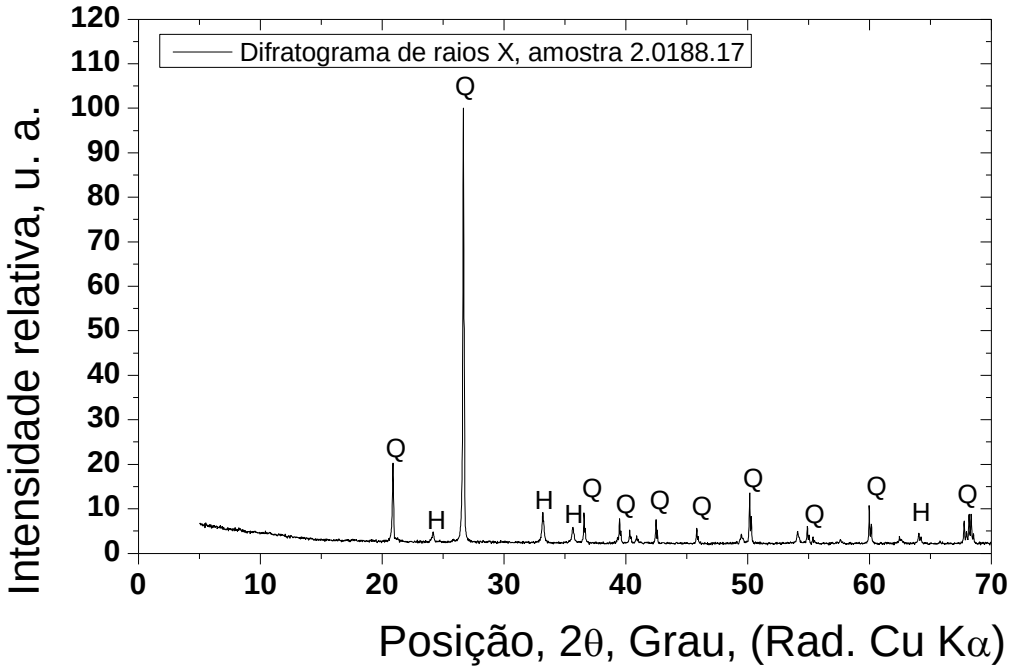


Figura 73 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0192.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Q: Quartzo, G: Goethita e H: Hematita.

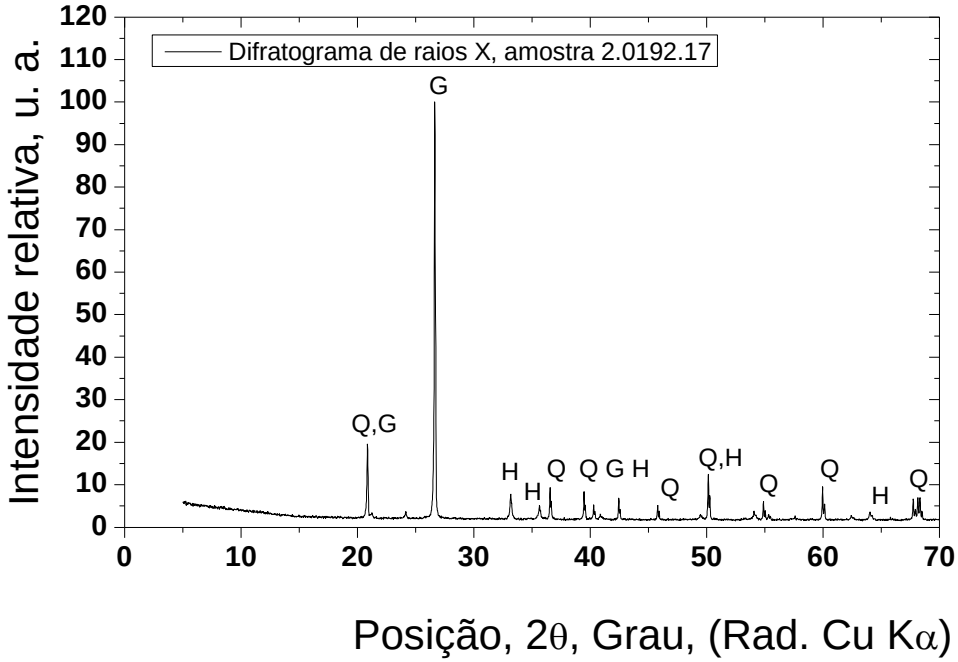
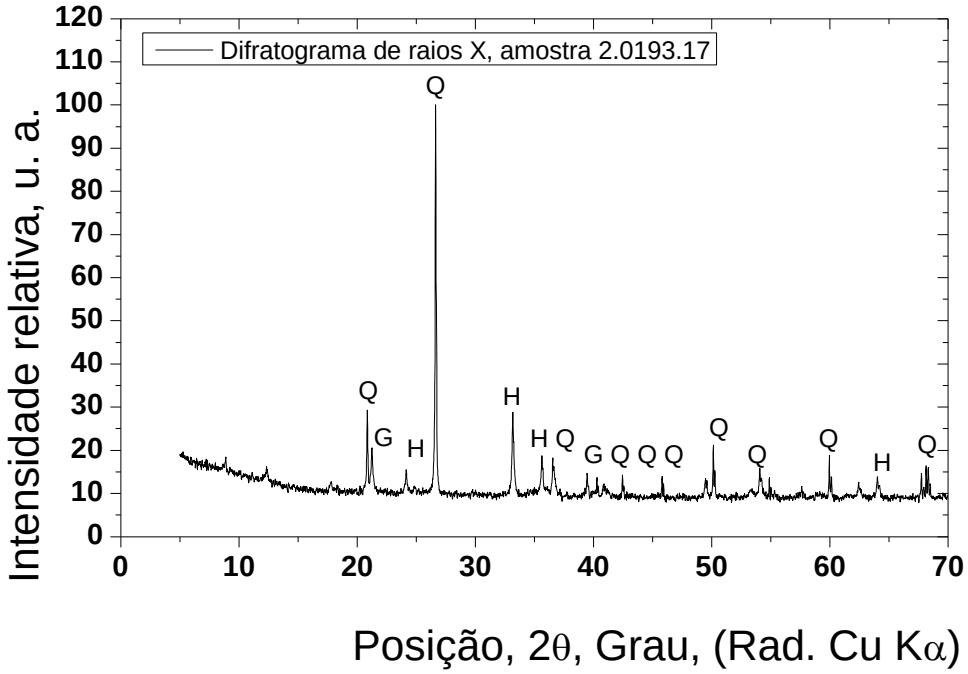


Figura 74 – Difratograma de raios X das amostras de rejeito, registro 2.0193.17, coletadas na barragem de Germano, com identificação de picos de maior intensidade pelo ICDD, sendo Q: Quartzo, G: Goethita e H: Hematita.



Conforme pode ser verificado nos resultados apresentados na Tabela 19 e da Figura 70 à Figura 74, as principais fases químicas ocorrentes nos materiais coletados foram a hematita, a goethita e o quartzo, sendo a última predominante na amostra de rejeito "arenoso" de Germano e naquelas coletadas em Fundão e Santarém. Novamente, os resultados obtidos corroboraram com aqueles verificados por FRX e pelos ensaios físicos (relativos à massa específica dos grãos), bem como com a literatura (PIRES et al., 2003; WOLFF, 2009; MORGENSTERN et al., 2016) e os trabalhos anteriormente desenvolvidos (GOLDER ASSOCIATES, 2016; ERM, 2017). Outras fases químicas minerais podem estar presentes nas amostras, porém podem não ter sido detectadas em função de sua concentração ou falta de cristalinidade.

Por MEV-FEG/EDS, foi possível avaliar a morfologia e a textura das partículas do rejeito, bem como verificar a sua composição química elementar semiquantitativa, antes e após a moagem de alta energia. Os resultados obtidos estão apresentados da Figura 75 à Figura 84.

Figura 75 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0186.17, coletada na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia.

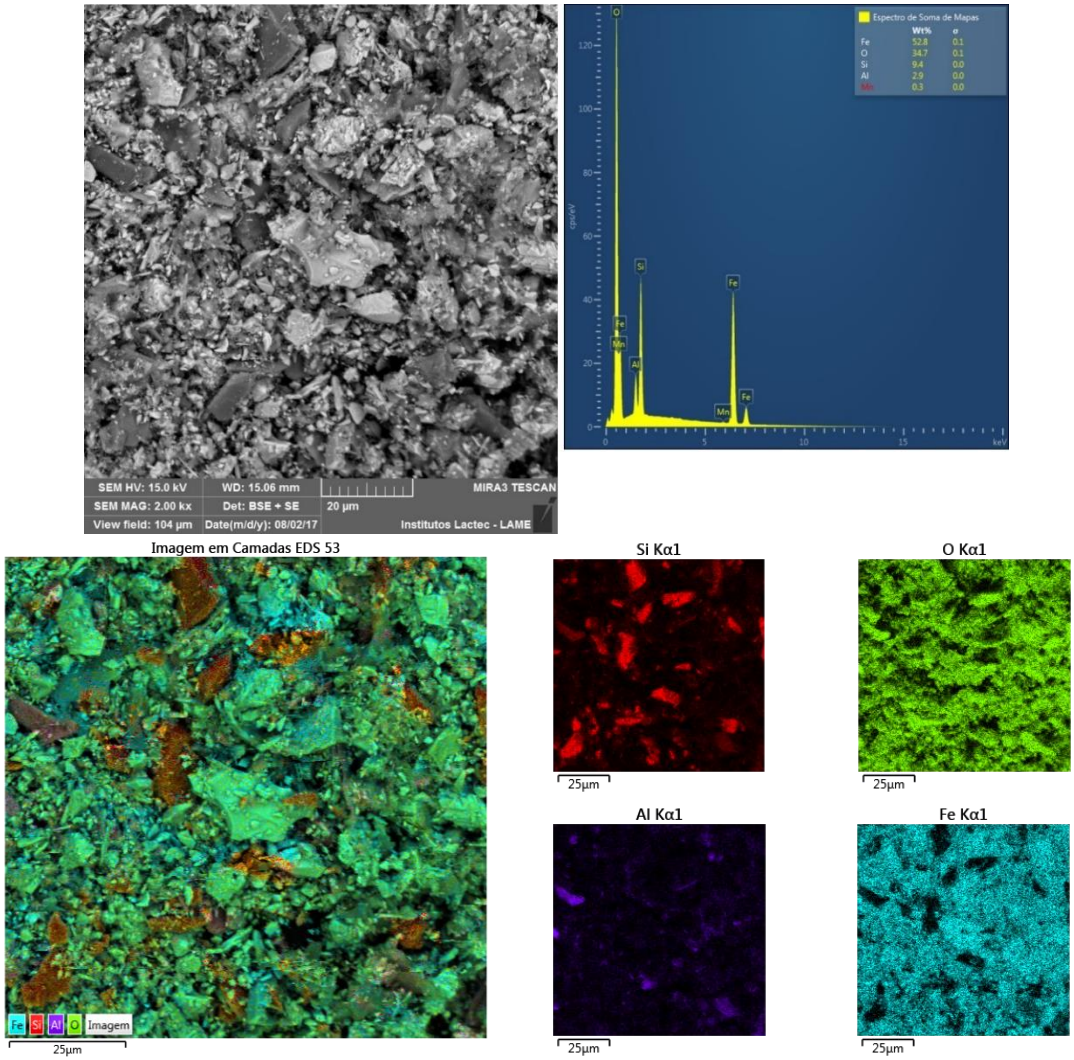


Figura 76 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0187.17, coletada na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia.

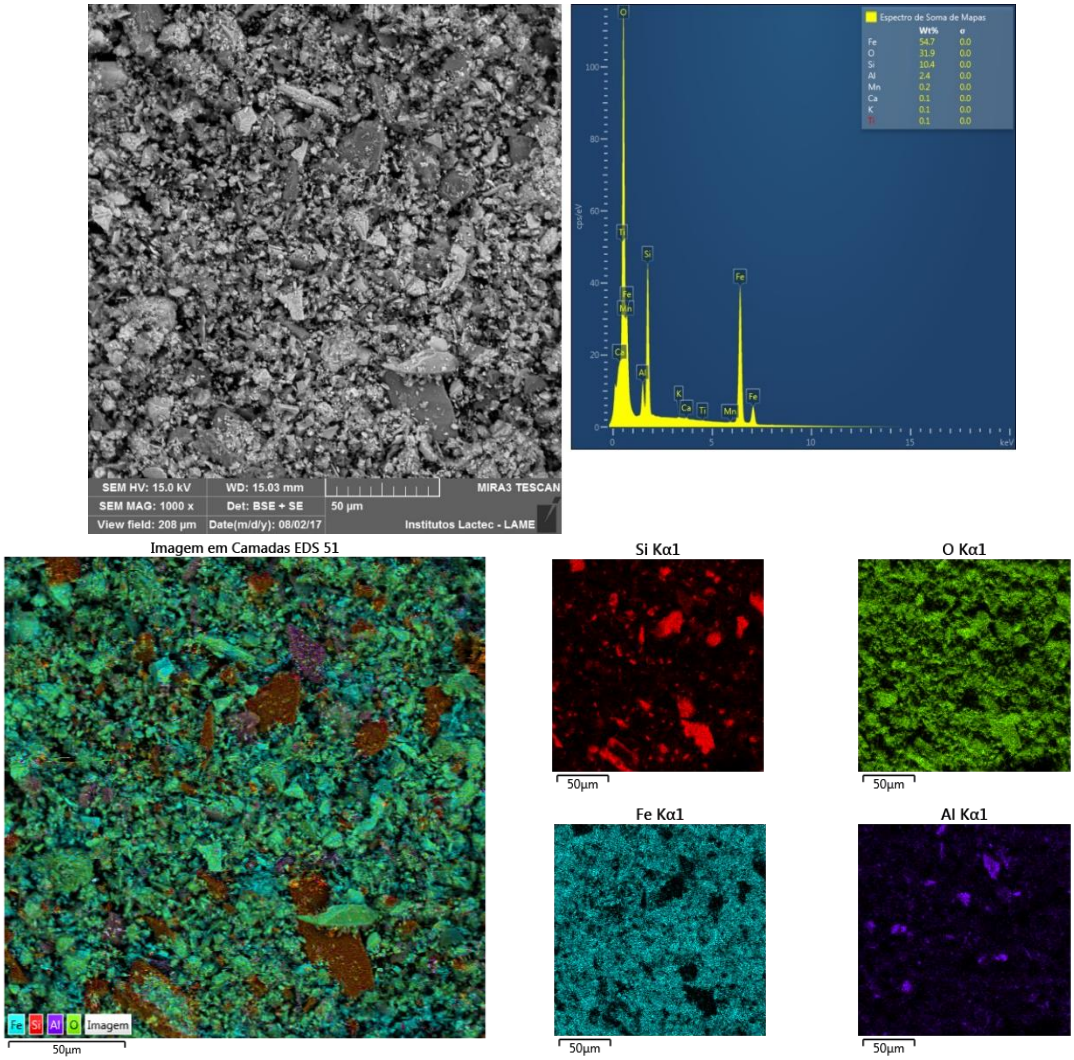


Figura 77 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0188.17, coletada na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia.

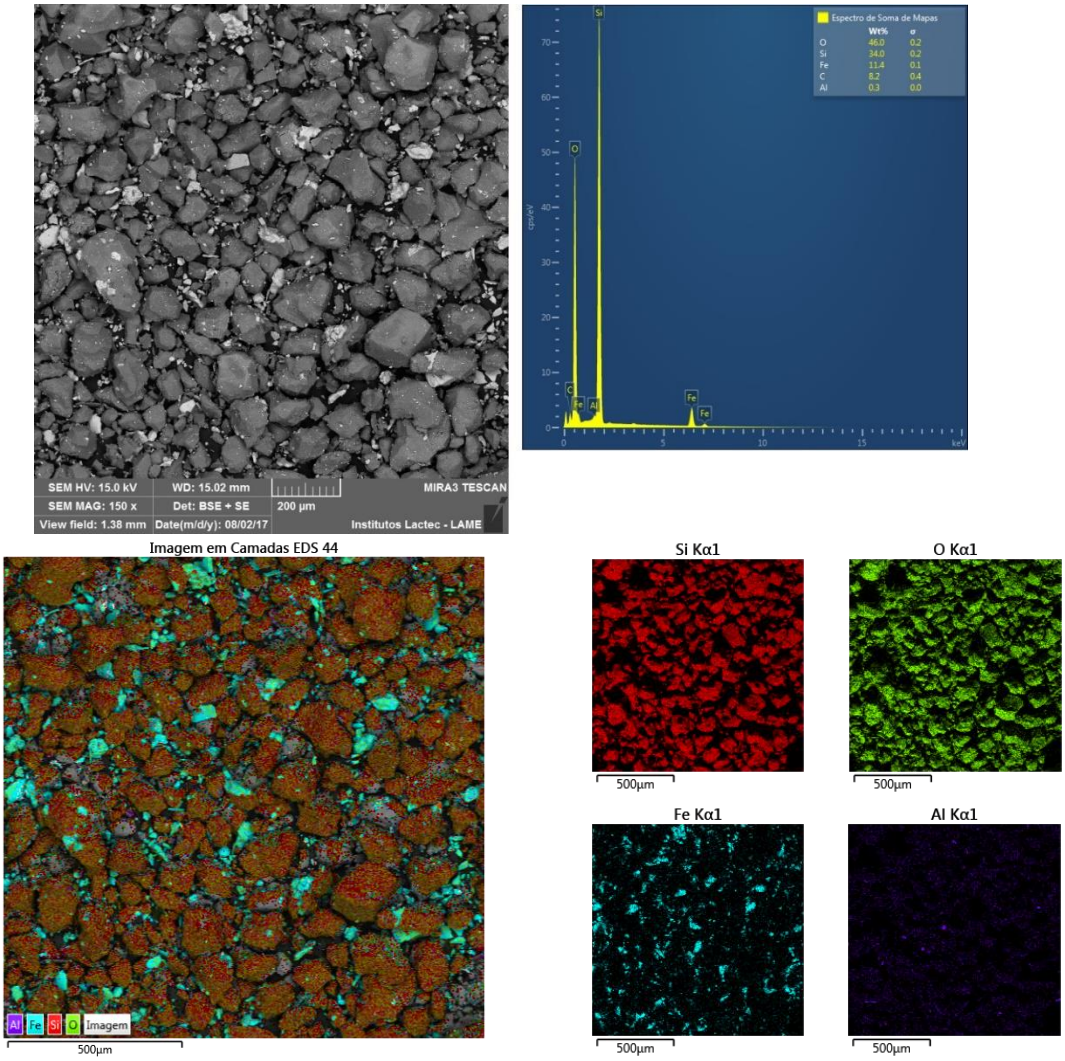


Figura 78 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0192.17, coletadas na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia.

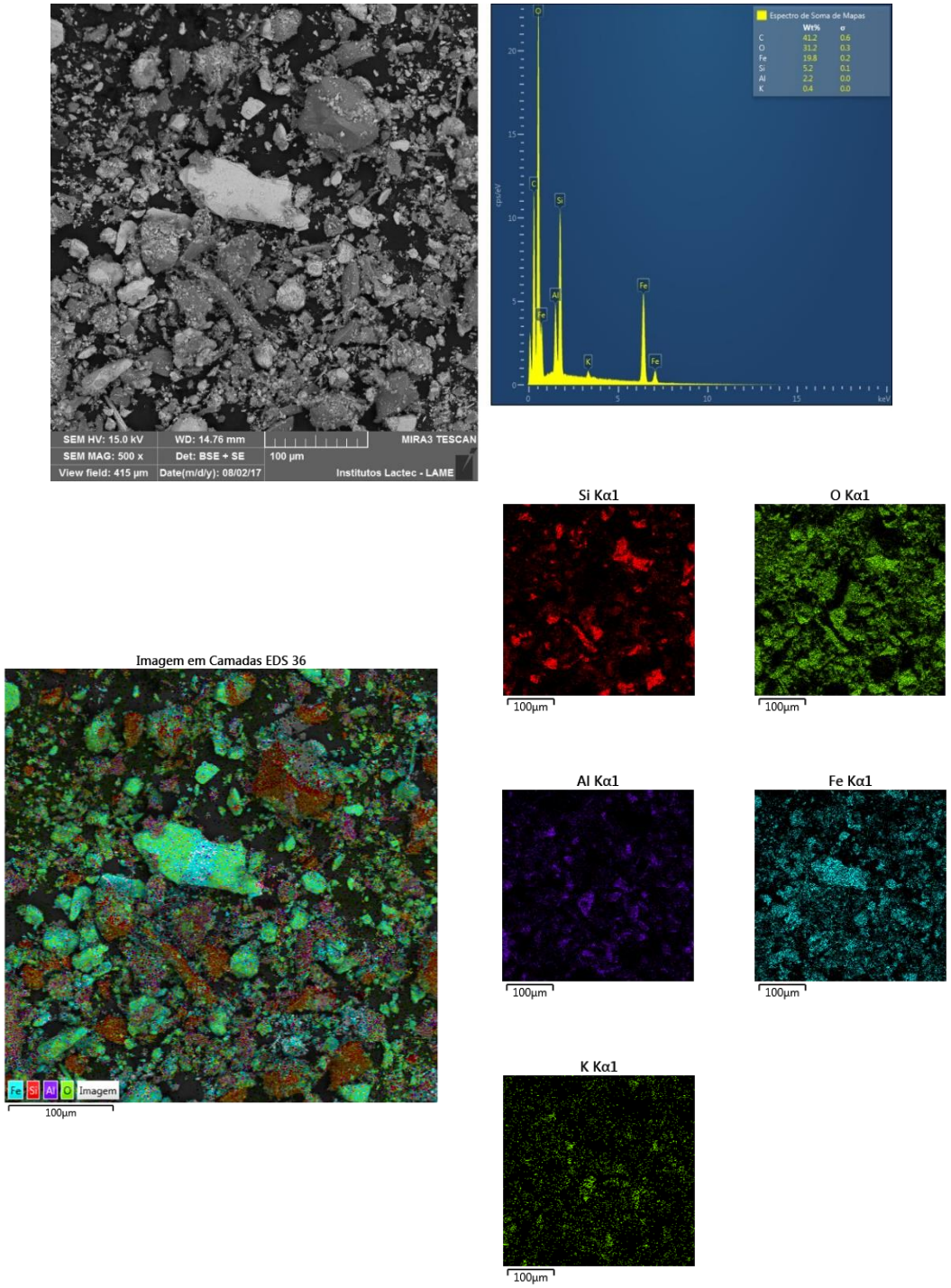


Figura 79 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0193.17, coletadas na barragem de Germano, antes da moagem de alta energia.

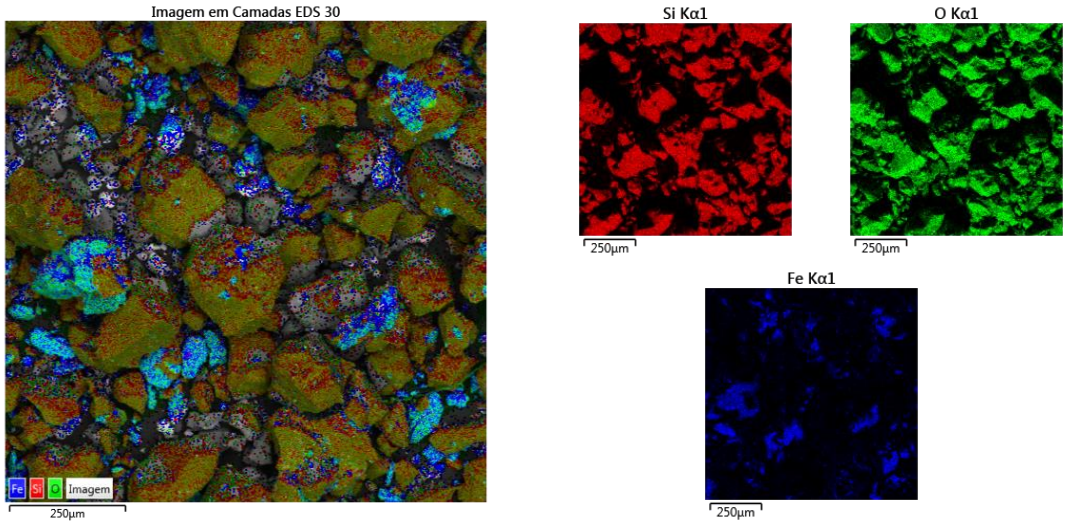


Figura 80 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0186.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia.

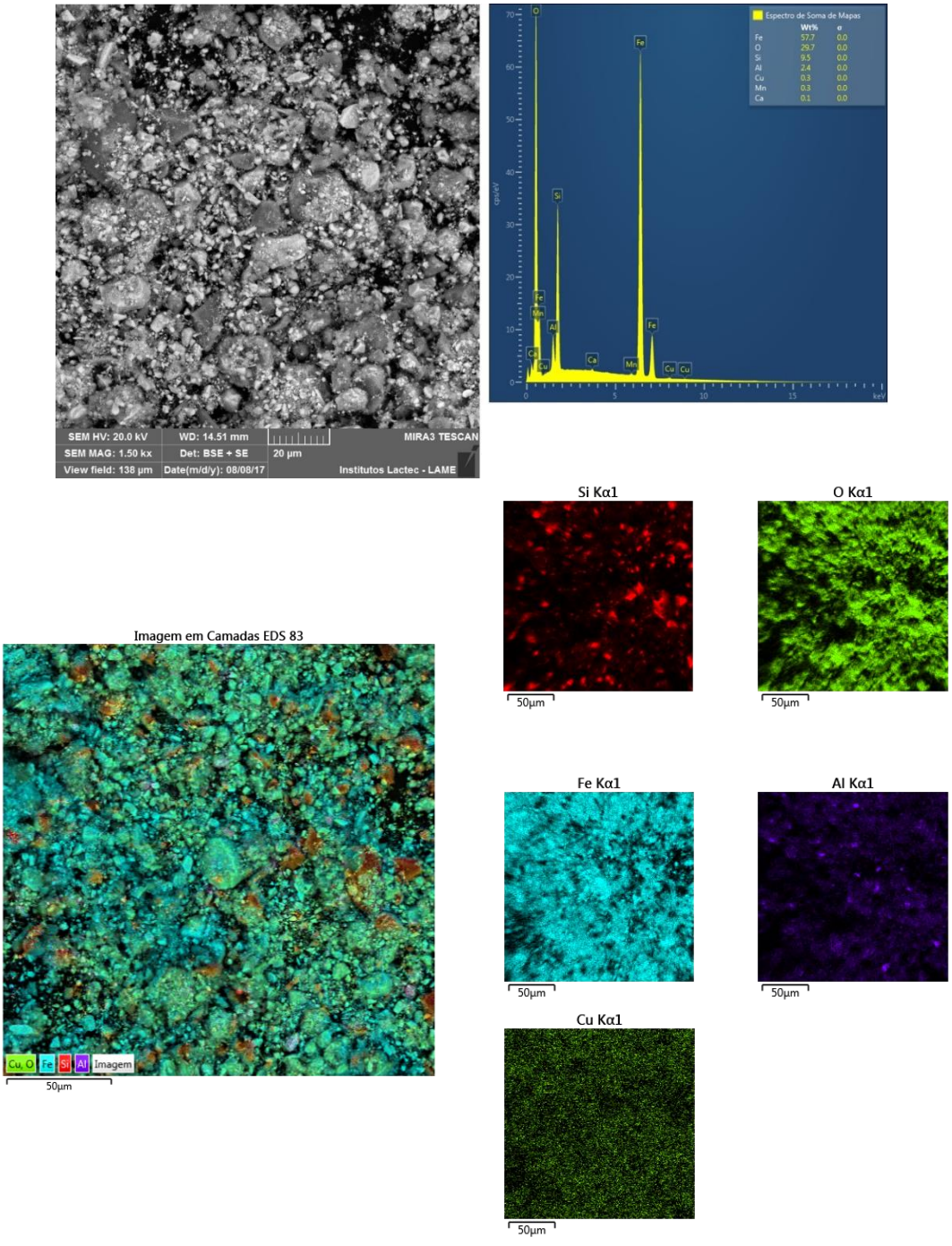


Figura 81 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0187.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia.

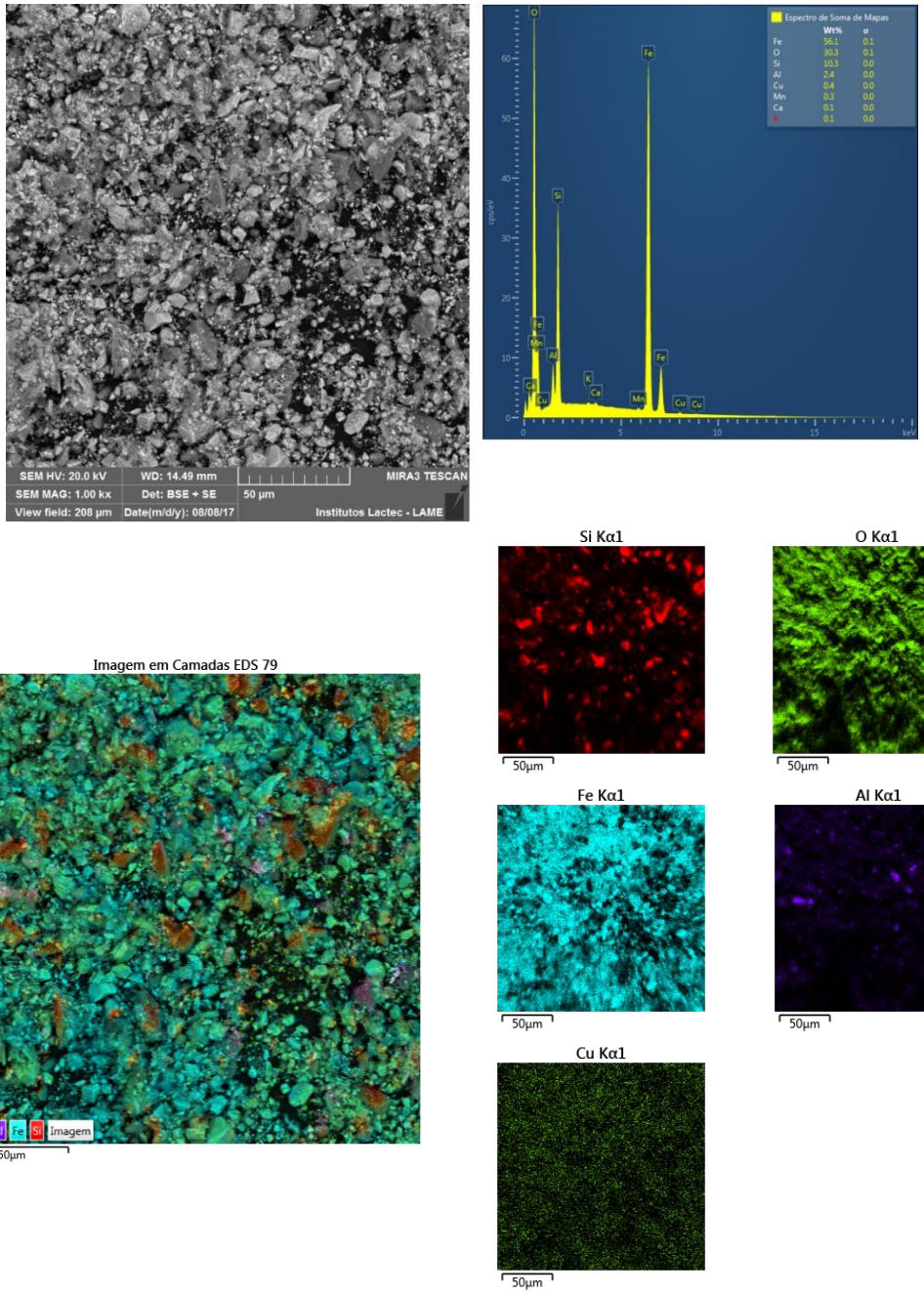


Figura 82 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0188.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia.

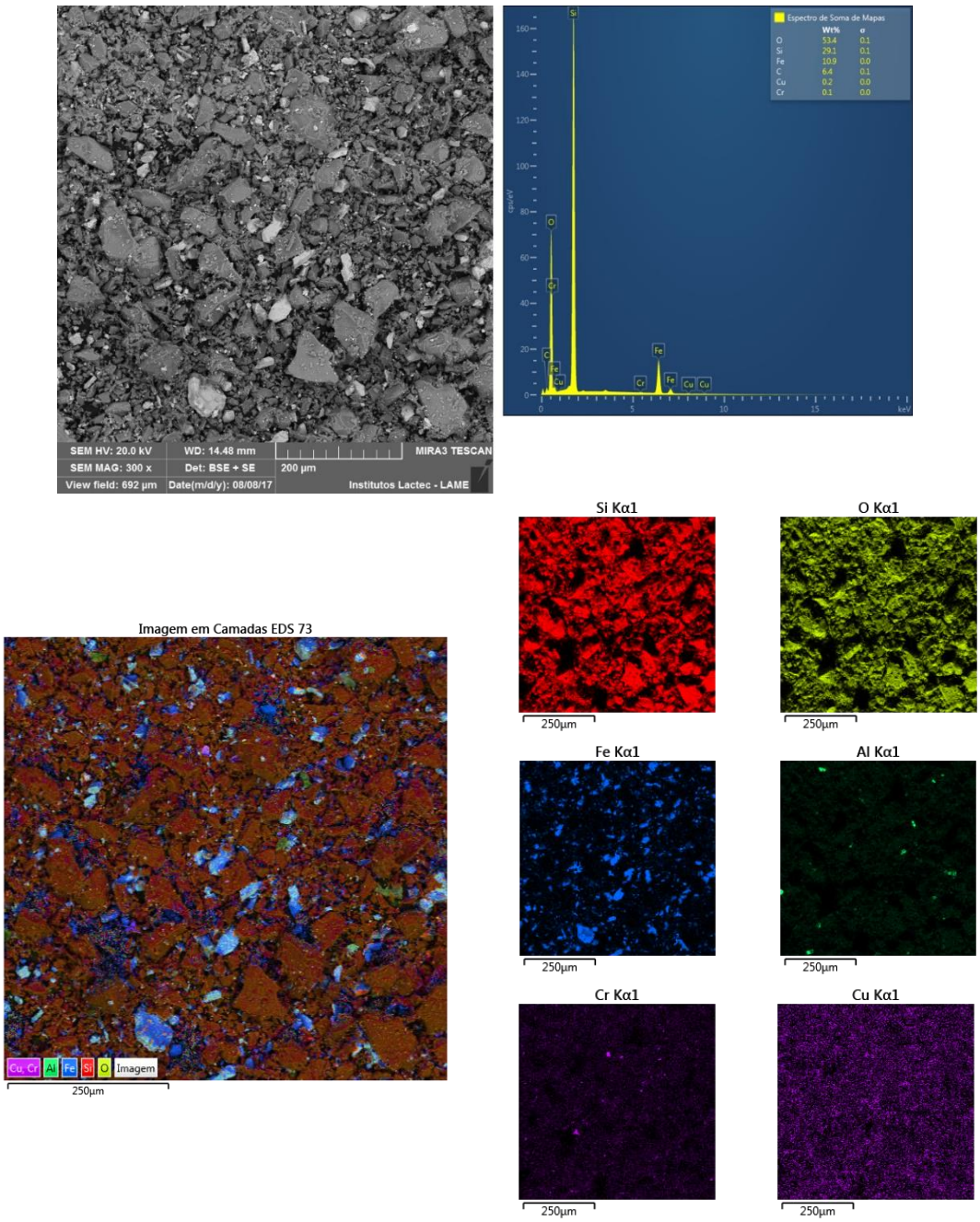


Figura 83 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0192.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia.

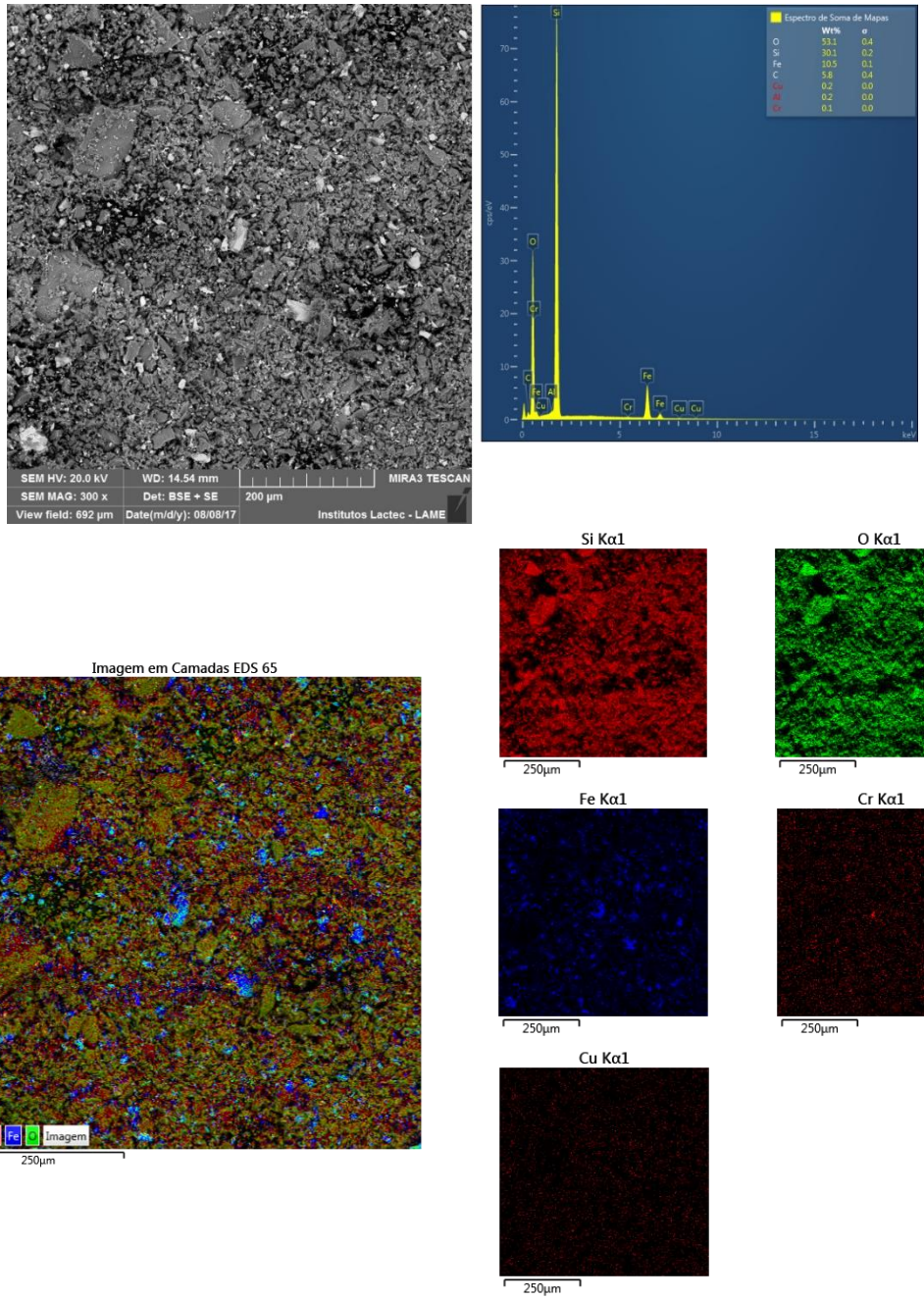
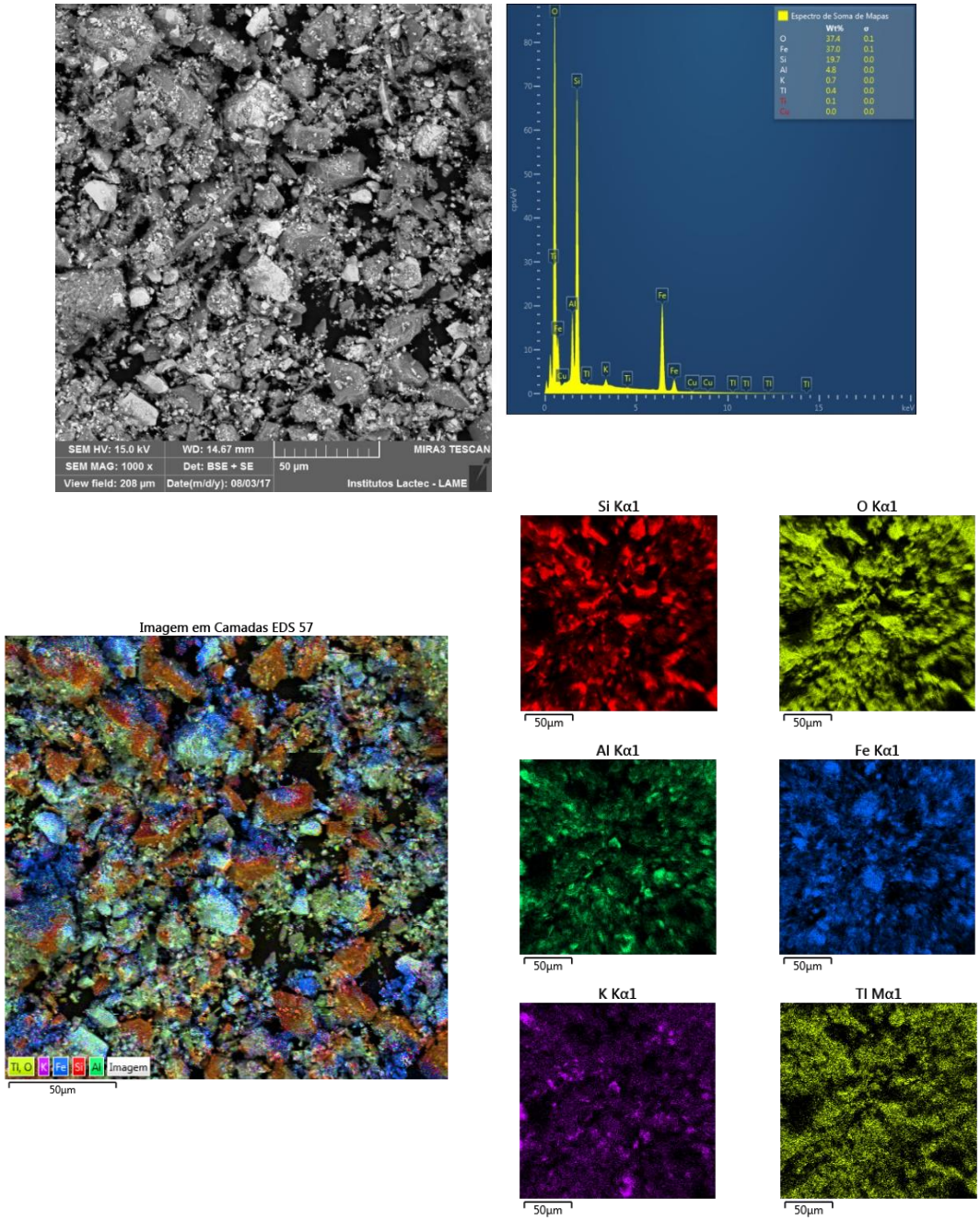


Figura 84 – Imagens micrográficas e de composição química elementar, por MEV-FEG/EDS das amostras de rejeito, registro 2.0193.17, coletadas na barragem de Germano, após a moagem de alta energia.



Conforme pode ser verificado pelas micrografias e espectros apresentados da Figura 75 à Figura 84, as amostras de rejeito, de uma forma geral, apresentaram estrutura granular, não arredondada, facetada, com bordas angulares e diferentes tamanhos de grão, o que corroborou com os resultados obtidos pelas análises granulométricas.

Para os resultados prévios ao tratamento de moagem, apresentados da Figura 75 à Figura 79, de forma similar ao verificado por Pereira (2005), foram identificados grãos, de tamanhos entre 4 µm e 200 µm, com três morfologias diferenciadas, sendo duas delas granulares; uma, com coloração mais escura e a outra, mais clara; e a terceira, com textura

característica, similar a um conglomerado de grãos menores. Por EDS, foi identificada a ocorrência dos elementos ferro e silício, sendo ainda identificadas menores proporções de alumínio e potássio, os quais podem estar arranjados em três fases principais (pela análise morfológica associada à química), quartzo, hematita e goethita, conforme destacado por Pereira (2005). De uma forma geral, todas as cinco amostras apresentaram as mesmas características elementares e microestruturais. Esses resultados, novamente, corroboraram com aqueles obtidos pela caracterização física (granulometria e massa específica dos grãos), bem como química (FRX e DRX), assim como com a literatura (PIRES et al., 2003; PEREIRA, 2005; WOLFF, 2009; MORGENSTERN et al., 2016) e os trabalhos anteriormente desenvolvidos para avaliação do evento (GOLDER ASSOCIATES, 2016; ERM, 2017).

Após a moagem, no entanto (Figura 80 a Figura 84), destacou-se a desagregação dos cristais de goethita e, associada a isso, a evidência da ocorrência de traços de cromo, cobre e tálio, nas amostras de rejeito de Germano (cobre, 2.0186.17 e 2.0187.17; cobre e cromo, 2.0188.17), de Fundão (cromo e cobre, 2.0192.17) e de Santarém (tálio, disperso, 2.0193.17). De acordo com Pires et al. (2003) e Muniz e Oliveira-Filho (2004), esse argilomineral (goethita) tem a capacidade de retenção de metais pesados, em especial o cromo. Uma vez que a sua estrutura cristalina tenha sido destruída pela moagem de alta energia (o que pode ser constatado pela ausência de grãos com morfologia similar àquela anteriormente identificada e destacada por Pereira, 2005), pode haver uma tendência à liberação de tais elementos, anteriormente adsorvidos, possibilitando a sua identificação pela técnica analítica utilizada. Isso corroborou com os resultados obtidos por DRX, pois foi verificada a ocorrência principal de metais-traço nas amostras que apresentaram, como uma das fases químicas principal, a goethita. A ocorrência desses metais-traço foi destacada, também, nos trabalhos da Golder Associates (2016a, 2016b) e da Fundação COPPETEC (2017), os quais relacionaram a presença destes à característica argilomineral da goethita e à ocorrência de silicados, aos quais tais metais, em especial o Zn, podem estar associados. A constatação final da disponibilidade de metais-traço nas amostras do rejeito de mineração deve ser desenvolvida posteriormente, com a realização de novos ensaios mais específicos para a sua detecção e quantificação.

Por fim, por GC/MS foi possível avaliar e quantificar a ocorrência de compostos orgânicos voláteis e fenóis, os quais foram citados por Franco et al. (2004), Bastos (2013) e Batista et al. (2016) como ocorrentes em alguns rejeitos de mineração de ferro (extrato solubilizado), em decorrência dos processos e reagentes utilizados para a floculação. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados obtidos para a caracterização por GC/MS dos COVs e fenóis presentes nas amostras de rejeito coletadas.

Compostos Orgânicos Voláteis e Semivoláteis	2.0186.17	2.0187.17	2.0188.17	2.0192.17	2.0193.17
Clorobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
p-xileno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
o-xileno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cumeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
n-propilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2-clorotolueno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
4-clorotolueno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
terc-butilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
sec-butilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,3-diclorobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,4-diclorobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2-diclorobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Tolueno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Etilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
m-xileno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Estireno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bromobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,3,5-trimetilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,4-trimetilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
p-isopropiltolueno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
n-butilbenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,4-triclorobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Naftaleno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3-triclorobenzeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1 - dicloropropeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2-dicloroetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Tricloroeteno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2-dicloropropano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
cis-1,3-dicloropropeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
tras-1,3-dicloropropeno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1,2-tricloroetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,3-dicloropropano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2-dibromoetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1,1,2-tetracloroetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1,2,2-tetracloroetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3-tricloropropano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2-dibromo-3-cloropropano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Hexaclorobutadieno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1-dicloroetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,2-dicloropropano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cloroformio	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bromoclorometano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1,1-tricloroetano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Tetracloreto de carbono	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Dibromometano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Tetracloroeteno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bromoformio	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,1-dicloroetileno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Diclorometano	**0,016**	**0,007**	**0,038**	< 0,003	< 0,003
trans-1,2-dicloroetileno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Compostos Orgânicos Voláteis e Semivoláteis	2.0186.17	2.0187.17	2.0188.17	2.0192.17	2.0193.17
cis-1,2-dicloroetileno	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Bromodiclorometano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Dibromoclorometano	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Fenóis	**0,02**	**0,01**	**0,01**	**0,02**	**0,01**

Conforme pode ser verificado na Tabela 20, os rejeitos de mineração apresentaram, para quase todos os COVs, resultados abaixo do limite de detecção da técnica. No entanto, para as amostras de Germano, foi observada a ocorrência de diclorometano em concentrações da ordem de 0,016 ppm, 0,007 ppm e 0,038 ppm. No que diz respeito aos fenóis, foi verificada a ocorrência, em teores de 0,01 ppm e 0,02 ppm, para todas as amostras coletadas. Isso pode ser decorrente dos materiais utilizados no beneficiamento do minério de ferro. Os resultados obtidos, principalmente no que diz respeito a fenóis, corroboraram com aqueles discutidos por Franco et al. (2004), Bastos (2013) e Batista et al. (2016), que verificaram tal composto orgânico semivolátil em extrato solubilizado de rejeitos de mineração.

Para a continuidade dos trabalhos de diagnóstico do dano ambiental, está prevista a caracterização de amostras de rejeito, em especial aquele depositado na barragem de Santarém, uma vez que nessa área ocorreu a principal sedimentação do material que estava barrado em Fundão e foi drenado para a bacia do rio Doce, com o desastre.

Assim, estão previstas novas campanhas de coleta de amostras de rejeito, em estado deformado e indeformado, inclusive com a obtenção de extratos em diferentes profundidades, e caracterização físico-química completa, comparativamente e de forma complementar àquelas que serão adotadas na avaliação das amostras de solos, águas, sedimentos e materiais biológicos.

A partir disso, pretende-se correlacionar as características identificadas no rejeito de mineração com aquelas identificadas nos meios físico e biótico, de modo a auxiliar na avaliação do impacto ambiental e contribuir, com informações do ponto de vista físico-químico, para o diagnóstico do dano. Pretende-se a adoção do mesmo procedimento com os trabalhos a serem realizados com os materiais geotécnicos.

3.3 Solos

Neste capítulo é apresentada a caracterização dos tipos de solo existentes anteriormente ao rompimento da barragem de Fundão do ponto de vista químico, com a determinação de nutrientes e metais pesados e, também, físicos, com avaliação da densidade e permeabilidade.

3.3.1 Importância ambiental

É fundamental o conhecimento dos tipos de solo, bem como dos teores de nutrientes (fertilidade), da sua estrutura, da física e da química, principalmente a (possível) existência

natural de metais pesados. Qualquer alteração poderá propiciar uma desestruturação, acarretando um aumento dos processos erosivos e de transporte de sedimentos para os corpos hídricos, além da possibilidade de contaminação ambiental para o próprio meio, para a planta e a água. Dessa forma, conhecer a bacia como um todo até individualizar o problema é de extrema importância para diferenciar as fontes de origens, sejam elas oriundas de intervenções antrópicas ou de origem natural.

3.3.2 Metodologia

A metodologia proposta e apresentada neste relatório está fundamentada nos dados secundários e disponíveis na literatura, conforme é apresentado na Figura 85. Essa metodologia visa avaliar tanto a bacia do rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão quanto em uma área mais específica, como a área afetada pela lama e delimitada de forma preliminar. Dessa forma, foram obtidas informações sobre tipos de solo conforme o levantamento de solos existentes para o estado de Minas Gerais, da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) (2010) e para o estado do Espírito Santo (EMBRAPA, 1978), e analisados tanto para a bacia do rio Doce quanto para a área afetada. Para análise do uso do solo, foram obtidas informações sobre o uso do solo conforme o levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016a). Para a caracterização química do solo, incluindo a determinação dos teores de elementos traços ou metais pesados foram obtidas informações conforme a publicação de Souza et al. (2015), que foi um trabalho complementar aos levantamentos e análises de solos preexistentes no estado de Minas Gerais, os quais serviram como base para determinação dos valores de referência de qualidade do solo (MINAS GERAIS, 2011; FEAM, 2013). A caracterização física do solo foi obtida junto ao banco de dados hidrofísico de solos no Brasil (HYBRAS), o qual foi elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), conforme Ottoni et al. (2017).

A área afetada em caráter preliminar foi delimitada a partir da análise temporal das imagens disponíveis no *software* Google Earth Pro, comparando as áreas antes e depois do evento, com abrangência desde a barragem de Fundão em Mariana até a foz do rio Doce, em Regência, no Espírito Santo. Foi traçado o eixo central do rio afetado, considerando todas as áreas marginais e foi aplicado um raio de 500 m ao longo de todo eixo do rio. Nas áreas próximas à barragem de Fundão foram traçadas linhas auxiliares para complementar essa área afetada. Na Figura 86 é possível visualizar a delimitação da área afetada. Cabe ressaltar que esse limite é passível de ser revisado ao longo do desenvolvimento dos estudos.

Figura 85 – Metodologia de trabalho.

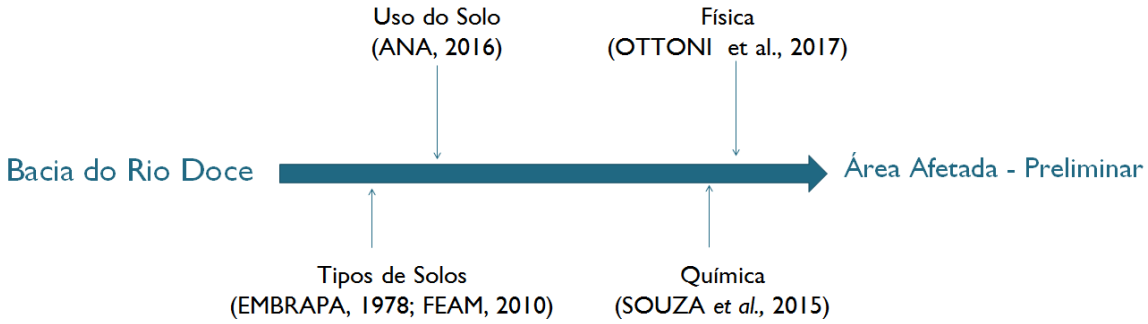
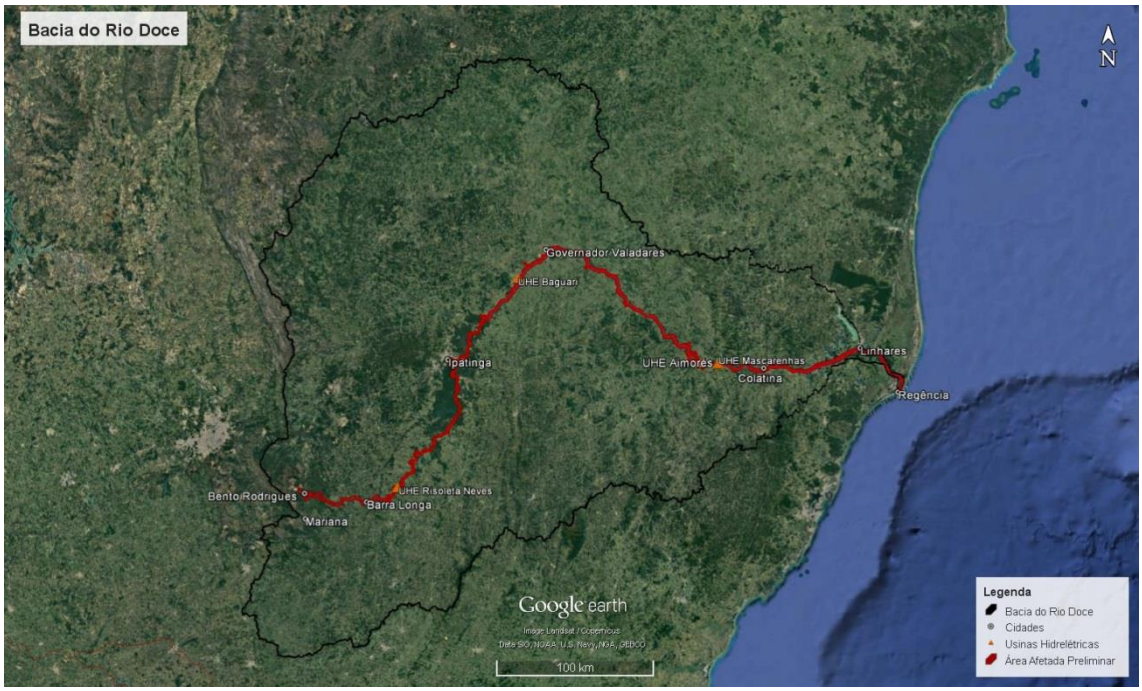


Figura 86 – Delimitação do raio da área afetada (preliminar).



Neste relatório serão apresentadas as características de solo, como tipos, nutrientes, metais pesados, Valores de Referência de Qualidade (VRQs) conforme a normativa existente para o estado de Minas Gerais, além da análise de metais pesados. Ressalta-se que não foram encontradas informações referentes aos teores naturais de metais pesados para o estado do Espírito Santo que abrangem a bacia do rio Doce. Serão apresentadas ainda neste relatório as propriedades físicas do solo relativas à distribuição granulométrica, densidade do solo e condutividade hidráulica saturada.

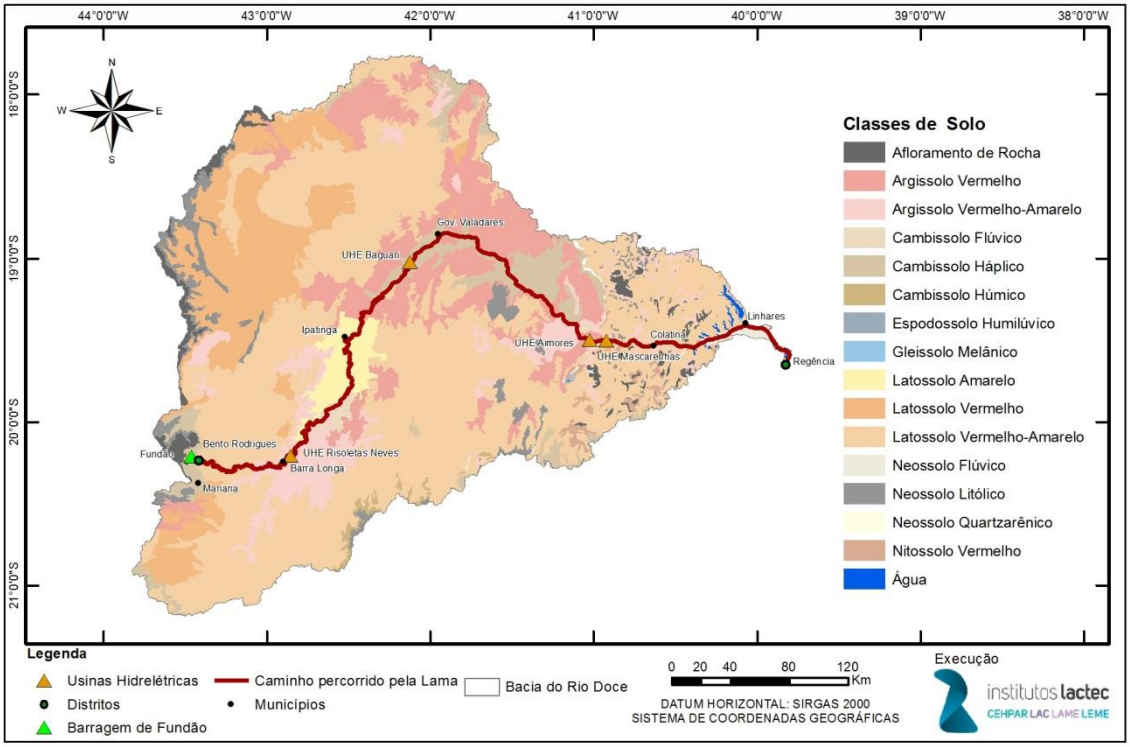
3.3.3 Tipos de solo

Os tipos de solo existentes na bacia do rio Doce foram obtidos a partir dos levantamentos realizados pela Embrapa (1978) e FEAM (2010), sendo esses solos classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). O SiBCS foi

elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o qual apresenta a estrutura, os princípios e os conceitos básicos do sistema de classificação de solos, a partir de atributos morfopedológicos que revelam sua natureza construtiva. Organizado de forma hierárquica em quatro níveis categóricos, o SiBCS tem como propósito consolidar a sistematização taxonômica e expressar o conhecimento sobre a classificação de solos em todo o território nacional. No primeiro nível, estão as ordens que incluem 13 classes; no segundo nível estão representadas as subordens com 43 classes; no terceiro nível, os grandes grupos com 192 classes; e, por fim, no quarto nível, têm-se os subgrupos com 812 classes (EMBRAPA, 2006).

Na extensão da bacia do rio Doce são encontradas 15 classes de solos (adaptado de EMBRAPA, 1978; FEAM, 2010), sendo que a maioria é do tipo latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho e latossolo vermelho, com 50, 14 e 13% de representatividade da área da bacia do rio Doce, respectivamente. (Figura 87, Tabela 21, **Apêndice H**).

Figura 87 – Tipos de solo na bacia do rio Doce.



Fonte: Adaptado de Embrapa (1978) e FEAM (2010).

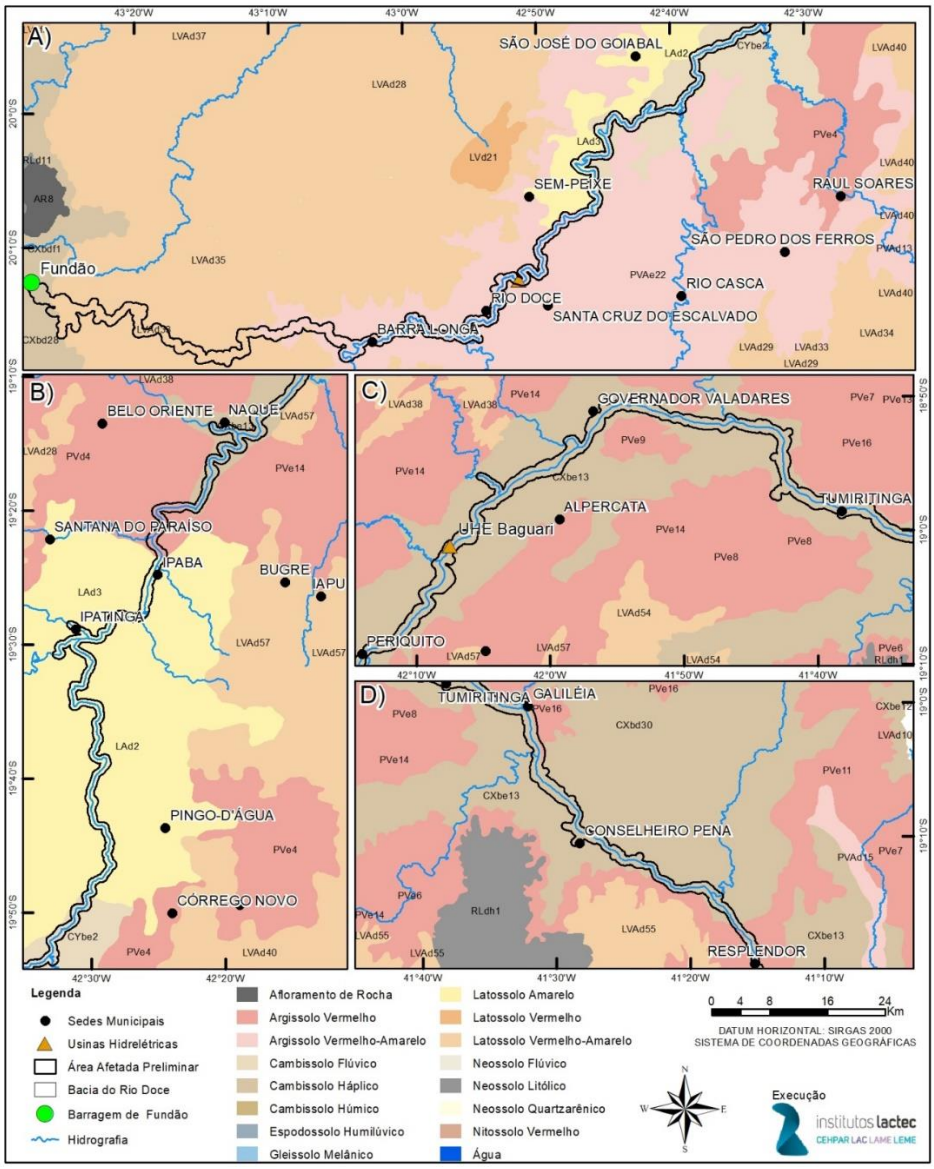
Tabela 21 – Tipos de solo existentes na bacia do rio Doce.

Classes de Solo	Área (km^2)	% Área da Bacia
Latossolo vermelho-amarelo	41.550,00	50,37
Argissolo vermelho	11.690,10	14,17
Latossolo vermelho	10.501,20	12,73
Argissolo vermelho-amarelo	5.905,64	7,16
Cambissolo háplico	4.922,97	5,97
Neossolo litólico	2.586,91	3,14
Latossolo amarelo	1.880,95	2,28
Afloramento de rocha	1.437,97	1,74
Nitossolo vermelho	538,17	0,65
Cambissolo flúvico	433,99	0,53
Cambissolo húmico	370,82	0,45
Neossolo flúvico	290,05	0,35
Água	279,25	0,34
Gleissolo melânico	18,88	0,02
Neossolo quartzarênico	12,92	0,02
Espodossolo humilúvico	0,18	0,00
Sem informação	72,80	0,09
Total	**82.492,80**	**100,00**

Fonte: Adaptado de Embrapa (1978) e FEAM (2010).

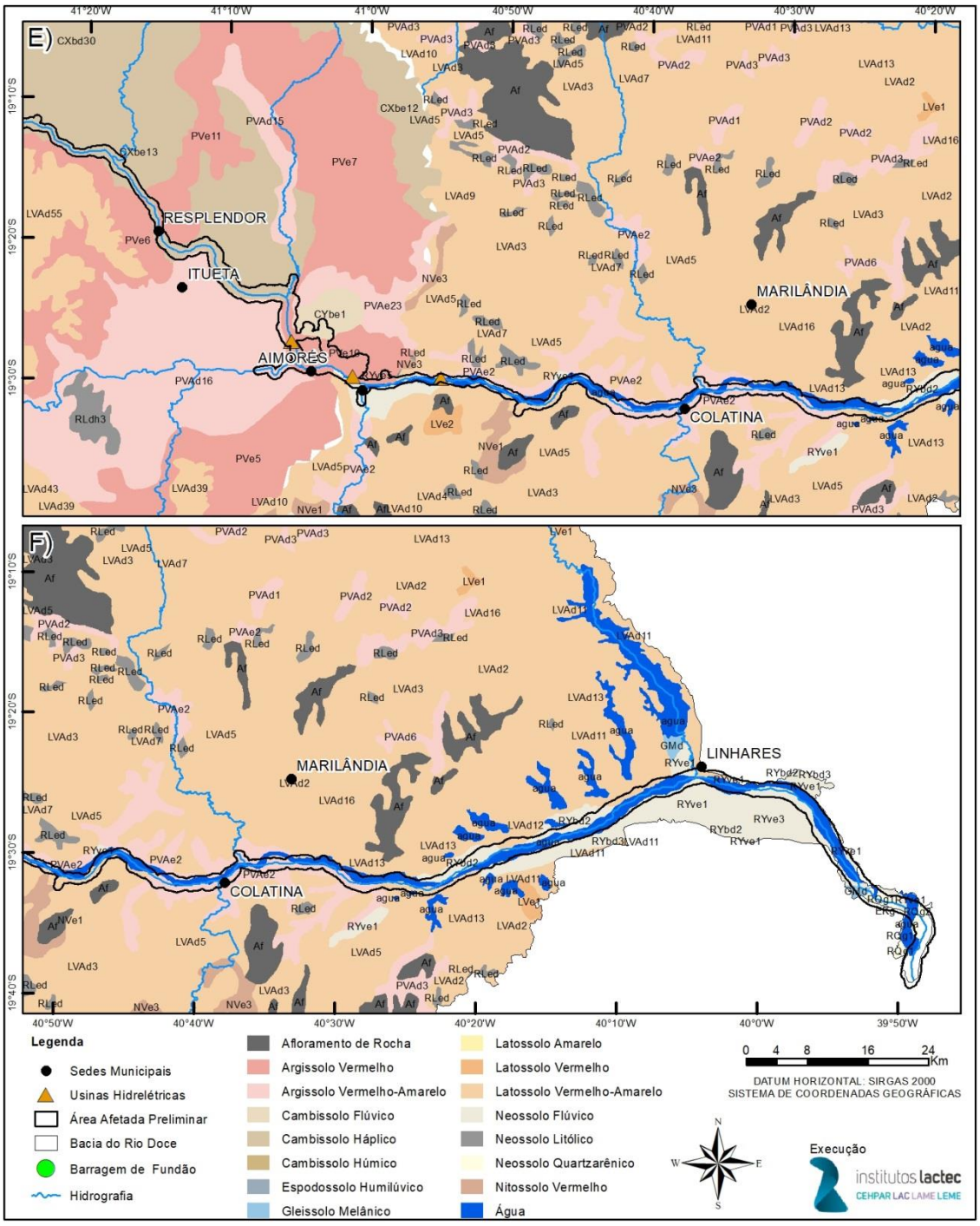
A análise dos principais tipos de solo (adaptado de EMBRAPA, 1978 e FEAM, 2010) presentes na área afetada demonstra que ocorre uma variação entre os tipos de solo e sua ocorrência na paisagem, conforme apresentado na Figura 88, Figura 89 e no **Apêndice H**. Analisando de montante para jusante os trechos entre a barragem de Fundão até a foz do rio Doce na região de Regência, verificou-se que na barragem de Fundão há um predomínio de cambissolo háplico; já do trecho de Bento Rodrigues até Barra Longa ocorre o latossolo vermelho-amarelo; de Barra Longa até a jusante da UHE Risoleta Neves ocorre o argissolo vermelho-amarelo (Figura 88, item A); do trecho entre a jusante dessa UHE até a cidade Ipaba (Figura 88, item B) ocorrem os cambissolos flúvicos e latossolos-amarelos; das cidades de Naque, Periquito, UHE Baguari (Figura 88, item C), Governador Valadares, Tumiritinga, Galileia (Figura 88, item D), Conselheiro Pena, Resplendor até Itueta predomina o cambissolo háplico (Figura 89, item E). Na cidade de Aimorés ocorre o argissolo vermelho; em Baixo Guandu ocorre um neossolo flúvico; em Colatina predomina um argissolo vermelho-amarelo (Figura 89, item E); e na região próxima a Linhares até a foz do rio Doce, em Regência, ocorrem os neossolos flúvicos (Figura 89, item F).

Figura 88 – Tipos de solo existentes na área afetada. As figuras foram elaboradas de montante (A) para jusante (D).



Fonte: Adaptada de Embrapa (1978) e FEAM (2010).

Figura 89 – Tipos de solo existentes na área afetada (continuação da Figura 88). As figuras foram elaboradas de montante (E) para jusante (F).



Fonte: Adaptado de Embrapa (1978) e FEAM (2010).

As porcentagens de cada uma das classes de solo, até o segundo nível categórico de classificação, presentes na área afetada são apresentadas na Tabela 22 (adaptada de

EMBRAPA, 1978; FEAM, 2010). Predominam nessa área afetada os cambissolos háplicos, argissolos vermelho-amarelos com 33,5% e 13,5% de predominância, sendo que podem ocorrer outros solos com porcentagens inferiores a 10%.

Tabela 22 – Classes de solo presentes na área afetada.

Classes de Solo	Área (km²)	% Área Afetada
Cambissolo háplico	338,22	33,50
Argissolo vermelho-amarelo	135,98	13,47
Água	126,86	12,57
Latossolo vermelho-amarelo	94,78	9,39
Latossolo amarelo	87,72	8,69
Cambissolo flúvico	68,89	6,82
Argissolo vermelho	63,46	6,29
Neossolo flúvico	56,91	5,64
Neossolo quartzarênico	8,99	0,89
Gleissolo melânico	1,88	0,19
Espodossolo humilúvico	0,18	0,02
Nitossolo vermelho	0,01	0,00
Sem informações	25,68	2,54
Total	**1009,56**	**100,00**

Fonte: Adaptado de Embrapa (1978) e FEAM (2010).

A seguir, serão descritos os tipos de solo existentes na área afetada, conforme as suas características.

Os cambissolos são solos com processo de formação pouco avançado evidenciado pelo desenvolvimento da sua estrutura, da alteração do material de origem expressada, quase ausência da estrutura da rocha ou da estratificação dos sedimentos, croma mais alto, matizes mais vermelhos ou pelo conteúdo de argila mais elevado que os horizontes subjacentes. São solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente (Bi) logo após um horizonte superficial A ou hístico, com espessura insuficiente para ser definido como organossolos. Apresentam nesta sequência os horizontes A ou hístico, Bi, C com ou sem R. Os cambissolos flúvicos possuem um caráter flúvico dentro de 120 cm a partir da superfície do solo. Já os cambissolos háplicos possuem todas as características anteriores, desde que não possuam um horizonte A húmico e tão pouco um caráter flúvico para atender os requisitos do cambissolo flúvico (EMBRAPA, 2006). Os cambissolos apresentam como principais obstáculos a sua exploração devido à pouca profundidade, fase cascalhenta ou pedregosa, baixa fertilidade natural (excetuando os eutróficos) e ocorrência em relevos mais movimentados (AMARAL et al., 2004).

Os argissolos são solos constituídos por material mineral que apresentam um horizonte B textural com argila de baixa atividade, ou alta quando a saturação por bases for baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural ocorre logo abaixo do horizonte A ou E, sendo que esse horizonte não satisfaz os requisitos para ser enquadrado nas classes dos luvissolos, planossolos, plintossolos ou gleissolos. Os argissolos vermelhos apresentam como característica complementar um matiz 2,5 YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR e valores e cromas iguais ou menores que 4, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B. Os argissolos vermelhos são solos de bom potencial produtivo no estado, exceto aqueles localizados em regiões que apresentam período seco prolongado (principalmente nos

eutróficos). Já os argissolos vermelho-amarelos são outros solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas classes de argissolos bruno-acinzentados, argissolos acinzentados, argissolos amarelos e argissolos vermelho-amarelos (EMBRAPA, 2006). As principais limitações dos argissolos vermelho-amarelo ao uso agrícola são o relevo movimentado, baixa fertilidade natural (solos álicos ou distróficos) e, em alguns casos, a ocorrência de fase cascalhenta (AMARAL et al., 2004).

Os latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico logo abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, dentro de 200 cm da sua superfície ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais que 150 cm de espessura. São solos com avançado estágio de intemperismo, com pouco ou quase nulo aumento de teor de argila do horizonte A para B. Em relação à sua drenagem são bem drenados, sendo normalmente solos profundos com *solum* superior a 1 m. Os latossolos amarelos possuem matiz 7,5 YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B. Já os latossolos vermelho-amarelos são solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas, que não se enquadram para satisfazer as outras classes de latossolo bruno, latossolo amarelo e latossolo vermelho. Os principais impedimentos aos latossolos vermelho-amarelos ao uso agrícola são a baixa fertilidade e a presença de alumínio tóxico para as plantas, além do terreno mais acidentado nas zonas da Mata (AMARAL et al., 2004).

Os neossolos são solos em formação, sendo pouco desenvolvidos. São constituídos por material mineral ou por material orgânico desde que seja inferior a 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Possuem sequência A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-C, O-R ou H-C desde que não atendam aos requisitos para serem classificados como chernossolos, vertissolos, plintossolos, organossolos ou gleissolos. Os neossolos flúvicos são solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam um caráter flúvico, sendo formados pela sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes sem relações pedogenéticas entre elas. Já os neossolos quartzarênicos são solos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os seus horizontes até no mínimo 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico. Esses solos são quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala, com ausência de minerais primários (EMBRAPA, 2006). Os neossolos flúvicos apresentam como principal limitação o seu uso agrícola e estão relacionados, em alguns casos, aos locais com inundações periódicas (AMARAL et al., 2004). Os neossolos quartzarênicos apresentam como principais limitações à exploração a sua baixa fertilidade natural, a baixa CTC e a baixa retenção de água (AMARAL et al., 2004).

Os gleissolos melânicos são solos hidromórficos constituídos por material mineral, apresentando um horizonte glei dentro de 150 cm a partir da superfície do solo, logo após um horizonte A ou E, entretanto, se for um horizonte hístico não pode apresentar espessura suficiente para definir como organossolos. São solos mal drenados que apresentam, em condições naturais, sequência de horizontes A-Cg, A-Big-Cg, A-Btg-Cg, A-E-Btg-Cg, A-Eg-Bt-Cg. Ag-Cg, H-Cg, com cores no horizonte superficial variando de cinza até pretas, com espessura entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico. São solos que se encontram permanente ou periodicamente saturados por água. É característica a sua gleização em decorrência do ambiente redutor. O processo de gleização implica a manifestação de cores acinzentadas. São solos que ocorrem nas proximidades dos corpos hídricos e sob vegetação

hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea (EMBRAPA, 2006). A principal limitação para seu uso em culturas não adaptadas ao hidromorfismo é a necessidade de drenagem intensa quando não acopladas a obras de engenharia como a sistematização (AMARAL et al., 2004).

Os espodossolos humilúvicos são com atuação de processo de podzolização com eluviação de compostos de alumínio com ou sem ferro em presença de húmus ácido, tendo como consequência a acumulação iluvial desses constituintes. São constituídos por material mineral com horizonte B espódico abaixo do horizonte eluvial E, ou subjacente a horizonte A, ou subjacente a horizonte hístico desde que não satisfaça os requisitos para ser organossolo. Apresentam sequências de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes. Devido aos compostos iluviais dominantes e do grau de cimentação no horizonte esópico podem estar associadas às características de iluviação de complexos de matéria orgânica-alumínio, com pouca ou nenhuma evidência de ferro iluvial (sufixo Bh) e/ou pode apresentar uma característica denominada de "*orstein*", estando o horizonte B espódico sob a forma consolidada (cimentada). São solos muito pobres em fertilidade, moderada a fortemente ácidos, com saturação de bases baixa, podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível. São desenvolvidos principalmente de materiais arenoquartzosos, sob condições de umidade elevada. Estão associados aos ambientes de restingas, mas podem ocorrer outros tipos de vegetação (EMBRAPA, 2006). Devido a limitações, como a baixa fertilidade natural e as características físicas desfavoráveis, esses solos são de pouca utilização agrícola (AMARAL et al., 2004).

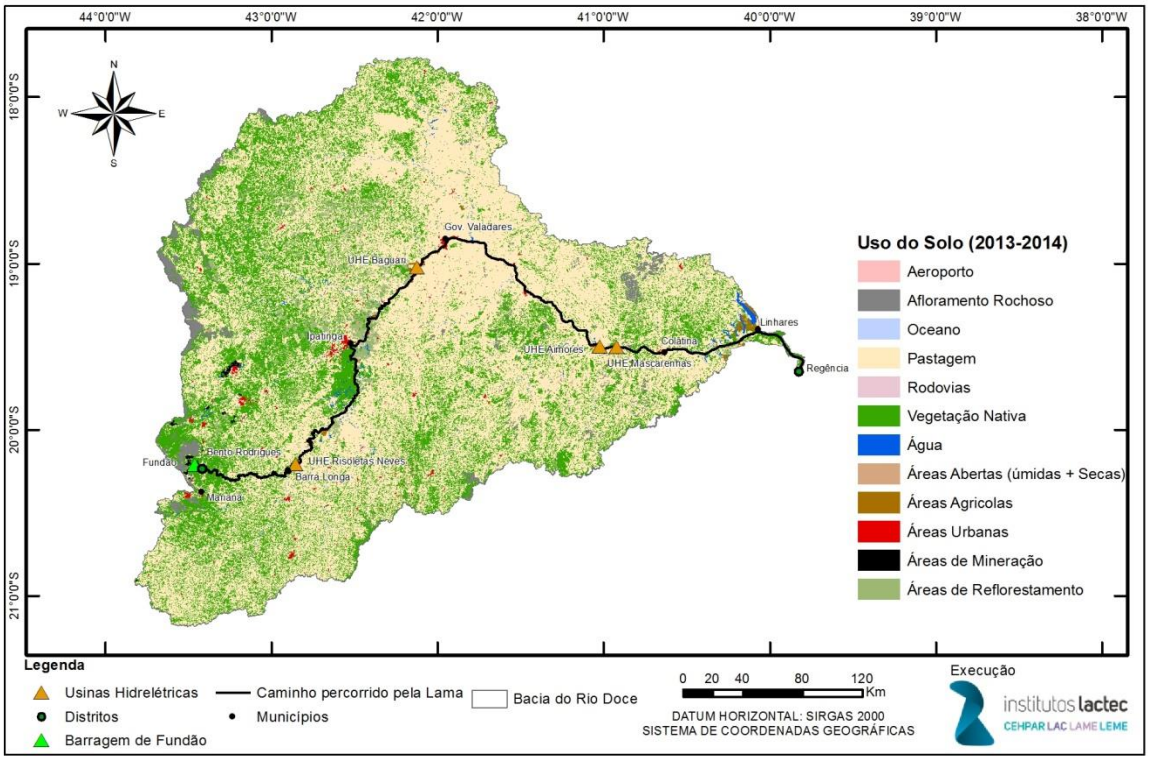
Os nitossolos vermelhos são solos constituídos por material mineral com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados, com estrutura em blocos subangulares ou angulares ou prismáticas. São solos moderadamente ácidos a ácidos, com argila de atividade baixa ou com caráter alítico. Os nitossolos vermelhos apresentam matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2006). Ocorrem em relevo forte ondulado a ondulado, com horizonte A moderado, textura normalmente argilosa, apresentam boas características físicas e alta fertilidade (AMARAL et al., 2004).

3.3.4 Uso do solo

A caracterização do uso do solo para a bacia do rio Doce foi obtida da ANA (2016a). Esse mapa de uso e ocupação do solo possui uma resolução espacial de 10 m e foi elaborado a partir de imagens de satélites (ALOS, QuickBird, World View I e Landsat 7) do período de março de 2013 a dezembro de 2014. Foram determinadas 13 classes de uso e ocupação (Aeroporto, Afloramento Rochoso, Oceano, Pastagem, Praia, Rodovias, Vegetação Nativa, Água, Áreas Abertas, Áreas Agrícolas, Áreas Urbanas, Mineração e Reflorestamento).

O principal uso do solo da bacia do rio Doce (ANA, 2016a) corresponde à pastagem, com 62% da área da bacia. A vegetação nativa ainda recobre 30% do território, as áreas de reflorestamento são inferiores a 3% e as áreas agrícolas são inferiores a 1% da bacia do rio Doce (Figura 90, Tabela 23, **Apêndice I**).

Figura 90 – Uso do solo da bacia do rio Doce.



Fonte: Adaptado de ANA (2016a).

Tabela 23 – Uso do solo da bacia do Rio Doce.

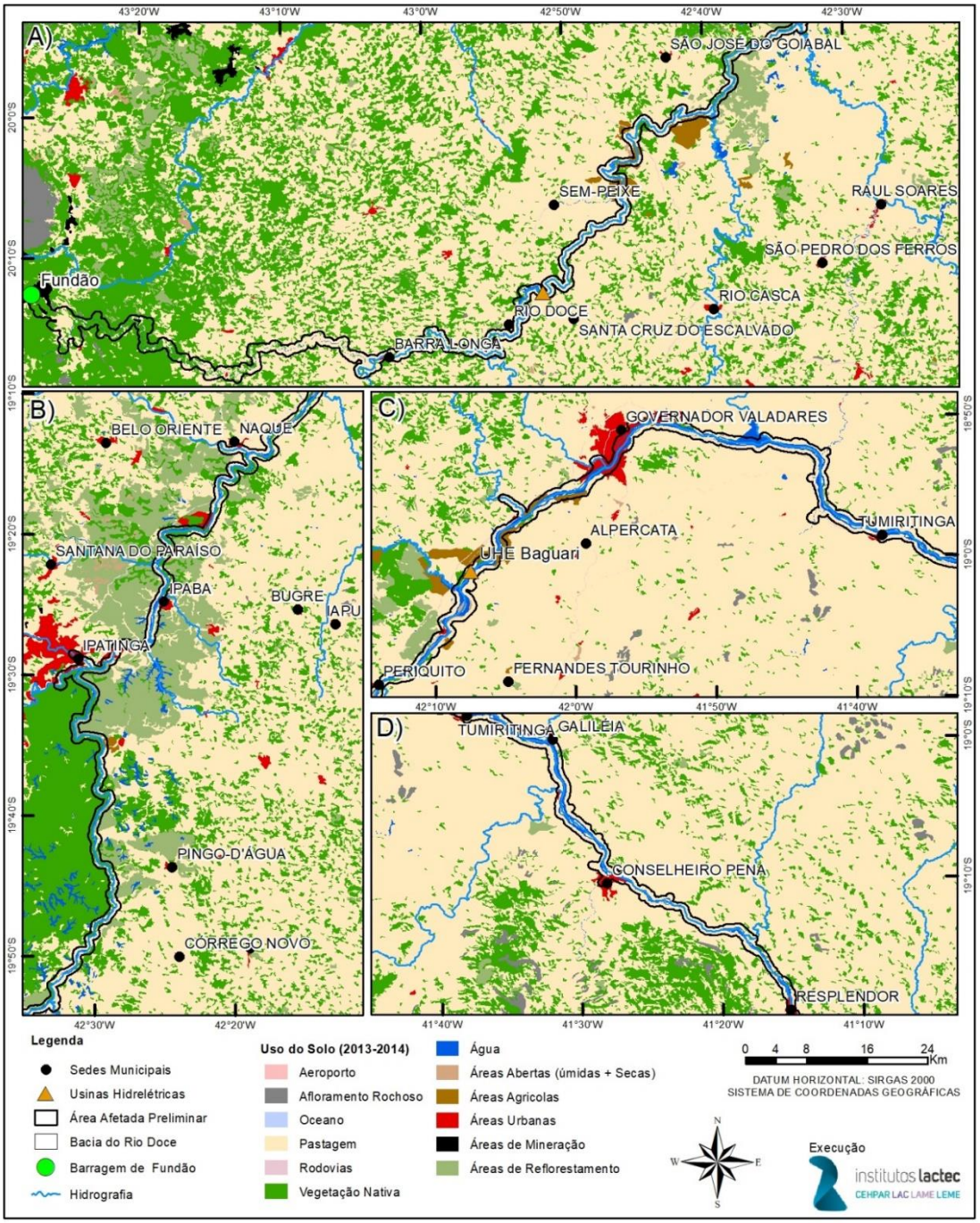
Uso do Solo	Área (km²)	% Área da Bacia
Pastagem	51.452,91	62,37
Vegetação nativa	25.165,54	30,51
Áreas de reflorestamento	2.254,37	2,73
Afloramento rochoso	1.719,72	2,08
Água	709,96	0,86
Áreas urbanas	452,89	0,55
Áreas agrícolas	221,84	0,27
Áreas abertas (úmidas + secas)	152,13	0,18
Áreas de mineração	107,13	0,13
Rodovias	51,12	0,06
Aeroporto	1,37	0,00
Oceano	0,62	0,00

Sem informação	203,19	0,25
Total	**82.492,80**	**100,00**

Fonte: Adaptado de ANA (2016a).

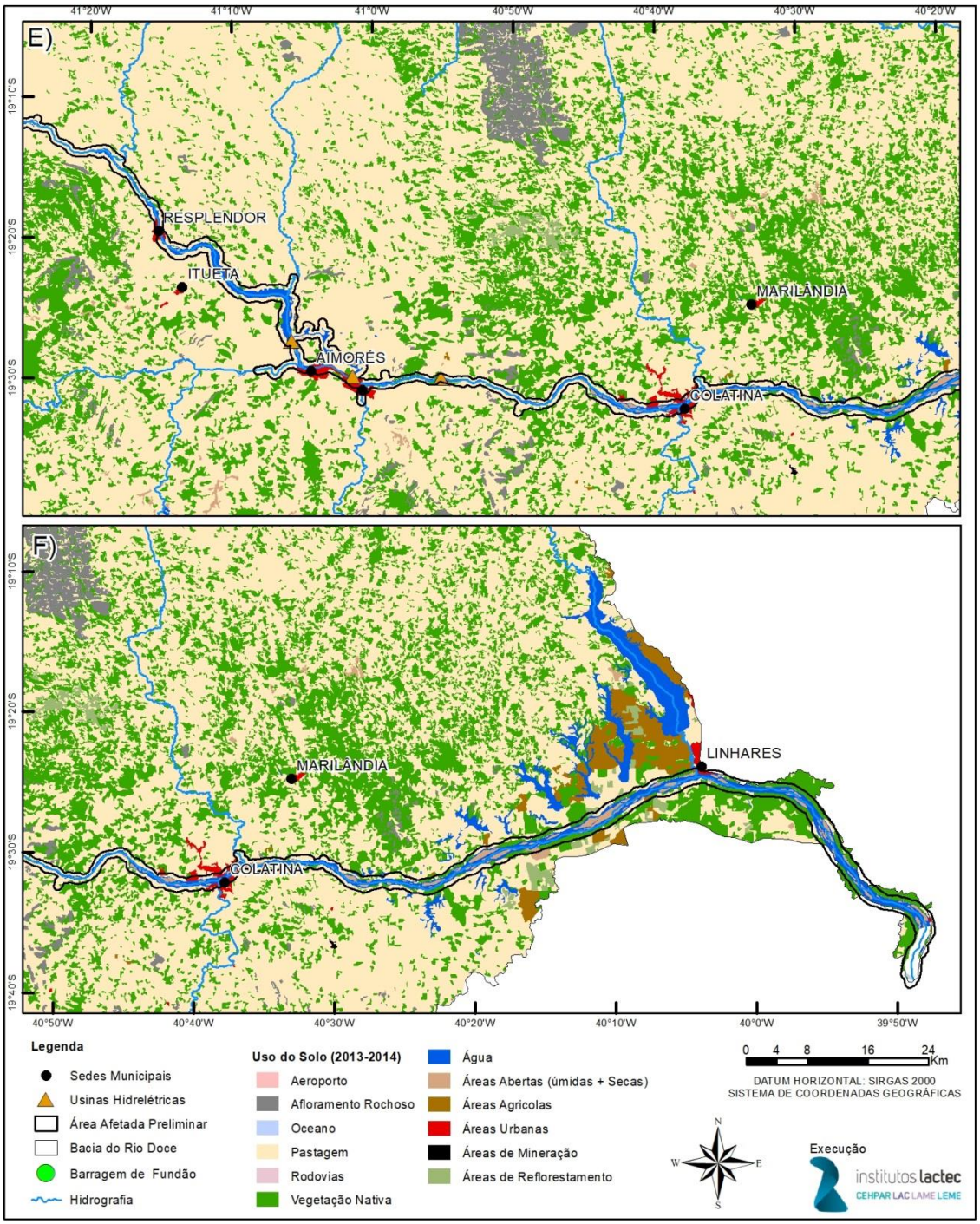
Analisando o uso do solo na área afetada conforme os dados obtidos pela ANA (2016a), verificou-se que existem poucas áreas de vegetação nativa ao longo do rio Doce, com pontos de maior ocorrência principalmente próximo a Bento Rodrigues (Figura 91, item A), ao Parque Estadual do Rio Doce (PERD), área com maior extensão de vegetação nativa da bacia do rio Doce e próximo ao estado do Espírito Santo (Figura 91, Figura 92 e **Apêndice I**). O principal uso existente na área afetada em caráter preliminar é de pastagem, com 44% de ocorrência na área afetada de 1009,56 km^2 (Tabela 24).

Figura 91 – Usos do solo existentes na área afetada preliminar. As figuras foram elaboradas de montante (A) para jusante (D).



Fonte: Adaptado de ANA (2016a).

Figura 92 – Usos do solo existentes na área afetada preliminar. As figuras foram elaboradas de montante (E) para jusante (F).



Fonte: Adaptado de ANA (2016a).

Tabela 24 – Usos do solo presentes na área afetada.

Classes	Área (km²)	% Área Afetada
Pastagem	447,58	44,33
Água	247,16	24,48
Vegetação nativa	165,43	16,39
Áreas urbanas	39,39	3,90
Áreas abertas (úmidas + secas)	37,63	3,73
Áreas de reflorestamento	22,36	2,21
Áreas agrícolas	17,66	1,75
Rodovias	7,34	0,73
Áreas de mineração	1,61	0,16
Afloramento rochoso	1,22	0,12
Oceano	0,62	0,06
Aeroporto	0,05	0,01
Não classificado	21,52	2,13
Total	**1009,56**	**100,00**

Fonte: Adaptado de ANA (2016a).

Atualmente, a bacia apresenta um quadro de grande supressão da cobertura vegetal, estando os remanescentes florestais restritos às áreas mais declivosas do terreno. As pastagens encontram-se bastante degradadas, com baixa cobertura do solo, intenso pisoteio e compactação, o que proporciona uma superfície suscetível à erosão do solo, formando volumes expressivos de sedimentos que são carreados aos cursos d'água (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a). Para mais informações sobre transporte de sedimentos, vide o capítulo 3.5 de hidrologia.

Ressalta-se que as informações obtidas de ANA (2016a) podem apresentar limitações em relação ao método de como foram obtidas e amostradas as classes, uma vez que há limitações condizentes com a resolução da imagem, que, nesse caso, é de 10 m, bem como com o método empregado para classificar a imagem, se foi realizado de forma supervisionada, com pontos de amostrados em campo, ou não supervisionada, sem pontos de amostragem. Normalmente, é utilizado o método de classificação não supervisionada devido à facilidade de obtenção do resultado, podendo ocorrer erros de classificação e de quantificação de classes de uso do solo.

Para obter com precisão as classes de uso do solo presentes na área afetada, está sendo executado o mapeamento de uso e ocupação do solo para o período pré-desastre (T0), na escala de 1:20.000, para uma área aproximada de 1.700 km², abrangendo desde a barragem de Fundão em Mariana até a foz do rio Doce. Esse mapeamento é baseado nas imagens orbitais disponibilizadas para os Institutos Lactec e validadas da área e entorno do Rio Doce, conforme descrição no item 2.2.2.

Para o mapeamento de uso e ocupação do solo, foram definidas as seguintes classes de uso: Vegetação Nativa, Campo e Pastagem, Várzea, Restinga, Reflorestamento, Linha da Praia, Agricultura, Corpos d'água, Mineração, Área Urbanizada, Área Construída, Afloramento Rochoso, Ilhas, Banco de Areia e Solo Exposto.

A metodologia para o mapeamento consistiu na aquisição de feições geográficas por meio da análise e interpretação realizadas sobre as imagens orbitais. Como forma de avaliar a qualidade e confiabilidade do mapeamento realizado, estão sendo feitos levantamentos em campo em um sistema de amostragem de pontos ao longo de todo o trecho mapeado.

3.3.5 Propriedades químicas do solo – metais pesados

Elementos-traço ou metais pesados ocorrem naturalmente na composição dos solos (MATOS, 2012), sendo até mesmo essenciais do ponto de vista biológico, entretanto sob condições específicas podem ser altamente tóxicos ao meio ambiente, constituindo-se como contaminante ou poluente do solo (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Para garantir o controle da poluição e proteger a qualidade dos solos, foram estabelecidos valores orientadores, ou seja, concentrações de substâncias químicas ideais para o solo (CASARINI; DIAS; LEMOS, 2001).

O VRQ é a concentração de determinada substância no solo, que define um solo como limpo. Segundo a FEAM (2015a):

> o valor é estabelecido com base em análises físico-químicas dos diversos tipos de solos e tem a função de prover uma orientação quantitativa no processo de avaliação de áreas suspeitas de contaminação e, também, para a tomada de decisão sobre as ações emergenciais, com vistas à proteção da saúde humana e ao meio ambiente.

Além do VRQ tem-se, também, o Valor de Prevenção (VP) e o Valor de Investigação (VI). O VP é a concentração máxima para que não ocorram alterações na qualidade e nas funções principais do solo. O VI é a concentração limite, acima da qual existem riscos à saúde humana e ao meio ambiente, que indica a necessidade de ações de investigação e controle (FEAM, 2015a). Os VPs são inferiores aos VIs, sendo estes definidos para três tipos de uso do solo: agrícola, residencial e industrial.

Considerando a necessidade de se estabelecer VRQs dos solos para o estado de Minas Gerais, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) elaborou a Norma nº 166, de 29 de junho de 2011. Essa norma determina uma lista de valores orientadores para solos (Tabela 25).

Tabela 25 – Valores orientadores para solo de Minas Gerais.

Valores Orientadores para Solo (mg.kg^{-1} de peso seco)					
Substâncias Inorgânicas	**VRQ[1]**	**VP[2]**	**VI[3] Agrícola**	**VI Residencial**	**VI Industrial**
Alumínio	-	-	-	-	-
Antimônio	0,5	2	5	10	25
Arsênio	8	15	35	55	150
Bário	93	150	300	500	750
Boro	11,5	-	-	-	-
Cádmio	<0,4	1,3	3	8	20
Chumbo	19,5	72	180	300	900
Cobalto	6	25	35	65	90
Cobre	49	60	200	400	600
Cromo	75	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-
Mercúrio	0,05	0,5	12	36	70
Molibdênio	<0,9	30	50	100	120
Níquel	21,5	30	70	100	130
Nitrato (como N)	-	-	-	-	-
Prata	<0,45	2	25	50	100
Selênio	0,5	5	-	-	-
Vanádio	129	-	-	-	-
Zinco	46,5	300	450	1000	2000

Nota: [1] Valor de Referência de Qualidade (VRQ); [2] Valor de Prevenção (VP); [3] Valor de Investigação (VI).
Fonte: Minas Gerais (2011).

O método de análise adotado para a determinação dos VRQs presentes na tabela seguiu a Resolução nº 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa regulamentação federal define critérios para a qualidade de solo e estabelece padrões para a gestão ambiental de áreas contaminadas por substâncias resultantes de atividades antropogênicas (BRASIL, 2009). Para a determinação dos teores de metais, foram utilizadas 499 amostras de solos, coletadas no estado de Minas Gerais (FEAM, 2015b).

Cabe mencionar que os valores encontrados para as concentrações de metais nos solos de Minas Gerais se mostraram variáveis e mais elevadas quando comparados aos dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CASARINI; DIAS; LEMOS, 2001) e Fadigas et al. (2002), para o estado de São Paulo. Entretanto, de modo geral os valores obtidos foram inferiores à média mundial, exceto para vanádio, cobre e cromo, que foram mais elevados. Essas diferenças podem estar associadas aos métodos de análises adotados e, sobretudo, às características geológicas, principalmente no que se refere à região do QF, em Minas Gerais, onde ocorrem essencialmente rochas ácidas alcalinas, granito-gnáissicas, migmatíticas, sobrepostas por sucessões metassedimentares e vulcanoclásticas, muito diferentes dos solos desenvolvidos essencialmente sobre rochas basálticas no estado de São Paulo.

Relacionado aos valores de referência de Minas Gerais, foi realizado um estudo sobre geoquímica e variabilidade espacial das concentrações de metal nos solos do estado de Minas Gerais, que teve como um dos objetivos avaliar as suas concentrações naturais. Foram amostradas as camadas de solos de 0 a 20 cm, equivalente ao horizonte A para a maioria dos solos, para 697 amostras georreferenciadas (SOUZA et al., 2015). Com as amostras selecionadas, foram classificados 20 grupos de solo no estado de Minas Gerais. Para cada

grupo de solos, foram realizadas análises de estatísticas descritivas incluindo a média e o Coeficiente de Variação (CV) (em porcentagem). Na Tabela 26, estão apresentadas as propriedades do solo e, na Tabela 27, estão apresentadas as concentrações de metal (mg kg-1) extraídas por digestão ácida da camada superficial de solo (SOUZA et al., 2015)

As amostras de solo do estado de Minas Gerais demonstraram uma predominância de pH ácidos e valores baixos de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), demonstrando um cenário de degradação em relação ao clima tropical e úmido. Os baixos valores de fósforo extraível (P), da soma das bases (SB) e da concentração de matéria orgânica (MO) indicaram baixa fertilidade natural dos solos (SOUZA et al., 2015).

Tabela 26 – Estatística descritiva (mediana – coeficiente de variação em %) das propriedades do solo para o estado de Minas Gerais.

Tipos de solo	Quant.[1]	pH	P	SB[2]	CTC[3]	MO[4]	Argila[5]	Al	Fe	Mn
			mg dm^{-3}	cmolc kg^{-1}	cmolc kg^{-1}	%	%	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}
Argissolo amarelo	1	5,8	4,9	7,3	12,7	6,1	29,0	278	23,9	451
Argissolo vermelho	18	5,7–8	1,6–12	4,5–78	7,6–38	2,6–114	34,0–36	54,5–42	38,5–48	206–189
Argissolo vermelho-amarelo	54	5,5–13	1,8–187	3,4–96	8,2–40	3,2–81	33,5–45	46,5–58	35,4–72	207–129
Neossolo quartzarênico	17	5,3–10	2,0–91	0,3–70	3,8–79	1,0–130	12,2–83	11,2–86	7,5–97	34,4–195
Chernossolo háplico	1	6,4	1,3	13,0	16,5	4,7	40,0	28,7	37,0	690
Chernossolo ebânico	1	8,0	19,9	19,6	19,6	17,4	38,0	35,5	37,7	387
Cambissolo húmico	3	4,0–3	1,5–53	0,4–62	8,3–43	16,0–49	33,7–43	69,0–6	48,3–8	238–82
Cambissolo háplico	85	5,3–14	1,6–285	1,1–125	7,2–65	3,5–130	26,1–52	44,7–110	38,7–59	311–434
Neossolo flúvico	20	6,2–17	7,7–120	5,3–88	7,7–53	2,3–157	23,0–65	26,8–131	31,1–56	339–72
Latossolo amarelo	20	5,1–20	1,5–144	0,6–136	8,1–46	2,7–116	38,0–55	43,6–61	38,6–67	148–106
Latossolo Vermelho	228	5,3–13	1,8–215	1,1–143	8,3–49	3,5–117	49,5–50	79,2–73	42,6–77	200–217
Latossolo vermelho-amarelo	171	4,1–14	1,5–163	0,5–201	7,9–51	3,4–78	42,5–49	61,5–77	39,2–66	110–147
Gleissolo melânico	6	5,1–10	2,8–187	1,1–93	11,0–75	6,7–101	14,8–97	36,7–112	14,0–98	30,9–177
Gleissolo háplico	5	5,0–4	3,9–68	1,3–107	9,3–27	3,2–70	71,0–48	20,8–81	12,3–27	18,4–49
Neossolo litólico	52	5,4–12	2,4–112	1,3–113	7,5–56	3,9–73	22,0–59	49,6–123	25,6–110	385–180
Luvissolo háplico	2	4,3–2	0,5–16	0,3–141	7,5–33	2,5–57	43,5–57	53,1–54	29,6–50	60,3–32
Nitossolo háplico	9	5,2–14	2,2–51	3,2–8	10,1–24	3,5–106	41,5–31	46,5–51	47,0–41	261–79
Nitossolo vermelho	7	6,4–13	0,9–134	8,9–70	12,8–51	2,8–48	39,0–32	35,7–37	33,7–70	609–58
Neossolo regolítico	6	5,6–20	1,0–45	1,5–70	5,6–7	2,0–18	16,0–89	55,4–75	34,5–50	461–69
Planossolo háplico	4	4,6–9	1,2–73	0,1–186	6,3–27	2,6–66	48,5–38	53,4–47	40,9–68	43,3–111
Todos os solos	697	5,3–14	1,7–226	1,1–142	7,9–53	3,3–112	34,0–56	57,1–90	38,0–81	189–433

Nota: [1] Quant. – quantidade de amostras; [2] SB – soma das bases; [3] CTC – capacidade de troca de catiônica; [4] MO - matéria orgânica total do solo; [5] Teor de argila.
Fonte: Souza et al. (2015).

Tabela 27 – Estatística descritiva (mediana – coeficiente de variação %) das concentrações de metal em mg/kg para o estado de Minas Gerais.

Tipos de solo	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Argissolo amarelo	3,6	8,4	178,6	1,4	3,8	14,0	48,0	0,2	0,5	5,3	36,5	18,1	23,1	30,7
Argissolo vermelho	1,4–163	8,9–67	43,9–125	0,7–194	6,9–91	92,0–62	23,4–72	0,1–134	<LPQ	24,4–61	14,9–58	7,9–87	60,4–66	36,6–52
Argissolo vermelho-amarelo	2,1–207	8,0–75	85,7–112	1,4–114	7,5–97	56,4–100	34,2–89	<LPQ	9,0–15,9	17,6–90	21,8–60	8,2–268	65,1–75	36,7–61
Neossolo quartzarênico	0,8–107	1,2–133	6,8–176	0,6–89	0,8–290	25,0–78	14,3–84	<LPQ	<LPQ	7,4–83	4,7–115	0,9–157	16,9–90	7,8–136
Chernossolo háplico	6,5	5,4	95,0	2,0	16,8	62,1	51,0	0,2	23,1	31,7	15,8	62,4	41,1	<LPQ
Chernossolo ebânico	5,2	12,7	81,2	1,7	7,4	56,8	44,4	0,2	20,1	23,6	72,6	57,5	42,6	<LPQ
Cambissolo húmico	1,7–148	13,3–76	36,4–48	<LPQ[1]	5,3–52	203–24	34,3–11	0,3–115	<LPQ	54,2–7	8,4–120	3,7–74	106–32	46,5–52
Cambissolo háplico	5,0–291	7,3–91,7	80,9–148	0,8–132	6,1–140	67,0–177	37,1–92	<LPQ	5,6–44,6	23,1–154	16,7–111	6,1–113	74,1–74	45,6–71
Neossolo flúvico	2,3–189	6,5–86	103–60	1,3–71	7,0–68	43,2–90	29,9–51	<LPQ	<LPQ	16,3–69	12,4–91	13,4–154	51,3–63	44,3–90
Latossolo amarelo	3,8–173	6,8–74	42,6–170	1,2–82	2,3–140	56,9–71	29,1–129	0,1–208	7,5–120,3	12,6–86	14,1–75	8,4–136	74,3–63	29,2–97
Latossolo vermelho	5,4–430	10,1–76	50,4–319	1,5–155	4,6–162	108–154	39,0–106	0,1–343	9,0–21,5	21,7–155	17,9–94	6,3–331	168–76	40,3–87
Latossolo vermelho-amarelo	2,5–400	8,9–68	32,7–132	0,7–292	3,1–146	58,2–91	22,5–86	0,1–138	10,6–33,4	13,3–96	14,2–83	6,2–164	79,9–74	29,1–62
Gleissolo melânico	0,3–123	2,2–57	44,0–112	<LPQ	1,0–200	40,3–78	16,4–102	<LPQ	<LPQ	11,1–137	5,6–132	4,3–70	41,6–102	17,9–89
Gleissolo háplico	0,6-83	3,2–21	24,5–78,2	<LPQ	<LPQ	74,0–47	26,8–70	<LPQ	<LPQ	10,4–68	9,9–128	1,9–68	25,8–91	12,3–73
Neossolo litólico	5,6–199	7,9–92	55,9–98,1	<LPQ	6,3–150	50,2–200	29,4–83	<LPQ	<LPQ	17,5–205	<LPQ	6,2–87	53,7–125	53,0–65
Luvissolo háplico	5,3–59	5,0–47	29,8–83,4	1,3–33	1,8–84	24,1–8	23,3–27	<LPQ	1,8–53,8	5,4–74	7,8–61	12,5–93	52,5–44	13,5–41
Nitossolo háplico	3,5–87	7,1–81	44,5–124,3	1,6–90	5,3–95	64,0–79	34,7–58	<LPQ	<LPQ	15,8–68	28,5–51	7,9–104	100–37	30,3–71
Nitossolo vermelho	1,5–129	10,3–65	122–35,2	1,8–118	14,7–74	57,6–96	37,6–94	<LPQ	<LPQ	25,6–111	16,5–29	16,5–47	66,4–86	63,9–40
Neossolo regolítico	14,9–63	10,5–40	115–104,1	<LPQ	12,1–88	97,8–48	37,6–77	0,1–112	<LPQ	30,0–54	27,3–73	9,2–185	85,1–36	43,8–56
Planossolo háplico	3,0–44	7,9–50	12,3–165,3	1,3–69	1,1–125	50,4–18	35,4–55	<LPQ	<LPQ	5,4–97	10,6–77	2,4–126	67,6–12	23,2–67
Todos os solos	17,3–389	8,1–80	51,6–268	1,4–203	4,6–160	72,8–166	31,7–114	0,1–529	8,3–31	17,8–162	16,1–94	6,6–312	82,7–96	35,1–83

Nota: [1] LPQ – limite prático de quantificação.

Fonte: Souza et al. (2015).

As maiores concentrações medianas de metais pesados (Tabela 27) ocorreram nos solos do tipo nitossolo vermelho, cambissolo háplico e latossolo vermelho, sendo que as maiores variações do CV foram nessas últimas duas classes. As menores concentrações de metal foram medidas nos neossolos quartzarênicos, gleissolos e luvissolos háplicos, com exceção dos luvissolos, foi verificada também uma menor variaçãono CV (SOUZA et al., 2015).

Os autores Souza et al. (2015) realizaram uma correlação entre os grupos de solos com as suas propriedades. Foi encontrada uma correlação positiva entre a concentração de ferro (Fe), a matéria orgânica (MO), a argila, relação Fe/argila, a MO/argila e a soma de bases (SB). Entretanto, quando analisados todos os grupos de solos juntos e correlacionados com a concentração de metais, não foram obtidas correlações fortes (> 0,5). Esse resultado foi atribuído à heterogeneidade da concentração dos metais em todo o estado de Minas Gerais, evidenciado pelo alto valor do coeficiente de variação (Tabela 27) (SOUZA et al., 2015).

Os resultados apresentados por Souza et al. (2015) demonstraram que existe uma certa variabilidade espacial da concentração de metais e das propriedades dos solos ao longo de todo estado de Minas Gerais e que esta é influenciada pelo MO e outros fatores de formação do solo em diferentes níveis. Devido a tais fatores, esses autores sugeriram a realização de uma regionalização dos VRQs em vez de utilizá-los como valor único de cada um dos metais para todo o estado de Minas Gerais (SOUZA et al., 2015).

A partir dos mapas de metais pesados elaborados por Souza et al. (2015) e disponibilizados no *site* do Banco de Solos de Minas Gerais[2], estes foram recortados para a área da bacia do rio Doce e são apresentados a seguir.

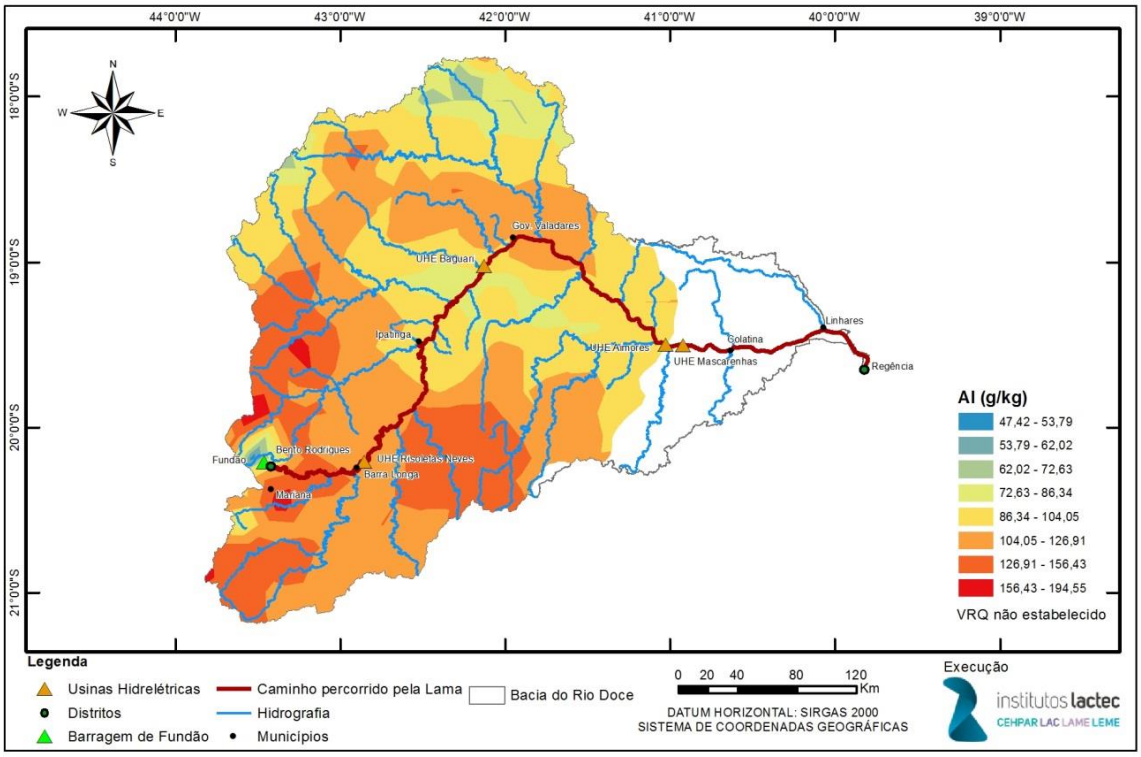
De acordo com esses dados, verifica-se que a distribuição de alguns teores de metais, como alumínio (Al), arsênio (As), boro (b), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e manganês (mg), ocorre de forma mais elevada na região do QF devido, sobretudo, às formações ferríferas bandadas, naturalmente ricas nesses elementos.

A distribuição do teor de alumínio (Al) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção sudoeste da bacia, próximo à cidade de Mariana, e também ao longo do rio Matipó. Na bacia ocorrem variações de Al de 47,42 a 194,55 g/kg de solo (Figura 93).

A distribuição do teor de arsênio (As) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção sudoeste, na região do QF, e nas cabeceiras dos rios Piracicaba, Gualaxo do Norte e do Carmo, estando essa área acima do VRQ de 8 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de As de 0,61 a 51,93 mg/kg de solo (Figura 94).

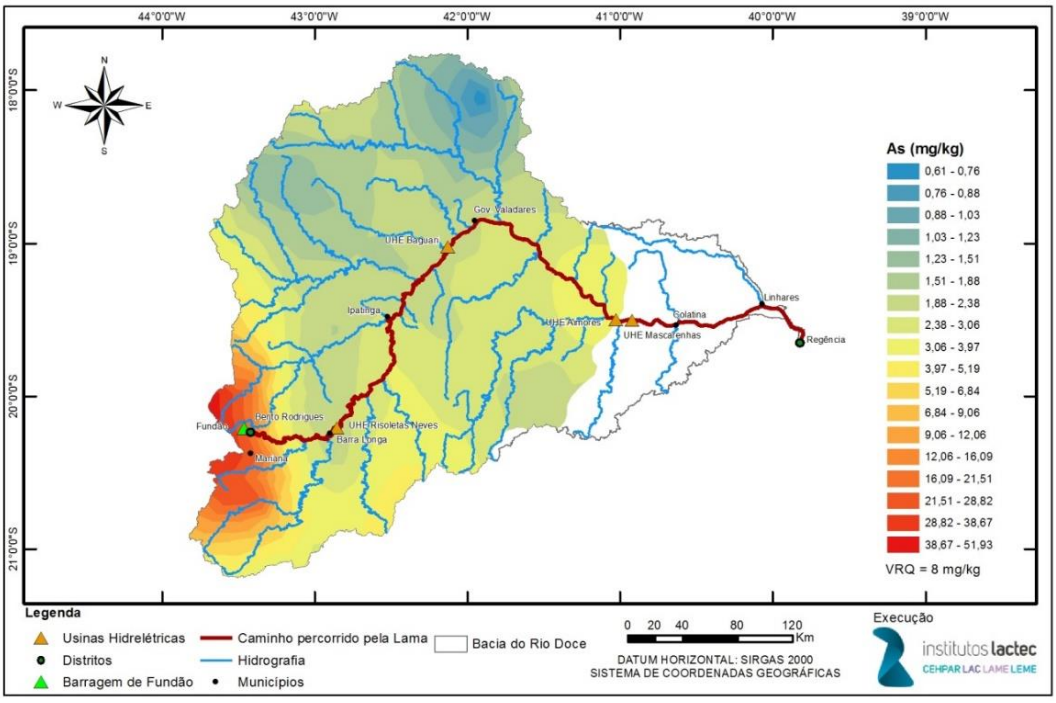
[2] http://www.bancodesolosdeminasgerais.org

Figura 93 – Teores de alumínio (Al) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 94 – Teores de arsênio (As) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

A distribuição do teor de boro (B) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção central. Na bacia ocorrem variações de B de 3,48 a 19,23 mg/kg de solo (Figura 95), ocorrendo na grande maioria das áreas valores acima do VRQ de 11,5 mg/kg definidos para o estado de Minas Gerais.

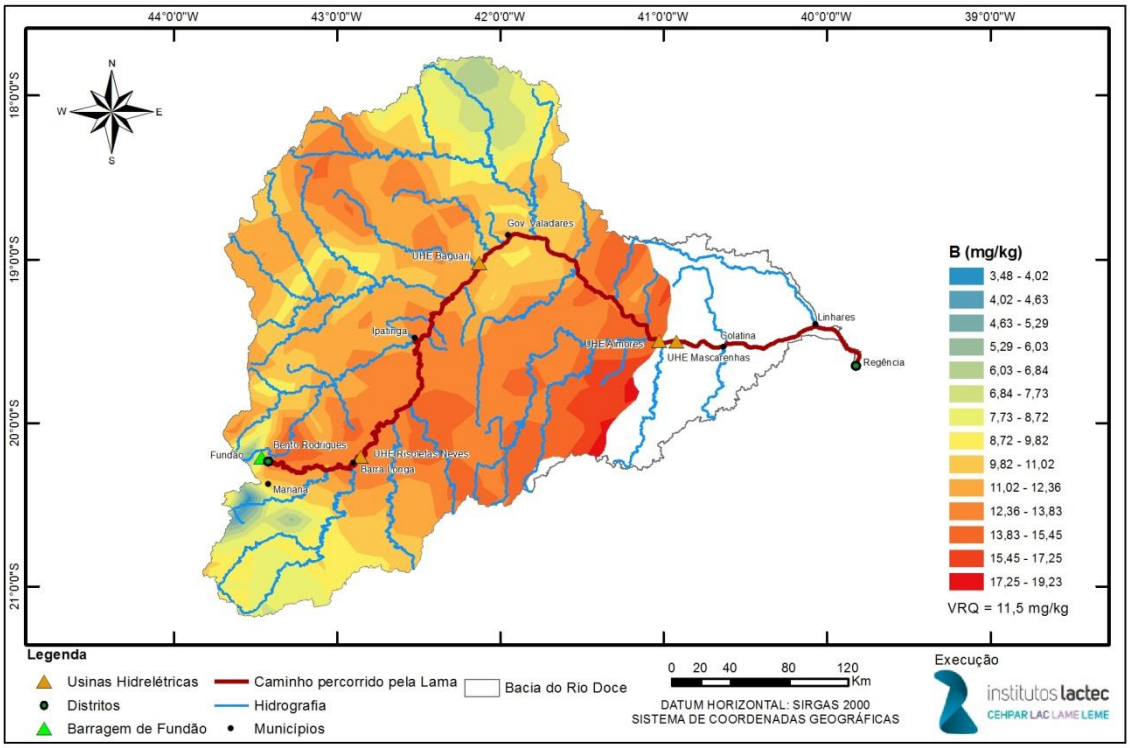
A distribuição do teor de bário (Ba) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção centro-norte da bacia, próximo à cidade de Governador Valadares, estando esta área acima do VRQ de 93 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Ba de 15,47 a 185,79 mg/kg de solo (Figura 96).

A distribuição do teor de cádmio (Cd) na bacia do rio Doce é mais elevada próximo à UHE Risoleta Neves, e também no limite na área da bacia a nordeste de Governador Valadares. Na bacia ocorrem variações de Cd de 0,59 a 3,96 mg/kg de solo (Figura 97). De acordo com esses valores, toda a área da bacia apresenta teores acima do VRQ de 0,4 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais.

A distribuição do teor de cobalto (Co) na bacia do rio Doce é elevada em toda a bacia, predominando valores acima do VRQ de 6 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Co de 1,69 a 18,64 mg/kg de solo (Figura 98).

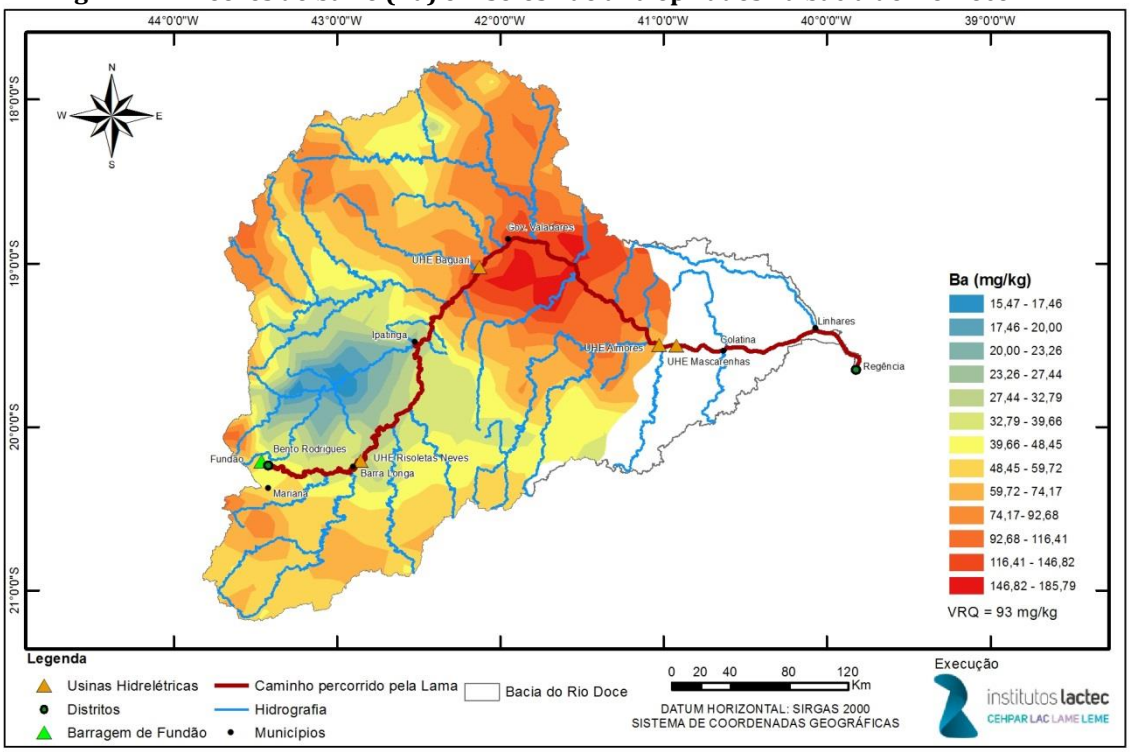
A distribuição do teor de cromo (Cr) na bacia do rio Doce é mais elevada desde as nascentes do rio Doce até a cidade de Governador Valadares, estando essa área acima do VRQ de 75 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Cr de 32,47 a 247,74 mg/kg de solo (Figura 99).

Figura 95 – Teores de boro (B) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



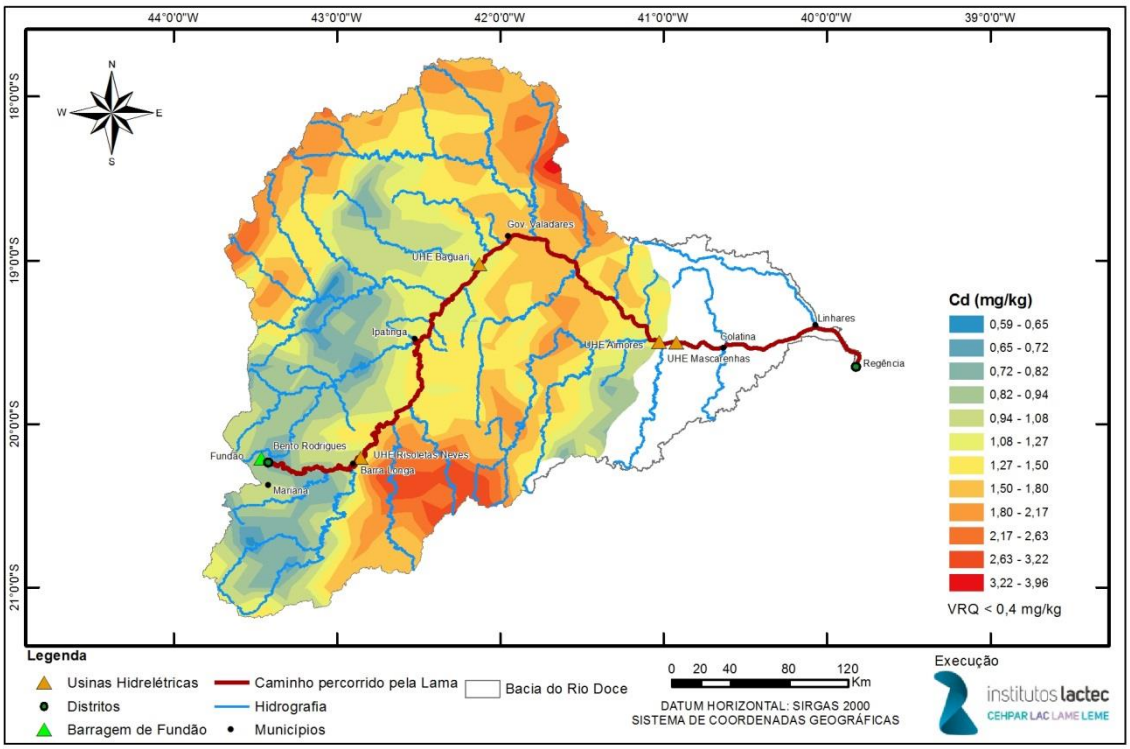
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 96 – Teores de bário (Ba) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



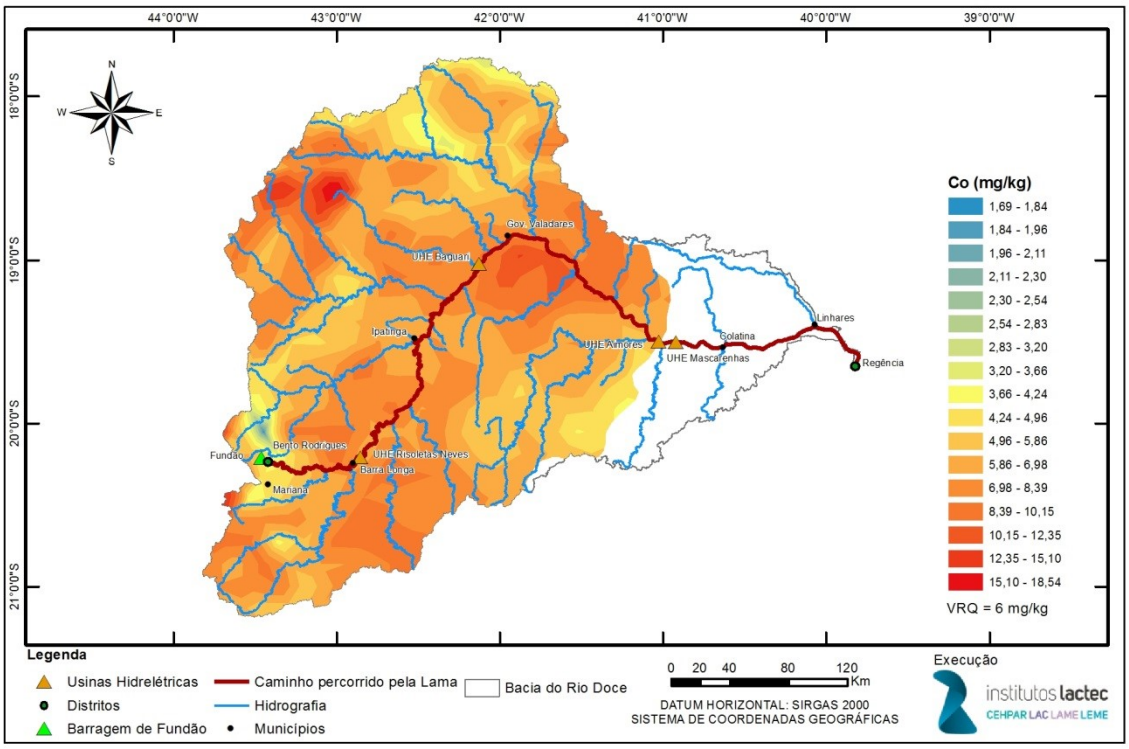
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 97 – Teores de cádmio (Cd) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



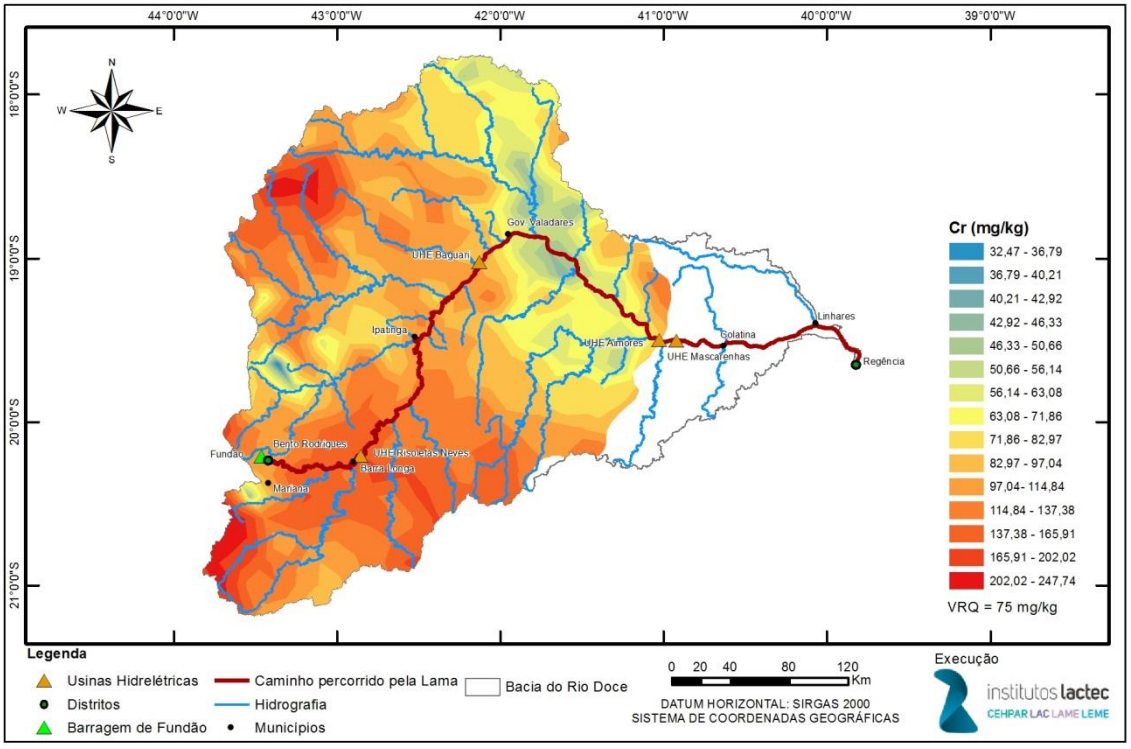
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 98 – Teores de cobalto (Co) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 99 – Teores de cromo (Cr) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

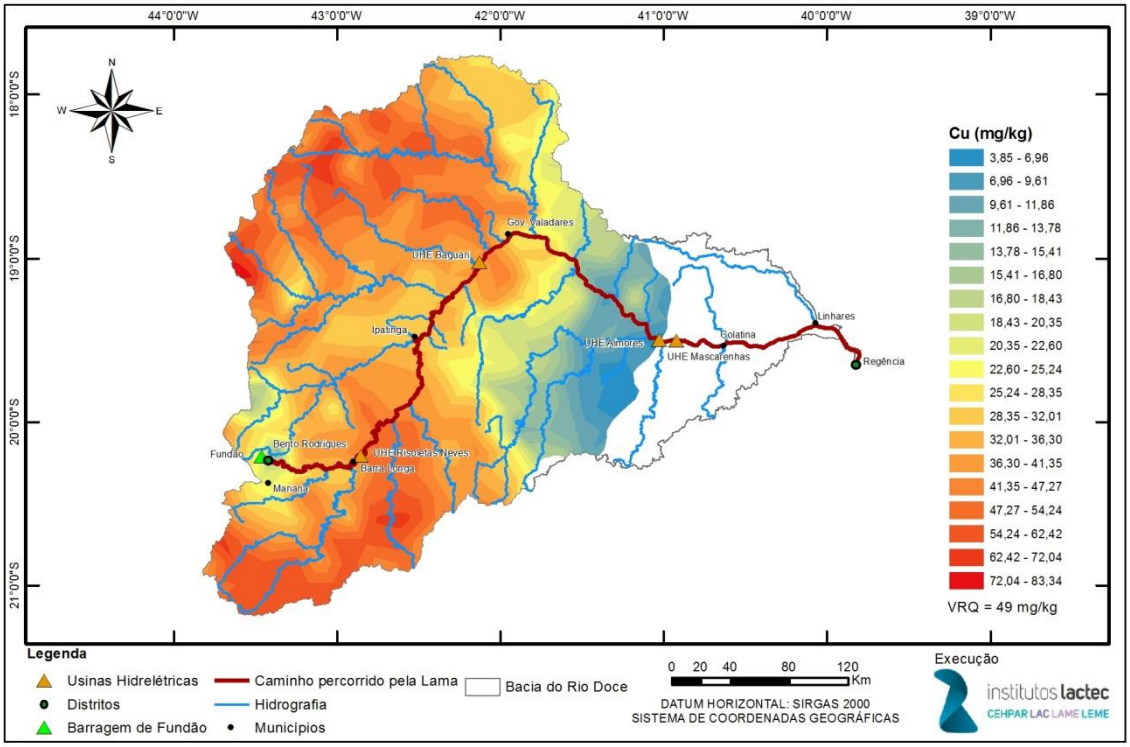
A distribuição do teor de cobre (Cu) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção noroeste e sudoeste da bacia, estando essa área acima do VRQ de 49 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Cu de 3,85 a 83,34 mg/kg de solo (Figura 100).

A distribuição do teor de ferro (Fe) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção noroeste e sudoeste da bacia. Na bacia ocorrem variações de Fe de 18,76 a 101,71 g/kg de solo (Figura 101). Ao contrário do esperado, os teores de ferro em solos no QF apresentam-se significativamente baixos, podendo estar associado à amostragem de solo em áreas não antropizadas, ao método empregado na interpolação dos dados, entre outros.

A distribuição do teor de mercúrio (Hg) na bacia do rio Doce ocorre de forma elevada em toda a área da bacia, estando esta acima do VRQ de 0,05 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Hg de 0,01 a 5 mg/kg de solo (Figura 102).

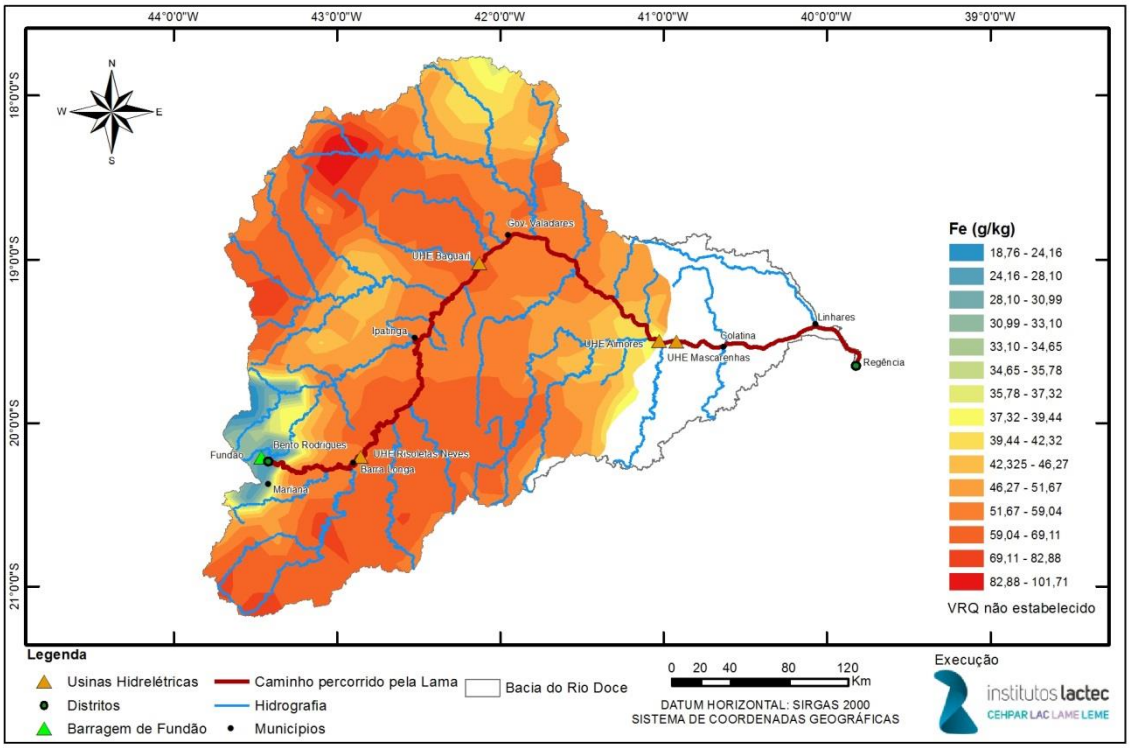
A distribuição do teor de manganês (Mn) na bacia do rio Doce é mais elevada no centro da bacia, nas proximidades da UHE Baguari. Na bacia ocorrem variações de Mn de 89,61 a 742,23 mg/kg de solo (Figura 103).

Figura 100 – Teores de cobre (Cu) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



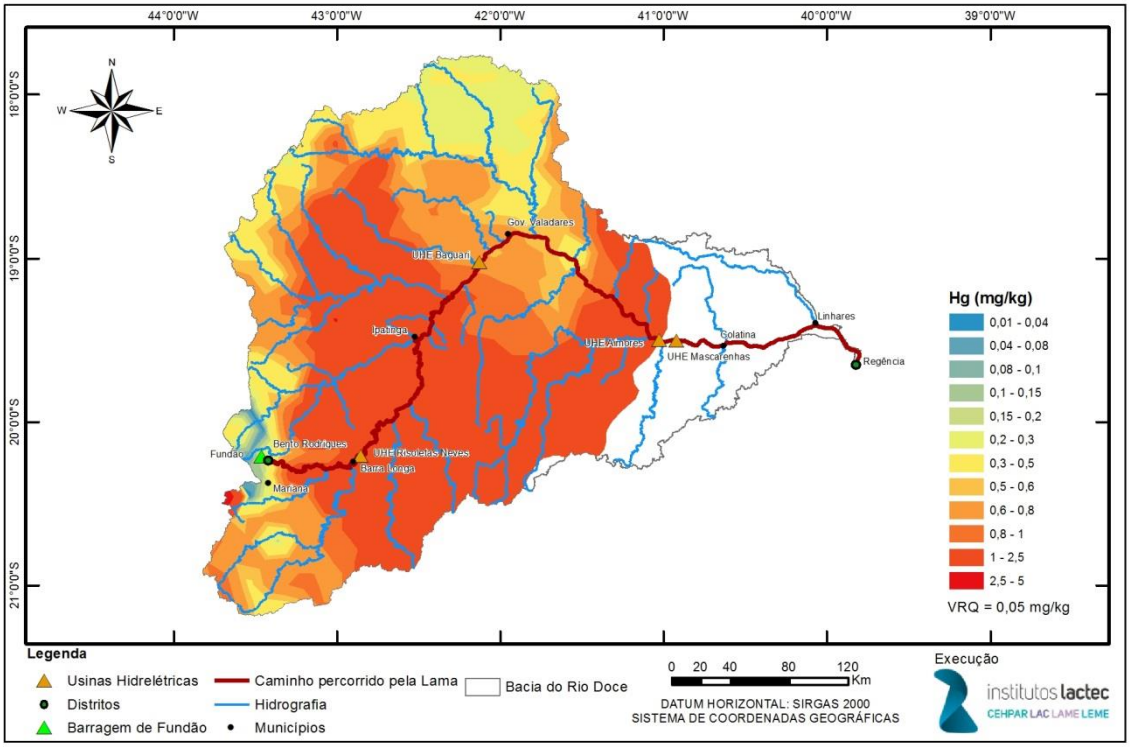
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 101 – Teores de ferro (Fe) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



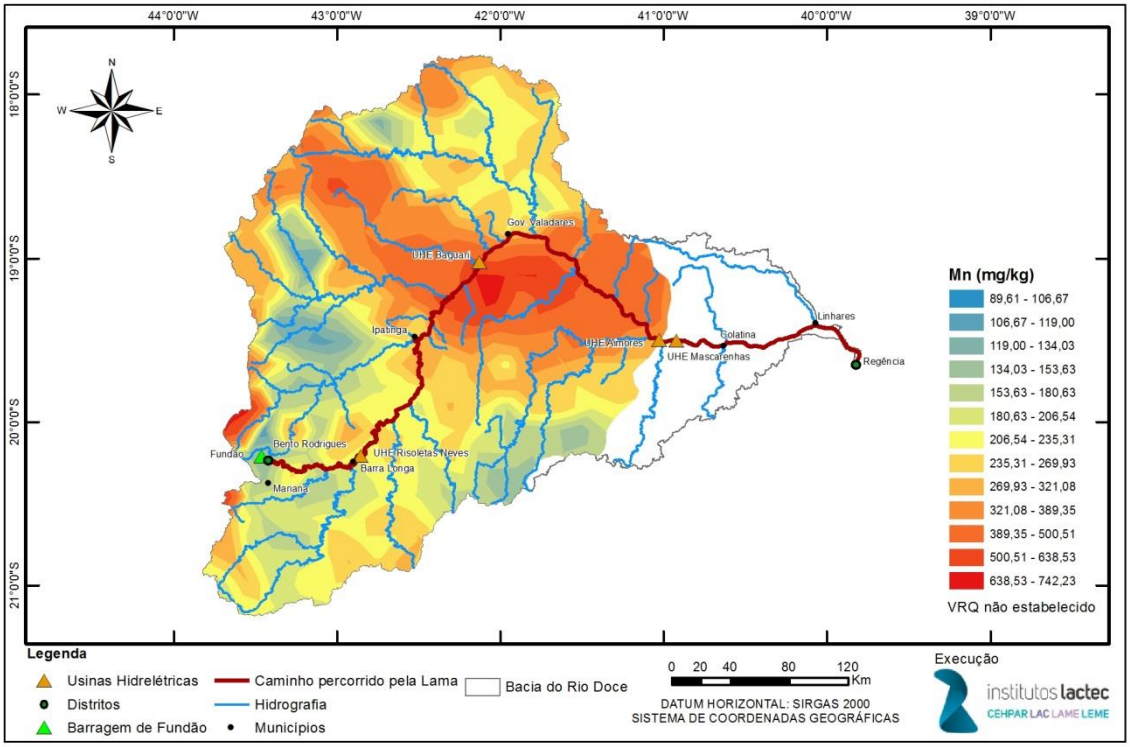
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 102 – Teores de mercúrio (Hg) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 103 – Teores de manganês (Mn) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

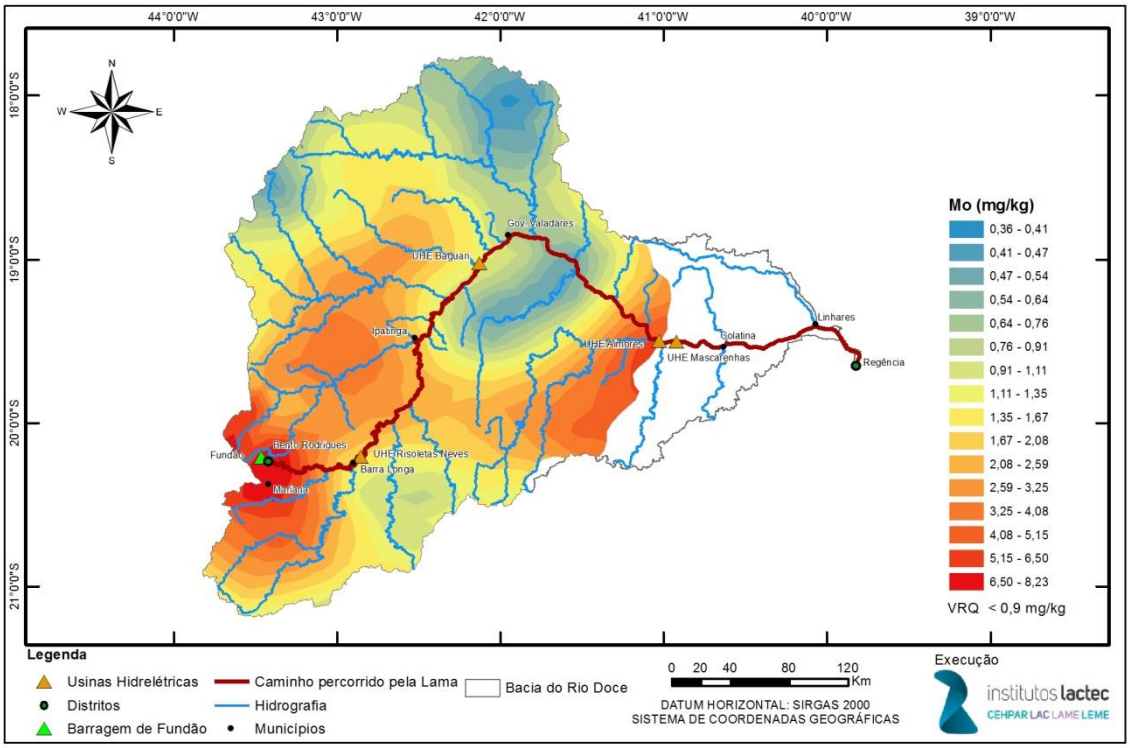
A distribuição do teor de molibdênio (Mo) na bacia do rio Doce é mais elevada no QF, entre as cidades de Mariana e Bento Rodrigues, e também junto à divisa de estado de Minas Gerais e Espírito Santo, nas proximidades da UHE Aimorés. Destaca-se que a maior parte da bacia está acima do VRQ de 0,9 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Mo de 0,36 a 8,23 mg/kg de solo (Figura 104).

A distribuição do teor de níquel (Ni) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção noroeste e sudoeste da bacia, estando toda a porção do alto curso do rio Doce acima do VRQ de 21,5 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Ni de 6,82 a 95,06 mg/kg de solo (Figura 105).

A distribuição do teor de chumbo (Pb) na bacia do rio Doce é mais elevada na proximidade de Mariana e Governador Valadares, e também na porção noroeste da bacia, estando toda essa área acima do VRQ de 19,5 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Pb de 4,16 a 25,85 mg/kg de solo (Figura 106).

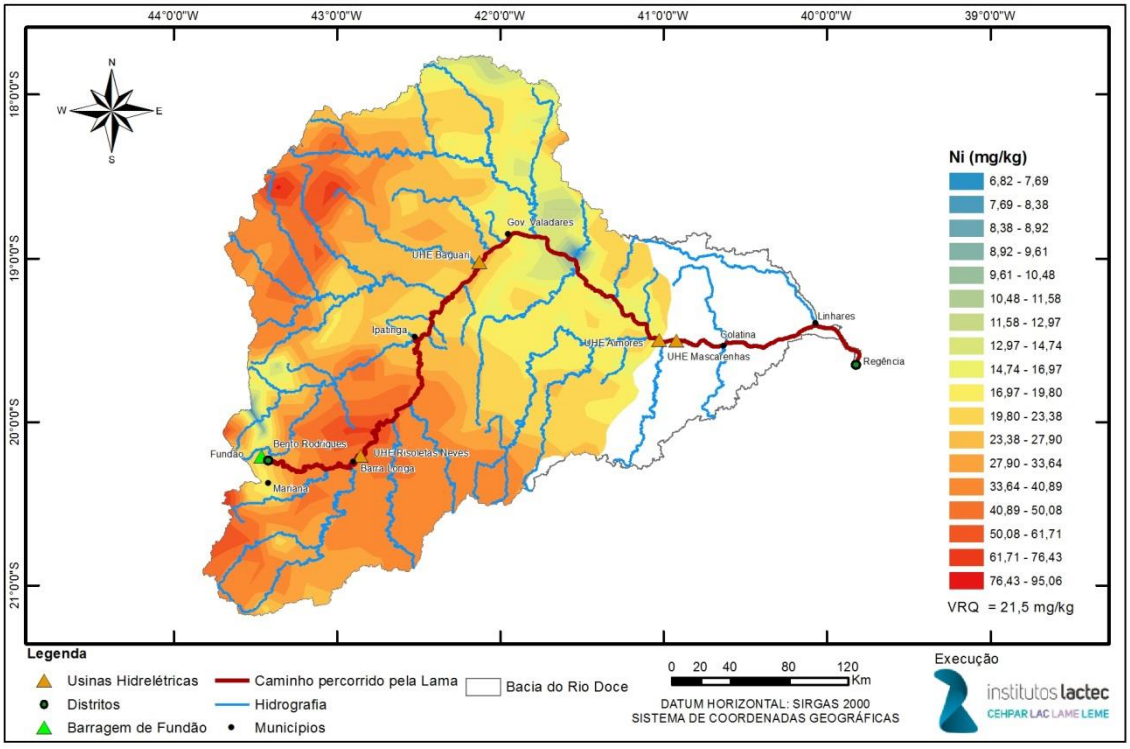
A distribuição do teor de estrôncio (Sr) na bacia do rio Doce é mais elevada na proximidade da cidade de Governador Valadares. Na bacia ocorrem variações de Sr de 0,02 a 35,27 mg/kg de solo (Figura 107).

Figura 104 – Teores de molibdênio (Mo) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



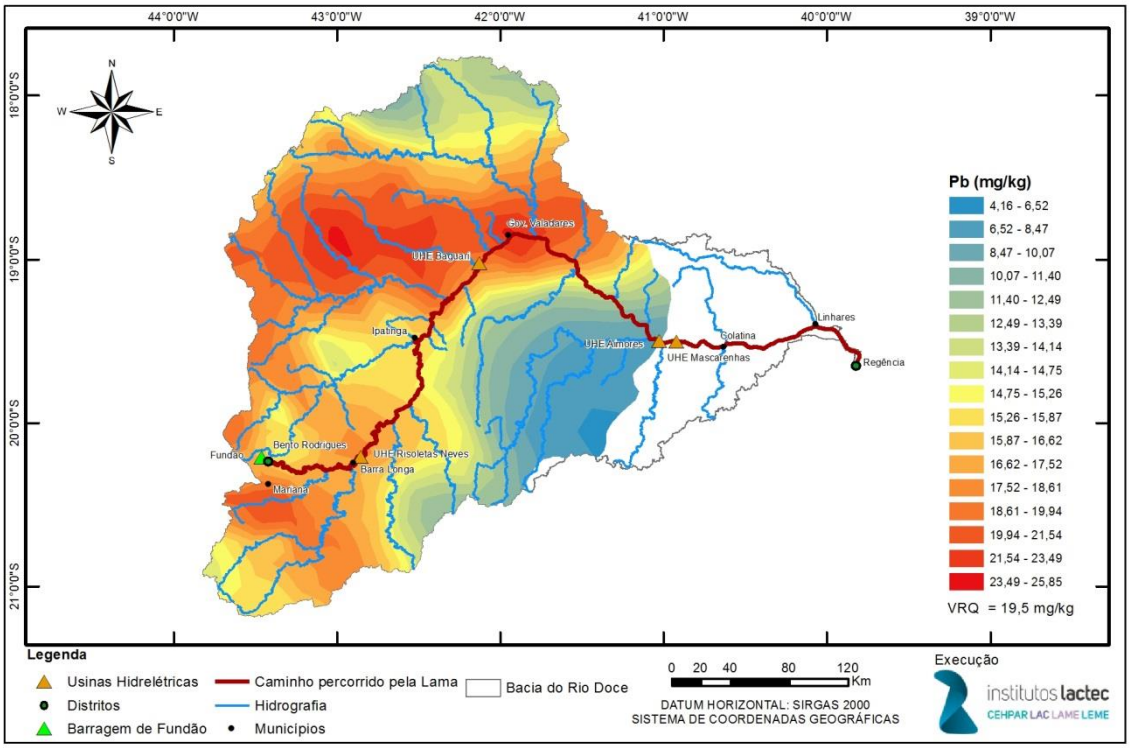
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 105 – Teores de níquel (Ni) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



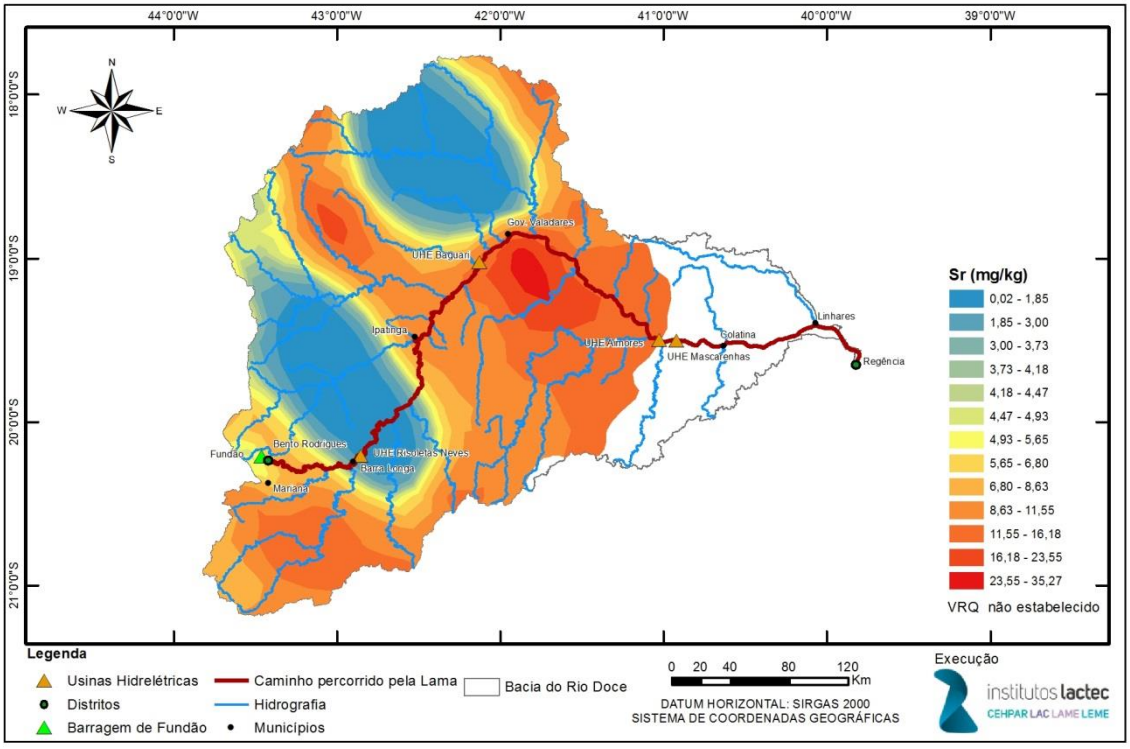
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 106 – Teores de chumbo (Pb) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



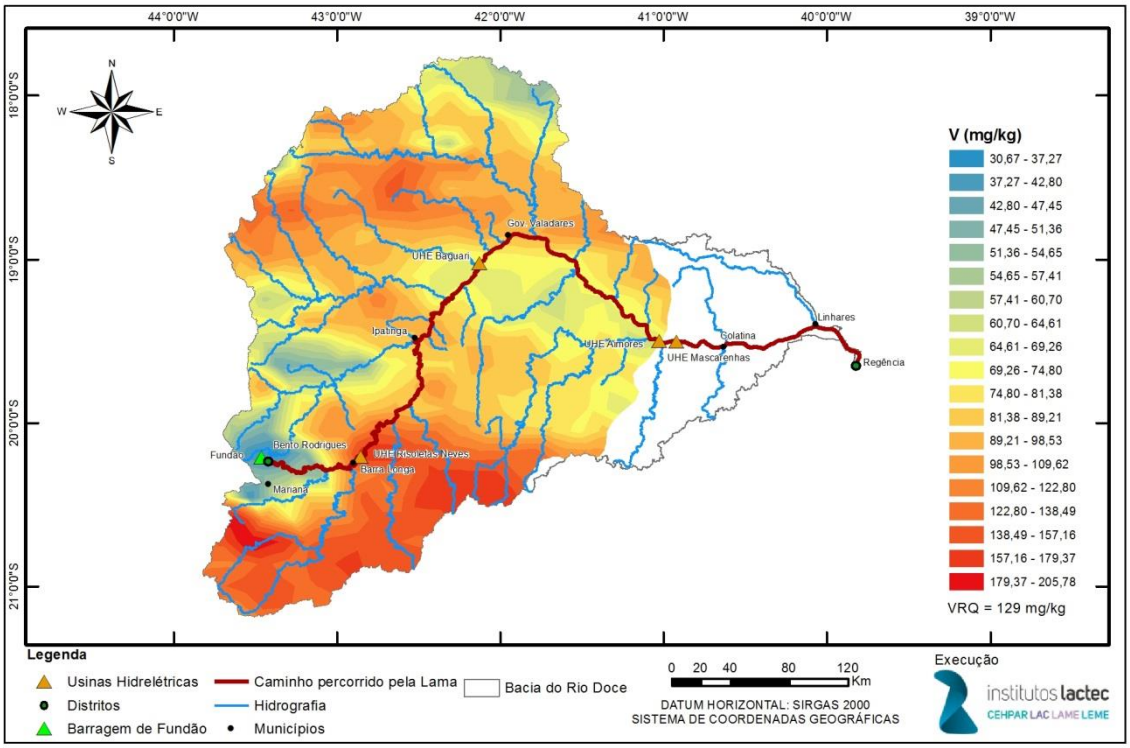
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 107 – Teores de estrôncio (Sr) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



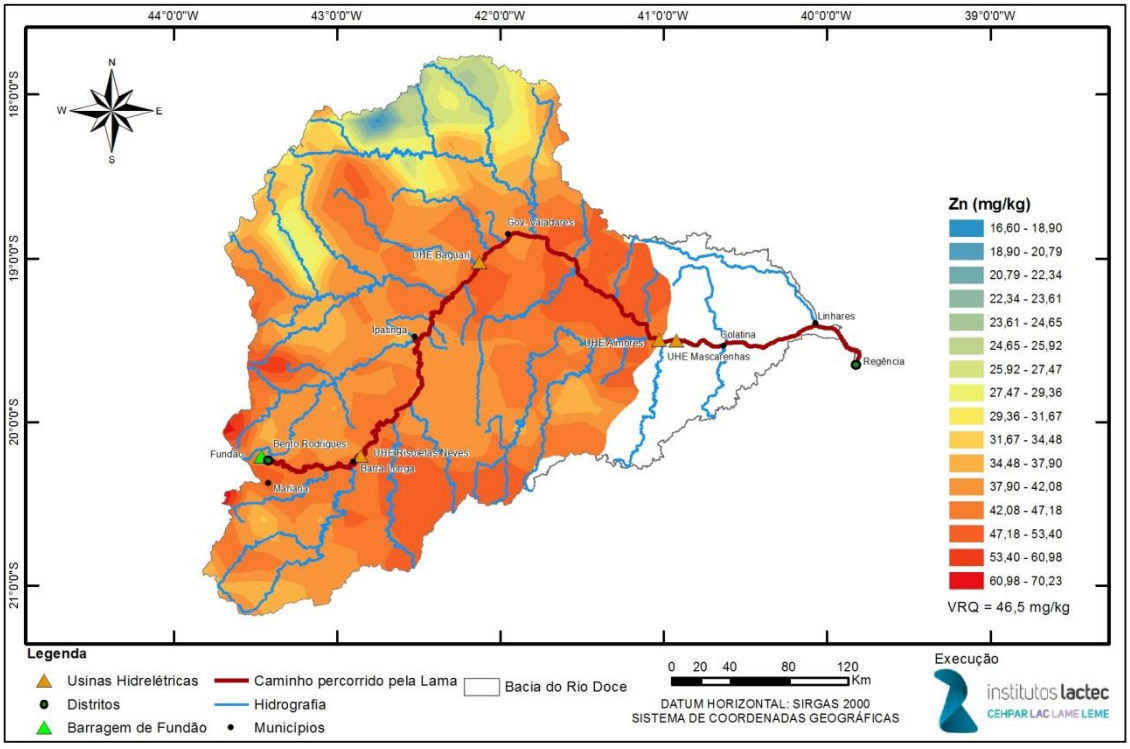
Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 108 – Teores de vanádio (V) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

Figura 109 – Teores de zinco (Zn) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

A distribuição do teor de vanádio (V) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção sul, sudoeste e noroeste, estando toda essa área acima do VRQ de 129 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de V de 30,67 a 205,78 mg/kg de solo (Figura 108).

A distribuição do teor de zinco (Zn) na bacia do rio Doce é mais elevada na porção sul, e nordeste, estando toda essa área acima do VRQ de 46,5 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorrem variações de Zn de 16,60 a 70,23 mg/kg de solo (Figura 109).

Os resultados apresentados para a bacia do rio Doce demonstram que existe uma variabilidade espacial dos teores de metais em solos não antropizados (SOUZA et al., 2015). Ocorreram para a maioria dos elementos analisados (As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sr, V e Zn) valores elevados em comparação com o VRQ existente para o estado de Minas Gerais (2011). Esse comportamento foi mais evidente para mercúrio e cobalto, que ficaram praticamente toda a área da bacia do rio Doce acima do VRQ de solo, indicando uma possível contaminação ambiental, fato que não é verdadeira tal afirmação, uma vez que todas as coletadas foram realizadas em áreas não antropizadas, sendo estas realizadas em áreas de vegetação nativa. Essas coletas foram idealizadas com o propósito de abranger toda a área do estado de Minas Gerais, de forma a balizar os valores existentes de metais pesados no solo e orientar um possível processo de contaminação ou poluição do solo. Entretanto, esses levantamentos estão limitados a uma escala de trabalho que não é condizente a um nível de detalhamento mais específico e que exige mais informações locais e específicas tanto para a bacia rio Doce quanto para a área afetada preliminar. Necessitando por tanto que sejam levantados pontos em solos não antropizados compatíveis com a escala de trabalho, de forma a representar a variação local em relação ao material de origem, formações geológicas existentes e representar a variação natural dos tipos de solo. Com isso, faz-se necessário a determinação de valores de referência condizentes com a área afetada.

Ressalta-se ainda que os valores apresentados de metais pesados (MINAS GERAIS, 2011; SOUZA et al., 2015) são teores totais e não necessariamente estariam totalmente disponíveis, necessitando por tanto avaliar para cada elemento a sua fração lábil e/ou disponível para o meio, seja para as plantas, água, sedimento.

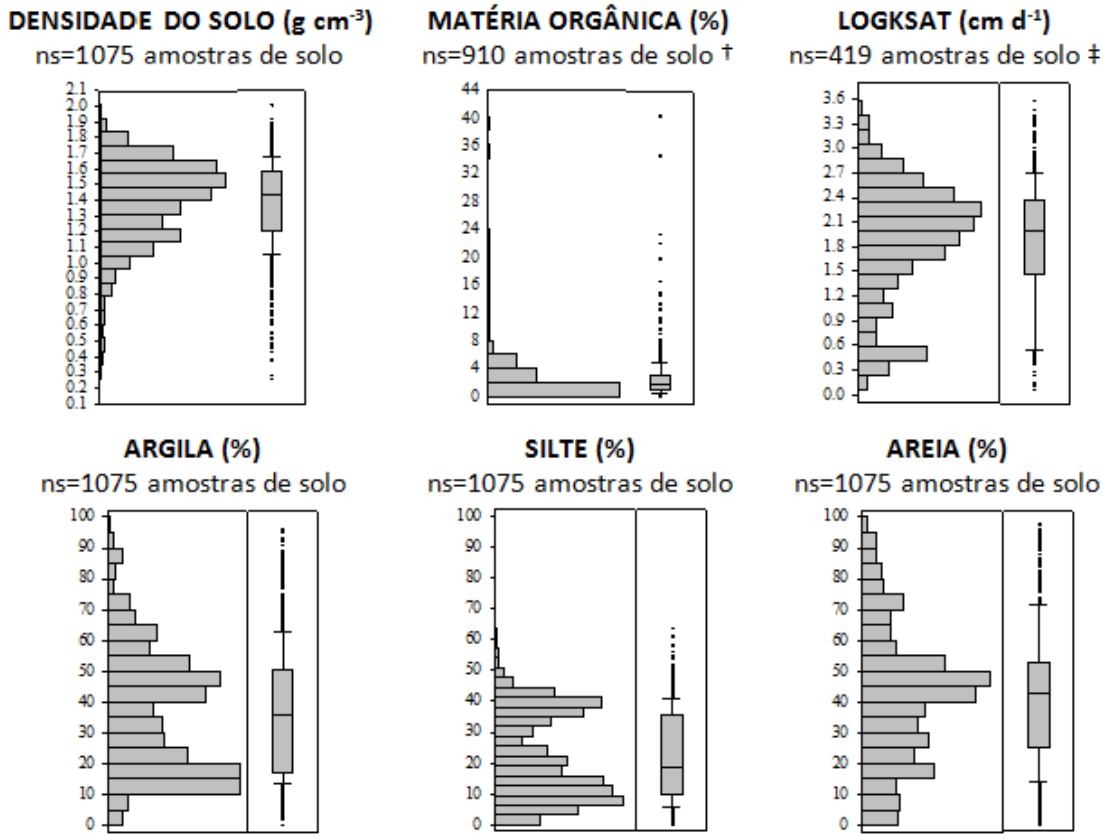
Todas as descrições da distribuição dos teores de metais pesados (SOUZA et al., 2015) referem-se apenas à área de abrangência do estado de Minas Gerais. Não foram encontradas informações sobre valores de referência de qualidade de solo para a área da bacia do rio Doce localizada na porção de domínio do estado do Espírito Santo.

3.3.6 Propriedades físicas do solo

Em relação às propriedades físicas do solo, estas foram obtidas junto ao banco de dados hidrofísico de solos no Brasil (HYBRAS), o qual foi elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com suporte da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), conforme Ottoni et al. (2017). Foram selecionadas 1.075 amostras de solo, as quais abrangem 15 estados brasileiros das 26 unidades federativas. A maioria das amostras está localizada nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro. Essas amostras abrangem predominantemente os solos do tipo latossolo (355 amostras), argissolos (209 amostras) e nitossolos (108 amostras).

Foi analisada por Ottoni et al. (2017) a distribuição das amostras de solo de todo o Brasil por meio do *boxplot* para densidade aparente, teor de matéria orgânica, condutividade hidráulica saturada e as frações granulométricas do solo. Os dados são apresentados na Figura 110. Para um melhor entendimento do *boxplot*, vide o item 3.8 de qualidade da água.

Figura 110 – Distribuição das propriedades físico-hídricas dos solos do HYBRAS.



Nota: a linha interna no retângulo representado no *boxplot* indica o valor mediano, e seus extremos inferiores e superiores são os quartis de 25 e 75%, respectivamente. As barras extremas indicam os valores atípicos. Além desses limites, estão os *outliers*, na figura representados por pontos. †As percentagens de carbono orgânico foram convertidas para de matéria orgânica pelo uso do fator multiplicativo 1.724 para 161 amostras. NS – número de amostras. ‡ Seis amostras não representadas contêm valores de ksat=0 cm d-1.

Fonte: Ottoni et al. (2017).

Conforme as amostras analisadas por Ottoni et al. (2017), a densidade aparente dos solos analisados é de, aproximadamente, 1,44 g/cm^3, sendo que o teor encontrado de matéria orgânica no solo é de, aproximadamente, 1,8%, a condutividade hidráulica saturada do solo (LogKat) é normalmente de 2,0 cm/dia e a predominância nas frações granulométricas de 43% de areia e 36% de argila.

Cabe ressaltar que esses ensaios indicam uma variação amostral para todo o território brasileiro e, portanto, contemplam uma extensa amplitude de valores passíveis de serem utilizados na bacia do rio Doce.

Os resultados apresentados para composição da linha-base da parte de solos são preliminares. Essas informações poderão ser alteradas devido à obtenção de novas informações bibliográficas e também em relação à realização de campanhas de campo para

coleta de análise de solo para determinação de metais, nutrientes, e análises físicas de densidade e permeabilidade para determinar o *background* natural do solo. Ressalta-se a importância na determinação de VRQs do solo compatível com a escala a ser analisada no contexto do desastre, com a determinação de pontos de amostragem que satisfaçam tanto o material de origem existente na área afetada quanto os diferentes tipos de solo existentes.

3.3.7 Considerações finais

Na bacia do rio Doce ocorrem, principalmente, os solos do tipo latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho e latossolo vermelho, correspondendo a 50, 14 e 13% de representatividade da área total da bacia, respectivamente.

Na área afetada preliminar predominam os solos do tipo cambissolos háplicos, argissolos vermelho-amarelos com 33,5% e 13,5% de predominância.

O principal uso da bacia do rio Doce corresponde à pastagem, com 62 % da área da bacia. A vegetação nativa ainda recobre 30% do território, as áreas de reflorestamento são inferiores a 3% e as áreas agrícolas são inferiores a 1% da bacia do rio Doce. Na área afetada preliminar, a pastagem predomina em 44% do total dessa área e a vegetação nativa está presente em 16% da área total.

As amostras de solo do estado de Minas Gerais demonstraram uma predominância de pH ácidos e valores baixos de CTC. Os baixos valores de fósforo extraível (P), da soma das bases (SB) e da concentração de matéria orgânica (MO) indicaram baixa fertilidade natural dos solos.

Em relação aos teores naturais de metais pesados em solos, estes variam conforme o material de origem e os fatores de formação do solo.

Os teores naturais de metais pesados em solos da bacia do rio Doce possuem uma variação espacial.

Ocorreram para a maioria dos elementos analisados, como As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sr, V e Zn, valores elevados em comparação com o VRQ existente para o estado de Minas Gerais.

Os VRQs do solo para o estado de Minas Gerais não se aplicam à bacia do rio Doce e tão pouco à área afetada preliminar devido à falta de representatividade dos tipos de material de origem e dos tipos de solo existentes nessa área.

Há uma necessidade de determinar os VRQs local para a área afetada preliminar de forma a caracterizar o *background* natural do solo a uma escala compatível com desastre.

As amostras do banco de dados hidrofísico de solos no Brasil demonstraram que a densidade aparente dos solos analisados é de, aproximadamente, 1,44 g/cm^3, o teor encontrado de matéria orgânica no solo é de, aproximadamente, 1,8%, a condutividade hidráulica saturada do solo é normalmente de 2,0 cm/dia e predominam as frações granulométricas de 43% de areia e 36% de argila.

3.4 Clima

O clima de determinado local é definido pela média das condições do tempo ao longo de um período relativamente extenso (CAVALCANTI et al., 2009). Os elementos constitutivos do clima são três: a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, que interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Todavia, esses elementos, em suas diferentes manifestações, variam no espaço e no tempo pela influência dos fatores geográficos do clima, quais sejam: latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, vegetação e atividades humanas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O macroclima de Minas Gerais se caracteriza por uma sazonalidade responsável por duas estações distintas e bem definidas, um verão úmido e quente e um inverno seco e ameno, bem como outras duas de transição, o outono e a primavera (CUPOLILLO, 2008).

Por ser uma região montanhosa, a bacia do rio Doce apresenta um clima condicionado pela topografia, a qual interfere nas variações de temperaturas fazendo com que estas variem de muito baixas a elevadas ao longo do ano ou, ainda, sejam quase nulas nas áreas sob influência de maresia. Além disso, pela região estar relativamente perto do Atlântico, as massas de ar originadas no oceano têm forte influência no clima, como as massas de ar Tropical Atlântica (MTA) e Polar Atlântica (MPA), além da Equatorial Continental (MEC), caracterizada pelas correntes de oeste. A MEC atua na primavera e no verão, causando altas temperaturas médias anuais (CUPOLILLO; ABREU; VIANELLO, 2008).

Desse modo, segundo a classificação climática de Köppen, identificam-se basicamente três tipos climáticos na região: tropical de altitude com verões frescos e chuvosos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; tropical de altitude com verões quentes e chuvosos, presente nas nascentes de seus afluentes; e clima quente com chuvas de verão, presente nos trechos médio e baixo do rio Doce e de seus afluentes. De modo geral, as temperaturas são elevadas a maior parte do tempo na bacia, com exceção das regiões altas. As temperaturas médias da região variam entre 18 e 24,6 °C (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; CBH-DOCE, 2014).

O regime pluviométrico se caracteriza por dois acentuados períodos distintos: o período chuvoso, que se estende de outubro a março, com índices pluviométricos maiores em dezembro; e o período seco, que vai de abril a setembro, com estiagem mais acentuada de junho a agosto. Durante o período chuvoso, as médias pluviométricas variam entre 800 a 1.300 mm. No período seco, essa variação fica entre 150 a 250 mm. Observa-se que a área do médio rio Doce é a mais afetada por estiagem ao longo do ano, enquanto que a parte litorânea no estado do Espírito Santo é a porção mais chuvosa (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; CBH-DOCE, 2014).

O regime fluvial do rio Doce é perene e, de modo geral, acompanha a pluviosidade da bacia, sendo este o foco do estudo de clima para a linha-base.

3.4.1 Precipitação

A precipitação corresponde à quantidade de água resultante da condensação do vapor de água na atmosfera, que cai na superfície na forma líquida (dando origem à chuva) ou na forma sólida (dando origem à neve ou granizo). Exerce um papel importante no ciclo hidrológico onde a água retorna à atmosfera após a evaporação.

A medição da precipitação é realizada por aparelhos chamados de pluviômetros e pluviógrafos. Entretanto, esses aparelhos não são aconselhados para locais onde ocorre um excesso de neve, o que não é o caso do Brasil.

A precipitação pode também ser medida por meio de radares meteorológicos ou imagens de satélites. Nesse caso, não é uma medição propriamente dita e sim uma estimativa da precipitação através de medição de outros parâmetros que estão correlacionados com a precipitação. Os erros associados a esses métodos de estimativa ainda são relativamente maiores que os pluviômetros. Contudo, pelo fato de apresentarem medidas em um contínuo espacial, são excelentes ferramentas para interpolar espacialmente a precipitação entre os locais de instalação dos pluviômetros (SANTOS et al., 2001).

Por meio dos sensores instalados em satélites ou radares, pode-se estimar a precipitação através de correlação indireta da temperatura ou brilho do topo das nuvens com a intensidade da precipitação que é mais adequado a chuvas convectivas, porém nem tanto para os demais tipos de chuva (SCOFIELD; KULIGOWSKI, 2007). Os sensores de micro-ondas medem a emissão/absorção da radiação oriunda da precipitação. Segundo Engman (1993), a determinação da precipitação é realizada pela medição da energia termal das gotas de chuva.

Estimativas com sensores em micro-ondas tendem a ser mais consistentes que os de infravermelho ou VIS (DINKU; CECCATO; CONNOR, 2010; JOYCE et al., 2010), entretanto têm a desvantagem de se obter apenas duas imagens por dia por estarem em satélites polares.

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada por um anel metálico e um reservatório para acumular água. É um aparelho de formato padronizado e com recomendações de instalação para que fatores como obstáculos e vento não prejudiquem o valor real da precipitação. A leitura é realizada com padrão às 7h00 nas estações de uma única leitura diária e às 7h00 e 17h00 para estações que realizam duas leituras diárias. Nas estações meteorológicas, é comum realizar as leituras às 12h00, às 18h00 e às 24h00 no horário GMT (hora do meridiano de Greenwich). A leitura consiste em medir a água acumulada através de uma proveta calibrada para esse fim.

Os pluviógrafos são pluviômetros providos de equipamentos que proporcionam a coleta das leituras de precipitação de maneira contínua e registram em um gráfico em papel que é fixado em um tambor giratório. Os aparelhos mais modernos registram as leituras em uma memória digital (HD) que pode ser enviada por telemetria para uma central. Nessas estações telemétricas, são registradas geralmente chuvas a cada 15 minutos, que é o intervalo de envio de informações para a central. Nessa última opção, não é necessária a intervenção humana a menos que seja para a manutenção do aparelho. Os pluviógrafos são geralmente formados de cubas basculantes em que o peso da gota d'água gera registros digitais que quantificam a precipitação.

A precipitação sobre uma bacia hidrográfica é estimada através das leituras de uma rede de estações pluviométricas (onde se tem pluviômetros) e através de técnicas de interpolação se obtêm valores de precipitação para qualquer local da bacia. Por meio de método que calcule uma média ponderada, obtém-se o valor para a bacia com um todo. Entre essas técnicas, estão o método de Thiessen e o método das isoietas. No método de Thiessen, a cada ponto da bacia se atribui a precipitação do pluviômetro mais próximo, o que origina polígonos de Thiessen e, consequentemente, a precipitação da bacia é uma média ponderada pelas áreas dos polígonos das precipitações medidas. O método das isoietas é uma

interpolação realizada através de ferramentas do ArcGIS para se obter um mapa com esse tipo de informação. Nesse mapa, obtém-se a precipitação da bacia pela média ponderada pelas áreas das diversas zonas de precipitação do mapa. Essas interpolações podem também ser auxiliadas por imagens de radares ou satélites.

3.4.1.1 Análise pluviométrica

A Tabela 28 e a Figura 111 apresentam a rede de monitoramento de 69 estações pluviométricas selecionadas para o presente estudo. Na tabela estão indicados os períodos utilizados, selecionados segundo o critério de adotar, sempre que possível, um período base comum.

O mapa de isoietas foi gerado a partir da média dos totais anuais de cada estação para a bacia do rio Doce (Figura 112). Pelo mapa de isoietas, é possível notar que a barragem de Fundão está localizada na região de maior pluviosidade da bacia do rio Doce (sudoeste da bacia).

Tabela 28 – Rede de monitoramento selecionada para as análises pluviométricas.

Código	Latitude	Longitude	Data de início	Data de fim
1742017	-17,8456	-42,0756	01/01/1985	05/11/2015
1742019	-17,9922	-42,3939	01/01/1985	05/11/2015
1840000	-18,9856	-40,7461	01/01/1985	05/11/2015
1841001	-18,5747	-41,9178	01/01/1985	05/11/2015
1841003	-18,2386	-41,7486	01/01/1985	05/11/2015
1841011	-18,9764	-41,6403	01/01/1985	05/11/2015
1841019	-18,7769	-41,4828	01/01/1985	05/11/2015
1841020	-18,8831	-41,9503	28/11/1985	05/11/2015
1842004	-18,3631	-42,6022	01/01/1985	05/11/2015
1842005	-18,6119	-42,2786	01/01/1985	05/11/2015
1842007	-18,7722	-42,9311	01/01/1985	05/11/2015
1842008	-18,2011	-42,4553	01/01/1985	05/11/2015
1842020	-18,5528	-42,7642	01/01/1985	05/11/2015
1843012	-18,2797	-43,0006	01/01/1985	05/11/2015
1939002	-19,5775	-39,7944	01/01/1985	05/11/2015
1940000	-19,8744	-40,8744	01/01/1985	05/11/2015
1940001	-19,8053	-40,6789	01/01/1985	05/11/2015
1940005	-19,6922	-40,3981	01/01/1985	05/11/2015
1940006	-19,5308	-40,6231	01/01/1985	05/11/2015
1940009	-19,2203	-40,8533	01/01/1985	05/11/2015
1940012	-19,6636	-40,8353	01/01/1985	05/11/2015
1940013	-19,2375	-40,5914	01/01/1985	05/11/2015
1940016	-19,0578	-40,5164	01/01/1985	05/11/2015
1940020	-19,955	-40,7417	01/01/1985	05/11/2015
1940023	-19,2742	-40,3208	01/01/1985	05/11/2015
1941000	-19,7989	-41,7061	01/01/1985	05/11/2015
1941003	-19,5236	-41,0142	01/01/1985	05/11/2015
1941004	-19,3431	-41,2461	01/01/1985	05/11/2015
1941005	-19,0617	-41,5328	01/01/1985	05/11/2015
1941006	-19,5947	-41,4581	01/01/1985	05/11/2015
1941009	-19,6911	-41,02	01/01/1985	05/11/2015
1941010	-19,4925	-41,1617	01/01/1985	05/11/2015
1941011	-19,6783	-41,8361	01/01/1985	05/11/2015

Código	Latitude	Longitude	Data de início	Data de fim
1941012	-19,0592	-41,0275	01/01/1985	05/11/2015
1941018	-19,1617	-41,8622	01/01/1985	05/11/2015
1941019	-19,8111	-41,4378	01/01/1985	05/11/2015
1942002	-19,8336	-42,3178	01/01/1985	05/11/2015
1942006	-19,9989	-42,3475	01/01/1985	05/11/2015
1942008	-19,3736	-42,105	01/01/1985	05/11/2015
1942029	-19,5247	-42,6442	19/09/1986	05/11/2015
1942030	-19,3164	-42,3961	12/11/1986	05/11/2015
1942031	-19,7769	-42,4769	25/11/1986	05/11/2015
1942032	-19,1886	-42,4228	22/11/1986	05/11/2015
1943001	-19,9228	-43,1778	01/01/1985	05/11/2015
1943002	-19,0167	-43,4442	01/01/1985	05/11/2015
1943003	-19,2503	-43,0144	01/01/1985	05/11/2015
1943007	-19,9453	-43,4011	01/01/1985	05/11/2015
1943008	-19,4403	-43,1186	01/01/1985	05/11/2015
1943025	-19,2175	-43,3742	01/01/1985	05/11/2015
1943027	-19,8808	-43,3675	01/01/1985	05/11/2015
2041008	-20,1081	-41,7283	01/01/1985	05/11/2015
2041023	-20,0786	-41,1214	01/01/1985	05/11/2015
2041048	-20,1706	-41,9611	01/01/1985	05/11/2015
2042008	-20,1036	-42,44	01/01/1985	05/11/2015
2042010	-20,2989	-42,4781	01/01/1985	05/11/2015
2042011	-20,2147	-42,6522	01/01/1985	05/11/2015
2042016	-20,6825	-42,8067	01/01/1985	05/11/2015
2042017	-20,2772	-42,3256	01/01/1985	05/11/2015
2042018	-20,3847	-42,9028	01/01/1985	05/11/2015
2042031	-20,0114	-42,6742	01/01/1985	05/11/2015
2043009	-20,3625	-43,1439	01/01/1985	05/11/2015
2043010	-20,6906	-43,2994	01/01/1985	31/07/2015
2043011	-20,39	-43,1803	01/01/1985	05/11/2015
2043014	-20,6703	-43,0881	01/01/1985	05/11/2015
2043025	-20,5167	-43,0167	01/01/1985	05/11/2015
2043026	-20,8475	-43,2419	01/01/1985	05/11/2015
2043027	-20,2856	-43,0989	01/01/1985	05/11/2015
2043059	-20,0969	-43,4881	01/01/1985	05/11/2015
2143003	-21,1492	-43,52	01/01/1985	05/11/2015

As isoietas com as médias dos totais mensais encontram-se no **Apêndice J**. Observa-se um comportamento variável entre os meses do ano.

Figura 111 – Rede de monitoramento selecionada para as análises pluviométricas.

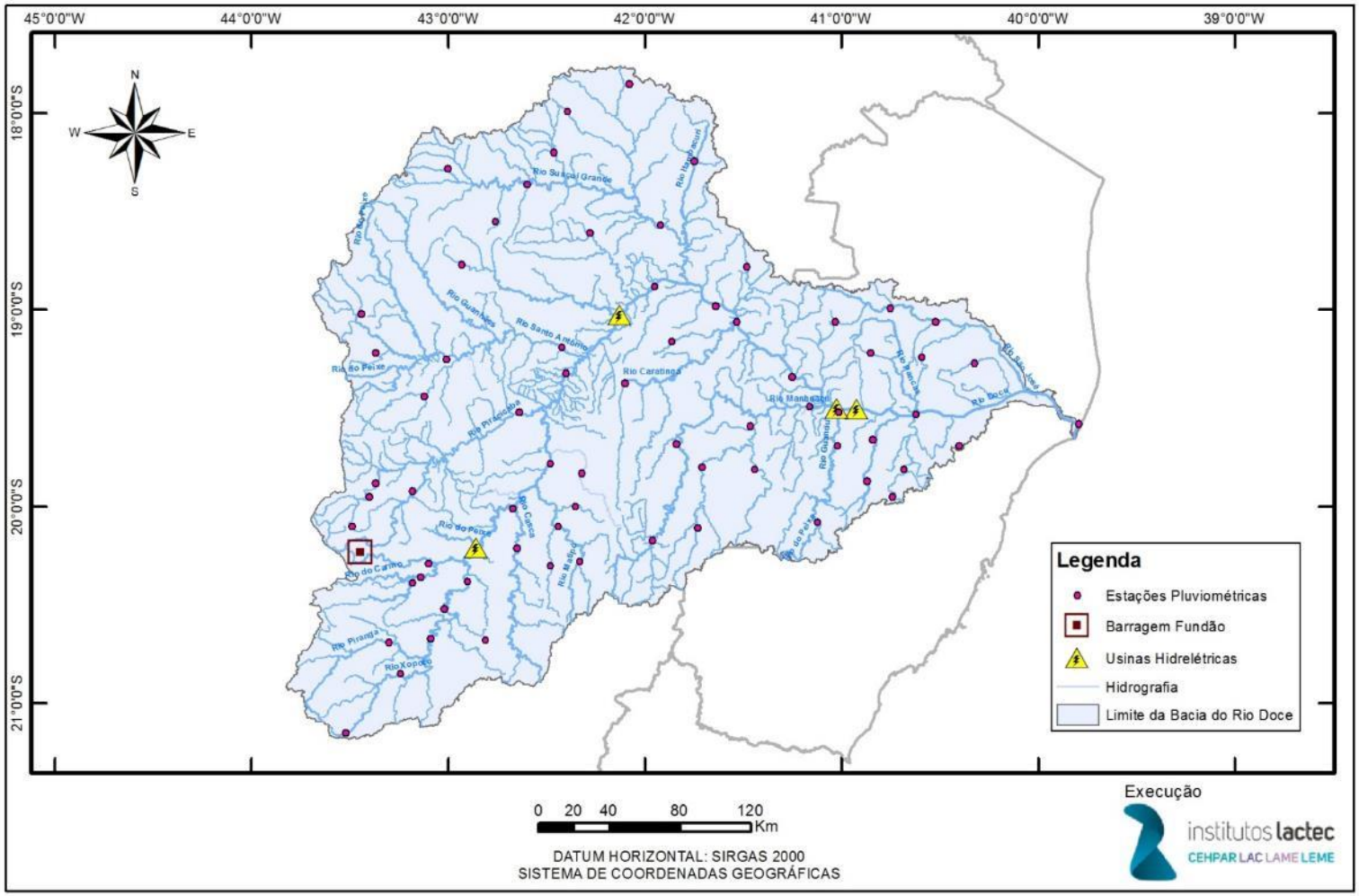
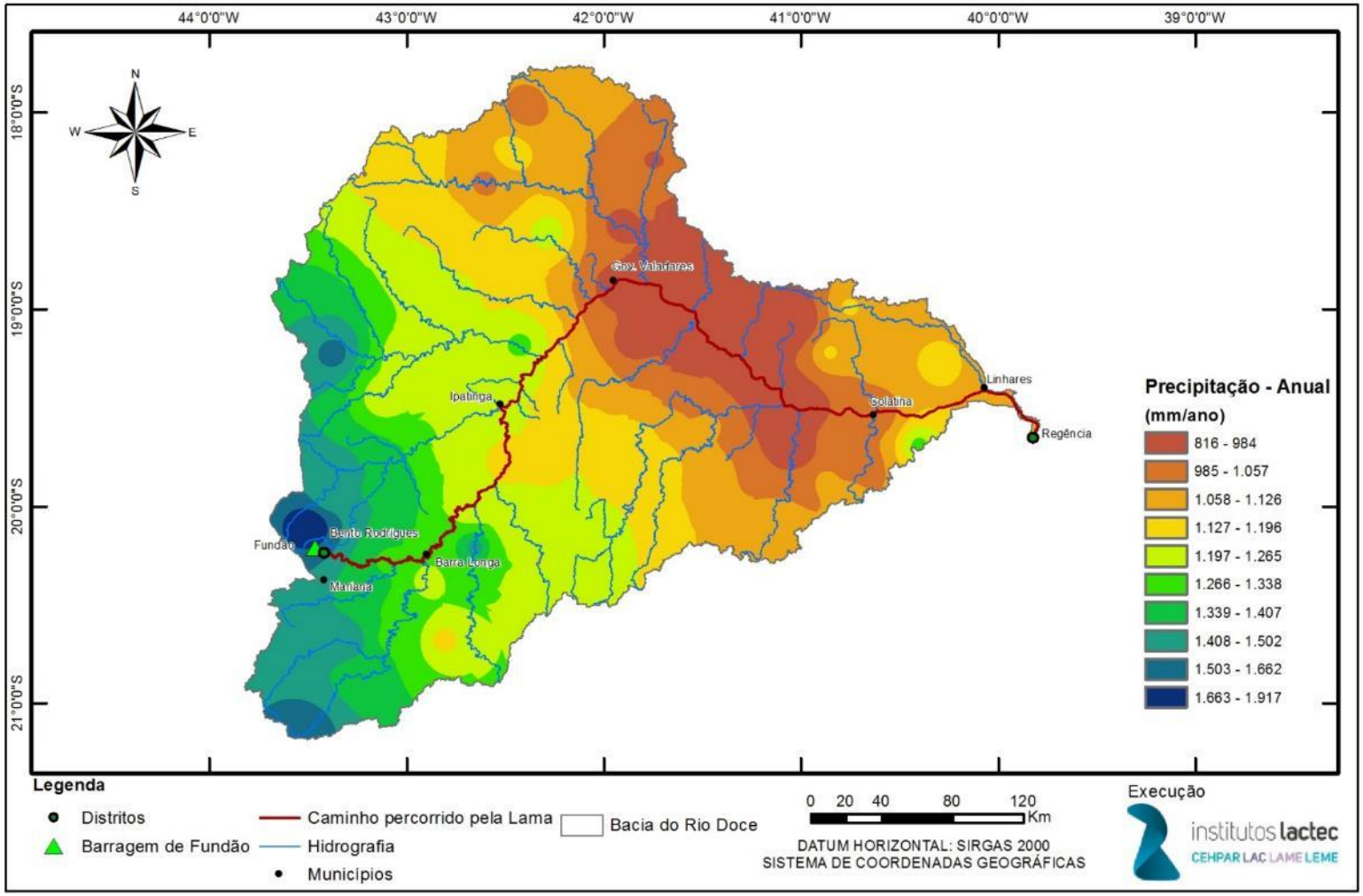


Figura 112 – Totais anuais de precipitação para a bacia do rio Doce.



3.5 Hidrologia

Conforme Tucci (2001, p. 25), a Hidrologia é a ciência que:

> estuda a **água na Terra**, sua **ocorrência**, **circulação**, **distribuição**, suas **propriedades físicas e químicas** e **sua relação com o meio ambiente**. É uma ciência que está voltada para a representação dos processos físicos que ocorrem na **bacia hidrográfica**, baseando-se na observação dos processos envolvidos.

Após o rompimento da barragem de Fundão, entre as diversas áreas impactadas constam os cursos d'água por onde a lama ou fluxo dos rejeitos passou, incluindo os rios afetados pelo remanso da onda de inundação. Na passagem dessa onda, os sedimentos que representam esses rejeitos liberados foram sendo transportados via hídrica para jusante, percorrendo quase a totalidade do rio Doce e atingindo a área costeira, onde, estando influenciados pelo conjunto dos processos hidrodinâmicos dominantes dessa região, se deslocaram ao longo dessa costa em diversas direções. Ao longo desse trajeto, parte desse material sólido se depositou, tanto em áreas de margens quanto no próprio leito do rio.

No capítulo anterior, Clima, foi apresentada a caracterização pluviométrica, por meio do estudo dos valores médios dos totais anuais e mensais e a distribuição espacial desses valores. Esses estudos auxiliam na avaliação comparativa das variáveis ambientais pretendidas entre eventos, especialmente vazões líquidas e sólidas, visto que esses processos estão diretamente relacionados com as características erosivas da chuva, total pluviométrico e frequência de precipitação.

A avaliação apresentada neste capítulo focou na caracterização fluviométrica e hidrossedimentométrica, ou seja, relacionada aos aspectos de quantidade hídrica e de sedimentos dos recursos hídricos superficiais. As ferramentas para essa caracterização foram a obtenção de gráficos que relacionem os vários parâmetros, a saber: climatologia das variáveis, curvas de permanência de vazões, vazões médias de longo termo, de enchente e de estiagem e curvas-chave de sedimentos; bem como mapas que apresentem a distribuição espacial desses parâmetros. Neste item foi também avaliado o estado de assoreamento dos reservatórios das UHEs Risoleta Neves (Candonga), Baguari, Aimorés e Mascarenhas, bem como apresentada a caracterização oceanográfica costeira (aspectos hidrodinâmicos e batimétricos).

3.5.1 Importância ambiental do tema

A importância do conhecimento da hidrodinâmica e morfologia dos corpos hídricos e do volume e distribuição tempo-espacial dos sedimentos depositados nos reservatórios, leito dos rios, planícies de inundação, áreas estuarina e costeira, bem como a dispersão da pluma formada, está diretamente relacionada aos seguintes aspectos:

- a pluma e depósito de sedimentos interferem no meio ambiente causando prejuízo à beleza cênica, à qualidade ambiental e à biota aquática (morte por:

asfixia, soterramento, contaminação por poluentes carreados, diminuição de fonte alimentar etc.);

- a pluma e depósito de sedimentos resultam na diminuição de luminosidade dentro do ambiente aquático e na redução da fotossíntese (em maior ou menor grau se estiverem ou não associados à poluentes);
- a camada laminar de sedimentos depositada sobre o fundo afeta diversas biotas, especialmente organismos bentônicos, zoo e fitoplâncton;
- a camada laminar de sedimentos depositada sobre o fundo causa o comprometimento de fonte energética para teias tróficas aquáticas através do soterramento de matéria orgânica proveniente das adjacências do corpo d'água, tal como folhas, a qual é processada no fundo dos rios (IBAMA, 2015);
- dispor da ordem de grandeza dos volumes sedimentados e da dispersão das plumas poderá auxiliar na extrapolação dos resultados amostrais das diversas áreas.

Conforme citado em Ibama (2015), os efeitos sobre a biodiversidade aquática podem variar conforme o nível trófico e fisiologia dos organismos. E, ainda, as consequências à comunidade aquática dependem da permanência dos sedimentos no ambiente, da resiliência dos produtores primários afetados e da importância dessa produção endógena na cadeia trófica aquática como um todo. Logo, é importante determinar, ainda que por meio de simulações de cenários futuros, como será a distribuição dos depósitos de sedimentos ao longo dos corpos hídricos e seu comportamento ao longo do tempo, visto que os processos de erosão e de assoreamento são de natureza dinâmica, variável ao longo do tempo, sendo que a etapa do ciclo hidrológico (estação climatológica) ajuda a intensificar um ou outro processo.

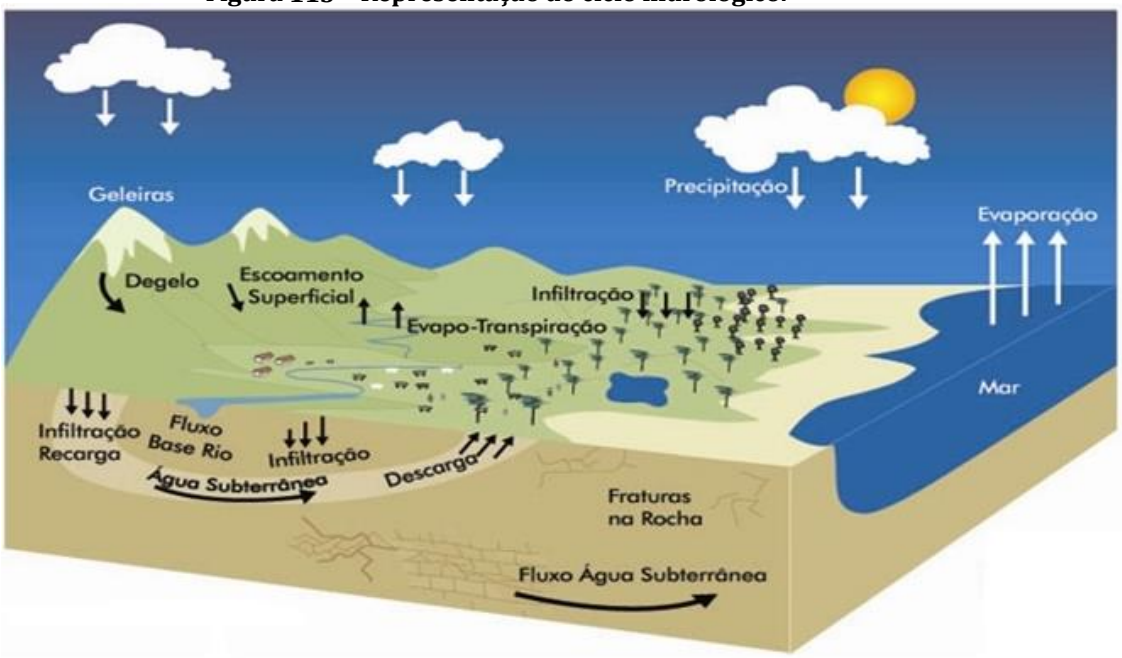
3.5.2 Conceitos

3.5.2.1 Ciclo hidrológico

A água é um mineral presente em toda a natureza nos estados sólido, líquido e gasoso, existindo em praticamente todo o planeta: na atmosfera, na superfície dos continentes, no subsolo e nos oceanos. Além de ser essencial para a sobrevivência de homens e animais, a água pode exercer a função de receber, diluir e transportar efluentes. A água é considerada um recurso natural peculiar, pois se renova pelos processos físicos do ciclo hidrológico**.**

O ciclo hidrológico se constitui no contínuo processo de circulação da água e pode ser representado de forma simplificada pela Figura 113.

Figura 113 Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: Hjulstrom (1935 apud COELHO, 2007).

Conforme Santos et al. (2001), um fator particularmente importante na recuperação do meio ambiente de impactos sofridos é o tempo de residência, definido como a razão entre o volume de água e o fluxo para uma dada parcela do ciclo hidrológico. Verifica-se que esse tempo é de alguns dias para a atmosfera e águas superficiais com fluxo contínuo, e de muitos anos para a água subterrânea e os oceanos.

No ciclo hidrológico é de especial interesse a parcela "terrestre", retirando o foco da atmosfera e oceanos. Para fazer o estudo dessa parcela do ciclo, pode-se fazer uso da unidade espacial natural da hidrologia, representada pela bacia hidrográfica, a qual é definida como a superfície limitada por um contorno, dentro do qual toda a água precipitada, excluindo o que é evaporado, infiltrado ou retido, escoa para um mesmo ponto, denominado exutória da bacia hidrográfica.

3.5.2.2 Vazão e curva de descarga

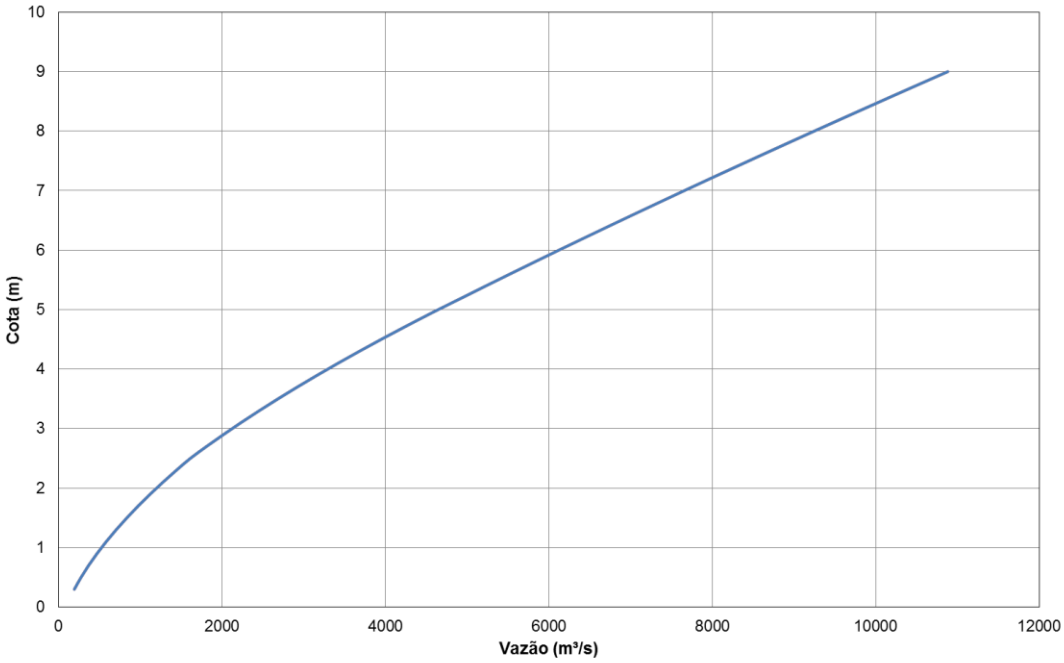
A variável hidrológica de interesse final no presente trabalho é a vazão, ou descarga líquida, dos cursos d'água. A vazão corresponde ao volume de água que passa em determinada seção na unidade de tempo. O monitoramento dessa variável hidrológica auxilia na avaliação da disponibilidade hídrica, estudos de eventos críticos como estiagem e cheias, estudos de cotas de inundação, dimensionamento de obras hidráulicas etc.

A vazão de um rio pode ser medida por meio da determinação da velocidade de escoamento, visto que as duas grandezas se relacionam diretamente. A medição de vazão trata-se de um procedimento dispendioso e de logística trabalhosa para que seja realizada continuamente. Logo, são realizadas campanhas esporádicas de medição de vazão, com medição simultânea do nível de água (cota) do rio. O conjunto de pontos cota/vazão permite o estabelecimento de uma relação denominada curva de descarga.

A curva de descarga, ou curva-chave, é uma forma eficiente de obter uma série de vazões em função dos níveis de água que são comumente monitorados de forma contínua, considerando diferentes discretizações de tempo: diária, horária, a cada 15 minutos etc. Quando a vazão não depender de outros fatores, como remanso de marés ou de outros rios e variações sensíveis na declividade da linha de água, a relação cota/vazão é estável e confiável.

A Figura 114 apresenta de forma ilustrativa a curva de descarga da estação Colatina (código ANA: 56994500), situada no rio Doce drenando uma área de 76.400 km^2.

Figura 114 – Curva de descarga da estação Colatina (código 56994500).



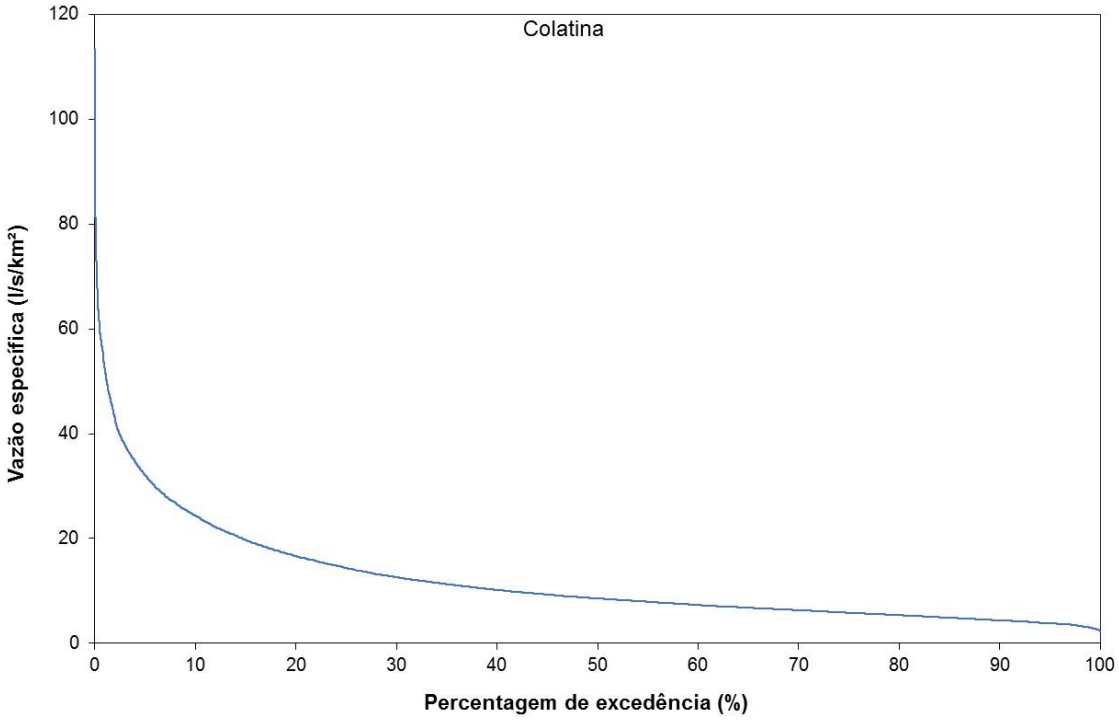
3.5.2.3 Curva de permanência

A curva de permanência expressa a relação entre a vazão e a frequência com que essa vazão é superada ou igualada. A curva de permanência é obtida sobre a série histórica de dados, os quais são classificados de forma a estabelecer as percentagens de ocorrências em que a vazão é maior ou igual ao valor especificado.

A curva de permanência se constitui em uma das análises estatísticas mais simples e mais importantes na hidrologia, auxiliando na análise dos dados de vazão com relação a perguntas como: "O rio tem uma vazão aproximadamente constante ou é extremamente variável?"; "Qual é a porcentagem do tempo em que um rio tem vazão suficiente para atender a determinada demanda?". Além disto, a curva de permanência é útil para diferenciar o comportamento de rios e para avaliar o efeito de modificações como desmatamento, reflorestamento, implantação de obras hidráulicas, retirada de água, e, até mesmo, para avaliar impactos causados por desastres, tal como o ocorrido na bacia do rio Doce.

A Figura 115 ilustra a curva de permanência de vazões médias diárias da estação Colatina (código ANA: 56994500).

Figura 115 – Curva de permanência da estação Colatina (código 56994500).



3.5.2.4 Vazões extremas

Estiagens e enchentes são consideradas eventos hidrológicos extremos. Normalmente, a ocorrência desses eventos causa transtornos à população e, por vezes, ao meio ambiente em geral, e, portanto, o estudo do seu risco de ocorrência ajuda no gerenciamento dos recursos hídricos e estudo de ferramentas que minimizem os impactos negativos (planejamento do uso da água, instituição de medidas de controle ou previsão de enchentes etc.).

A aleatoriedade intrínseca dos fenômenos hidrológicos, especificamente as vazões extremas, proporciona a utilização de ferramentas estatísticas para descrever essa variável. Uma dessas ferramentas é a análise de frequência de vazões extremas. O ciclo hidrológico tem uma periodicidade anual e é, portanto, comum a análise da vazão extrema dentro do ano para descrever esses tipos de evento.

No caso da vazão de enchente, a frequência que certa vazão ocorre com magnitude maior ou igual a certo valor pode ser determinada estatisticamente por meio de dados históricos. Daí vem o conceito de Tempo de Recorrência ou Tempo de Retorno (TR), que é o período esperado (estimado) em anos que certa vazão vai repetir ou superar. Assim, o TR é também o inverso da probabilidade de a vazão igualar ou superar certo valor.

As vazões máximas históricas (obtidas do monitoramento do corpo hídrico) são ajustadas a distribuições de probabilidades. Existem diversas distribuições de probabilidades que podem ser utilizadas para análise de eventos extremos de cheia. Com a utilização das distribuições de probabilidades, é possível obter a probabilidade da ocorrência de vazão igual ou superior a qualquer valor. Por exemplo, se uma vazão de 200 m^3/s tem um TR = 100 anos, significa que, em média, vazões máximas anuais iguais ou superiores a 200 m^3/s ocorrem a cada 100 anos ou, ainda, a probabilidade de ocorrência dessa vazão ou superior é de 1% (1/100 = 0,01). Os valores de TR são importantes para estudos de cheias e inundações a fim de associá-las a riscos de ocorrência.

As vazões máximas consideradas nesses estudos são as vazões instantâneas que diferem da vazão máxima diária (média do dia em que ocorreu a maior vazão). Como o valor da máxima vazão média diária monitorada se refere normalmente a média entre duas leituras, é necessário utilizar um método que estime o pico da vazão no dia. Duas equações bastante comuns para estimar a vazão instantânea são as de Sangal (1983) e a de Fuller (1914). A primeira utiliza dados de vazão diária do dia anterior e posterior ao evento de máxima, e a segunda utiliza a área de drenagem da bacia hidrográfica. Ambas as equações foram obtidas empiricamente.

No caso de eventos de estiagem, a periodicidade anual e o tempo de recorrência também são conceitos utilizados na análise das vazões mínimas. Nesse caso, porém, é importante também considerar a duração de tais eventos, visto que, ao contrário das cheias, os eventos de seca têm duração de semanas a meses e esse fator também descreve sua criticidade. Como exemplo, podemos considerar que uma vazão de estiagem de valor não tão severo, mas com duração muito longa, pode ser mais crítica que uma vazão mínima ainda menor, porém de curta duração. Por isso, no caso dos eventos de estiagem teremos associados ao valor da vazão mínima um TR e um tempo de duração.

O tempo de duração da estiagem mais comumente estudado é de 7 dias. Isso porque o parâmetro $Q_{10,7}$ (vazão mínima para seca de 7 dias de duração e TR de 10 anos) é geralmente relacionado a equações que dimensionam a mínima vazão necessária para a vida aquática e, consequentemente, à liberação de outorga de empreendimentos de obras que envolvem os rios.

Essa vazão de estiagem $Q_{10,7}$ é estimada por meio de um estudo estatístico de vazões mínimas médias móveis para duração de 7 dias, selecionadas em cada ano, a partir da série histórica de vazões diárias. Essa série de vazões de estiagem são normalizadas e ajustadas a distribuições de frequência. As mais comuns são Galton, Log-Gumbel, Weibull e Log-Pearson Tipo III. A escolha entre elas é realizada por meio de testes de ajustes, como, por exemplo, os testes de Máxima Verossimilhança e Método dos Momentos.

3.5.2.5 Ciclo hidrossedimentológico

A água precipitada na bacia hidrográfica tenderá a se mover rumo à saída desta, fluindo sobre (e dentro de) os solos que revestem as vertentes e as calhas da rede de drenagem. Os obstáculos que encontra determinam os caminhos que ela segue e a velocidade com que se desloca. Nesse trajeto, a água remove e transporta partículas sólidas rio abaixo, dissipando boa parte da energia de que está provida (BORDAS; SEMMELMANN, 1993). No presente trabalho, normalmente, é utilizado o termo 'sedimentos' para definir essas partículas sólidas, cuja definição já foi apresentada no item 3.1.5 (Contexto geoquímico regional).

A formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e seu transporte até os rios é consequência da interação dos fatores hidrológicos, sendo os mais importantes a quantidade e a distribuição da precipitação, a estrutura geológica e pedológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal, entre outros. Os processos sedimentológicos fluviais incluem remoção, transporte e deposição das partículas, envolvendo toda a dinâmica da bacia de drenagem. Os deslocamentos dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial acabam provocando a redistribuição pela bacia de ponderáveis massas de partículas sólidas, a ponto de poderem alterar o ciclo hidrológico e afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (BORDAS; SEMMELMANN, 1993).

O material intemperizado formado na bacia hidrográfica pode ser definido como erosão bruta ou perda de solo. Nem toda a quantidade de material disponibilizado na erosão bruta formada na bacia chegará ao exutório da bacia. A parcela que atinge o exutório, ou seja, a quantidade de sedimentos que é removida para fora de uma bacia hidrográfica ou de uma área considerada, pode ser definida como produção de sedimentos e, segundo Silva et al. (2009 apud SILVA, 2015), depende de vários fatores, como: forma da encosta; distância que percorre o fluxo entre a fonte e seu exutório; porcentagem de cobertura vegetal no caminho percorrido pelo fluxo entre a área fonte e a saída da bacia; e textura do material de solo erodido. A produção de sedimentos representa uma parcela do total do material que foi erodido na bacia vertente e no canal fluvial (erosão bruta) e transferido até uma determinada seção do canal fluvial. Em termos quantitativos, a produção de sedimentos é a diferença entre a erosão bruta e a quantidade de sedimentos depositada nas encostas, depressões e canais da

bacia vertente de uma determinada seção do canal fluvial que está sendo analisado (WALLING, 1983 apud MINELLA; MERTEN, 2011).

A razão entre a produção de sedimentos no exutório e a erosão bruta na bacia é conhecida como taxa de emissão, entrega ou transferência de sedimentos. Alguns autores, como Vanoni (1975) e Walling (1983, 1990 apud MINELLA; MERTEN, 2011), estabeleceram um conceito empírico para estimar a taxa de emissão de sedimentos, a qual pode variar entre 0 a 1. Esses autores concluíram que, quanto maior a área de drenagem de uma bacia, menor é o valor da taxa de transferência de sedimentos. Logo, uma grande bacia tem maior possibilidade de possuir mais barreiras naturais, por exemplo, depressões, que propiciem a retenção de sedimentos.

Vanoni (1975 apud SILVA, 2015) é um trabalho de referência na análise da relação entre a taxa de entrega e as características geomorfológicas de uma bacia hidrográfica. A referida pesquisa concluiu que a concentração de sedimentos nos cursos d'água apresenta comportamento diferenciado quando se compara eventos ocorridos em regiões semiáridas com de clima úmido. Por meio desses estudos foi estabelecida uma equação empírica para estimar a taxa de emissão de sedimentos, dada por:

$$TES = 0{,}473.A^{-0{,}125}$$

Onde:

TES – Taxa de Emissão de Sedimentos (adimensional);

A – área de drenagem da bacia (Mi²).

Didoné (2013) frisa que a taxa de entrega de sedimentos ocorre de forma distinta e de maneira heterogênea. Ao longo do tempo, as alterações nos usos do solo podem proporcionar um aumento na erosão bruta influenciando também no valor da taxa de transferência de sedimentos.

Segundo Santos et al. (2001), os mecanismos determinantes dos processos sedimentológicos fluviais estão relacionados às condições ecológicas reinantes nas bacias hidrográficas e em muitos aspectos podem derivar de ações antrópicas, causando prejuízos como os relacionados a seguir: (i) remoção intensa de solos, fertilizantes e pesticidas das vertentes, intensificada, principalmente, por práticas agrícolas inadequadas; (ii) perdas de produção agrícola decorrentes do recobrimento de áreas agricultadas por sedimentos estéreis e do encharcamento destas, resultante da obstrução de drenos naturais; (iii) assoreamento de reservatórios causando custos extras na geração de energia e/ou sua inviabilidade; (iv) deterioração de sistemas de irrigação e de drenagem; (v) assoreamento ou erosão nas vias navegáveis e portos; (vi) degradação de água para uso industrial e doméstico; (vii) erosão em rodovias, ferrovias e oleodutos; (viii) sedimentação de áreas atingidas por inundações; e (ix) alteração das condições físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos.

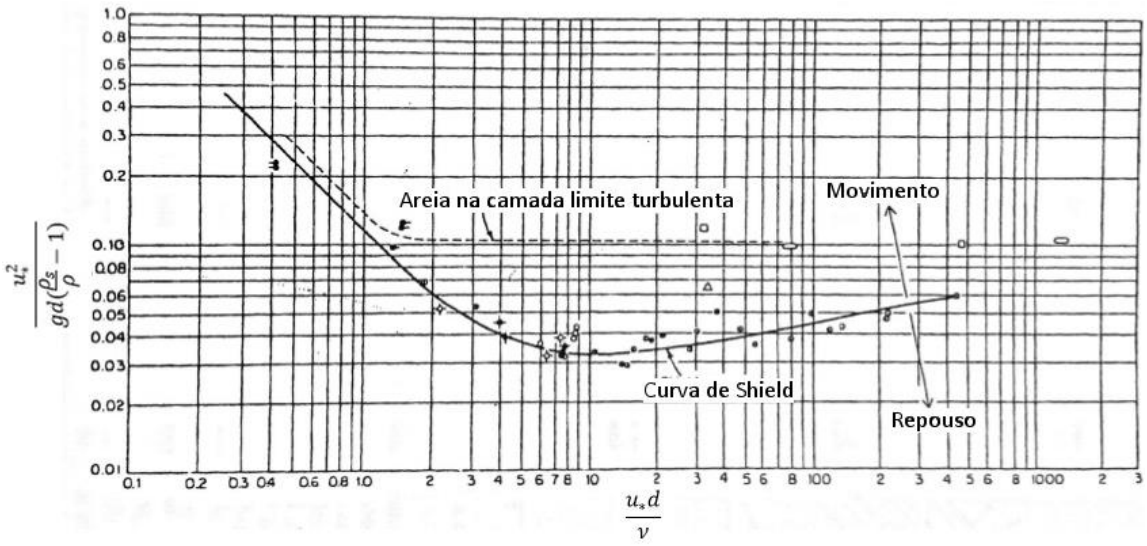
Nota-se a complexidade e importância da compreensão dos processos de produção, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. A ocorrência dos impactos apontados anteriormente tem levado pesquisadores e a própria sociedade a dar mais

importância aos problemas decorrentes das alterações do ciclo hidrossedimentológico natural.

A dinâmica do transporte fluvial de sedimentos está diretamente ligada com as flutuações turbulentas de velocidade das águas. A Figura 116 mostra o diagrama de Shields que inter-relacionam a tensão tangencial crítica de arraste, diâmetro da partícula, densidade da partícula e do fluido, viscosidade do fluido e velocidade de corte. As configurações de parâmetros que se localizam acima da linha indicam que o sedimento do fundo está em movimento e, abaixo, em repouso.

Dado que a velocidade e a constituição do material particulado variam ao longo de um canal, é de se esperar que ao longo deste, bem como no decorrer do tempo, ocorram alterações nos processos associados aos sedimentos (erosão, transporte ou deposição). Até mesmo em uma mesma seção transversal podem ocorrer simultaneamente os diversos processos, pois, além da velocidade variar ao longo da seção, varia também a granulometria do material que está sendo transportado.

Figura 116 – Diagrama de Shields - Parâmetro de Shields contra número de Reynolds de corte da partícula



Fonte: Graf (1984)

Importante ressaltar que a capacidade de erosão das margens e fundo de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos de um sistema fluvial, reflete uma condição estável (equilibrada) do canal natural. As modificações externas impostas a esse sistema rompem com essa estabilidade, refletindo em alterações das condições de erosão, transporte e deposição. Entretanto, mesmo após essas alterações, o sistema fluvial vai tender a uma nova condição de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Conforme Fernandez (1990 apud COELHO, 2007), o ajuste de estabilidade pode ser de curto, médio (alguns a dezenas de anos) ou longo prazos (centenas a milhares de anos). Pode-se dizer que uma bacia hidrográfica submetida a diversos impactos pela alteração de seus usos, por implantação de obras em seus cursos d'água ou próximo a eles, constitui-se em um sistema dinâmico em constante busca de sua estabilidade.

3.5.2.6 Transporte fluvial de sedimentos

A sedimentometria trata da medida da quantidade de sedimentos transportados pelos rios. A carga de sedimentos dos cursos de água é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas. Mecanicamente, a espécie da partícula exprime-se pela sua densidade, o tamanho pelo seu diâmetro maior e a forma pelo coeficiente de esfericidade (CHRISTOFOLETTI, 1981).

O termo 'descarga sólida' ou 'descarga de sedimentos' é definido como a massa total de sedimentos que passa em uma seção transversal do rio por unidade de tempo, geralmente expressa em toneladas por dia (VANONI, 1975). No processo de transporte fluvial de sedimentos, podem-se distinguir três tipos de carga: dissolvida, em suspensão e do leito. No jargão técnico, a soma da carga de sedimentos em suspensão e dissolvida e, na maioria das vezes, é designada como 'sólidos suspensos totais'. As partículas de granulometria reduzida, como silte, argila e algumas granulometrias de areia, são pequenas o suficiente para que sejam transportadas pelo fluxo turbulento misturadas à água na forma de uma solução heterogênea, constituindo a carga de sedimentos em suspensão. A distinção entre carga em suspensão e carga do leito baseia-se mais no mecanismo de transporte do que no tamanho da partícula. Por exemplo, partículas transportadas em suspensão em um rio de alta declividade podem constituir carga do leito para rios de planície (SANTOS et al., 2001; CARVALHO, 2008).

A carga dissolvida está associada às características químicas da água, muitas vezes, conferindo odor e sabor a ela, enquanto a carga em suspensão tem maior participação nas características físicas da água. Tanto o escoamento subterrâneo quanto o superficial podem transportar carga dissolvida. O escoamento subterrâneo transporta em solução química constituintes intemperizados das rochas. Já o escoamento superficial pode, por exemplo, contribuir com carreamento de fertilizantes. A relação entre a concentração de sólidos dissolvidos e a vazão é geralmente de forma inversa, pois, normalmente, a maior parcela de carga dissolvida deve-se à contribuição do escoamento subterrâneo, cuja concentração não aumenta em eventos de vazões elevadas. Existe ainda o aporte de cargas dissolvidas em função de fontes poluidoras pontuais, geralmente industriais, que lançam uma variada gama de materiais dissolvidos nos rios, lagos e estuários. Também nesse caso, sendo o aporte de materiais dissolvidos constante, a concentração no rio varia inversamente com a vazão.

Segundo Carvalho (2008), as cargas dissolvidas ou os resíduos filtráveis são a porção dos sólidos totais que passa por filtro de porosidade de 1,2 μm. A carga dissolvida pode representar uma parcela importante da descarga sólida. Estudos realizados na América do Norte indicam que alguns rios carregam, em média, maior quantidade de matéria dissolvida do que de partículas em suspensão (GUY, 1970). Para as bacias hidrográficas nacionais, no entanto, normalmente a parcela de sólidos suspensos em rios é mais representativa que a de sólidos dissolvidos (CARVALHO, 2008).

O material em suspensão é a fração do material carregado em que as forças provocadas pela ação da turbulência do fluido superam a ação da gravidade impedindo a deposição das partículas (SANTOS et al., 2001). Dessa maneira, a carga em suspensão é carregada praticamente na mesma velocidade do fluxo. Quando a turbulência diminui até um valor que não há mais energia para manter as partículas suspensas, elas se precipitam seguindo uma hierarquia em função da densidade e do tamanho. Por esse motivo, a deposição

(sedimentação) é mais intensa em trechos de águas mais calmas ou em lagos (CARVALHO, 2008). As mensurações e observações realizadas nos cursos de água mostram que há certa correlação entre a concentração do material em suspensão e o valor da vazão para uma mesma seção transversal. Isso se deve ao fato da carga detrítica não provir somente da ação abrasiva do rio sobre o fundo e as margens, mas principalmente da lavagem sobre o solo efetuada pelo escoamento superficial (YANG, 1996; SANTOS et al., 2001; CARVALHO, 2008).

Segundo Carvalho (2008), a carga do leito do rio é composta por partículas de granulometria maior, como as areias e cascalhos, que permanecem junto ao fundo do canal e são transportadas por meio da saltação e do arraste, sendo este por deslizamento ou rolamento na superfície do leito sob o efeito da tensão tangencial exercida pelo fluido em movimento sobre o fundo. Nesse processo, os fragmentos vão sendo transportados sempre em contato com a superfície do leito. As partículas em saltação se localizam nas proximidades do leito, formando uma camada adjacente a este, que funciona como uma faixa transicional entre a carga do leito, sempre em contato com o fundo, e as partículas transportadas em suspensão (SANTOS et al., 2001). De maneira geral, quanto maior a carga transportada pelo rio e maior a granulometria do material, maior será o volume transportado junto ao leito. Em rios com sedimentos compostos predominantemente de areia e cascalho, a carga do leito pode atingir valores elevados, chegando a ultrapassar 50% do volume total transportado. Devido ao seu maior volume e a densidade das partículas que se concentram próximo ao leito e à reduzida velocidade da água nessa região da seção, a velocidade da carga do leito é muito mais lenta que a velocidade média do fluxo observada na seção. Além disso, as partículas do leito podem se deslocar de modo intermitente.

Os sedimentos transportados como carga do leito sofrem a abrasão e a redução do tamanho das partículas por meio de processos mecânicos, como choques e atritos, e o selecionamento resultante do transporte diferencial das partículas de tamanhos diferentes. Isso explica, em grande parte, a diminuição da granulometria do material aluvial em direção a jusante. O “seixo rolado”, por exemplo, constitui um formato típico desse material que sofreu o efeito da abrasão durante o transporte (SANTOS et al., 2001).

Para estudos de assoreamento em específico, normalmente, a parcela mais importante corresponde à dos sedimentos em suspensão e de arraste. No caso de reservatórios, por exemplo, a maioria dos sedimentos dissolvidos passa diretamente pelo vertedor ou pelas turbinas, não alterando as características físicas da água e não se constituindo majoritariamente em material disponível para deposição.

3.5.2.7 Medição do transporte de sedimentos

A medição do transporte de sedimentos objetiva determinar a descarga sólida, ou seja, a quantidade de sedimentos que passa em uma seção transversal por unidade de tempo. Embora não exista uma separação clara entre as cargas do leito (arraste e saltação) e cargas em suspensão (suspensão e dissolvida), divide-se a descarga sólida total em descarga sólida do leito, descarga sólida em suspensão e descarga sólida dissolvida. As descargas sólidas em suspensão e dissolvidas são tratadas, frequentemente, em conjunto e a soma é designada como “sólidos totais em suspensão” (SANTOS et al., 2001).

De acordo com Carvalho (2008), a finalidade da amostragem é definir a tipologia e/ou a concentração do material que é transportado no momento da medição do transporte de sedimentos. Devido às diferenças nas características de transporte do sedimento em suspensão e de fundo, as suas obtenções resultam em medições distintas, com equipamentos e técnicas de amostragem também diferentes (SANTOS et al., 2001).

Vale lembrar que toda medição completa de descarga sólida é precedida de uma medição de descarga líquida, a qual fornece informações que orientam os procedimentos adotados no processo de amostragem e alguns parâmetros a serem utilizados quando houver a necessidade de aplicação de determinadas fórmulas que estimam a vazão sólida total. Além disso, a vazão líquida é utilizada no próprio procedimento de cálculo da descarga sólida, pois esta é obtida multiplicando a concentração de sedimentos na amostra pela vazão líquida.

A partir da amostragem da carga sólida do leito, é necessário calcular o seu valor final de descarga. Nesse cálculo, deve-se considerar a área de captação do bocal, o peso seco do material amostrado, o tempo de amostragem e a eficiência do amostrador, além das informações relativas à geometria da seção de medição (CARVALHO, 2008).

Existem vários instrumentos e técnicas para medir sedimentos, os quais futuramente deverão ser detalhados conforme métodos a serem adotados para realizar as medições planejadas para o presente estudo. Além de Carvalho (2008), diversos outros trabalhos são considerados boas referências para descrição destes instrumentos e técnicas, tais como: Anderson (2005), ASTM INTERNATIONAL (2007), Carvalho et al. (2000), Davis (2005) e Edwards e Glysson (1999).

3.5.2.8 Cálculo da descarga sólida através de fórmulas

A forma mais precisa de se determinar a descarga sólida total é por meio da realização de medições diretas como descrito no item anterior (SANTOS et al., 2001; CARVALHO, 2008). Porém, por se tratarem as medições de processos dispendiosos, demorados e de logística complicada, muitas vezes não é possível medir diretamente a descarga sólida ou se realiza apenas uma das duas medições, suspensão ou arraste. Nesse caso, faz-se necessário lançar mão de fórmulas semiempíricas para determinar as parcelas faltantes, as quais usam informações auxiliares, como: concentração, granulometria do material em suspensão, natureza e granulometria do material de fundo e informações relativas às condições de escoamento na seção de medição (YANG, 1996).

Vários são os métodos para calcular a descarga sólida. Não há um método que possa ser considerado definitivo ou mais adequado. Cada caso deve ser estudado isoladamente e os métodos devem ser criticados individualmente.

Os métodos diferenciam-se pelas características de movimentação das partículas encontradas no rio, e, portanto, estão divididos em dois grupos: material do leito e transporte de fundo. A diferença entre os dois grupos é bastante tênue. Os métodos para o cálculo da descarga sólida do leito (material do leito) consideram que o material do leito se movimenta como carga de arrasto e como carga saltante, incorporando-se também ao material em suspensão, sendo consideradas normalmente partículas maiores que argila e silte (CARVALHO, 2008). Portanto, esses métodos excluem a descarga de material fino. Alguns métodos desse tipo são: Colby, Engelund e Hansen, Ackers e White, Yang, Laursen e Toffaleti.

No caso dos métodos para o cálculo da descarga sólida de arrasto (transporte de fundo), considera-se a carga sólida em contato permanente com o leito, rolando ou deslizando, e partículas que saltitam bem próximas ao leito. São exemplos desse método: Meyer-Peter e Muller, Schoklitsch, Einstein-Brow, Kalinske e Rottner.

A Tabela 29 foi reproduzida de Okawa, Manassés e Nagashima (1997) e ilustra os dados requeridos para os cálculos dos seguintes métodos: Ackers e White, Yang, Engelund e Hansen, Schoklitsch, Meyer-Peter e Muller, Colby e Kalinske.

Tabela 29 – Dados requeridos para cálculo por diversas fórmulas.

Variáveis medidas	Método						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Vazão líquida		X			X	X	
Largura da seção	X	X	X				X
Profundidade média	X		X	X	X	X	X
Velocidade média	X		X	X	X	X	X
Declividade da linha de energia	X	X		X	X	X	X
Concentração sedimentos em suspensão			X			X	
Curva granulométrica material leito	X	X		X	X	X	X
Temperatura da água					X	X	
Massa específica da água	X				X		
Peso específico da água	X				X		X
Peso específico material do leito	X				X		X
Viscosidade cinemática					X	X	
Velocidade de queda						X	

Nota: (1) Meyer-Peter e Muller; (2) Schoklitsch; (3) Colby; (4) Kalinske; (5) Ackers e White; (6) Yang; (7) Engelund e Hansen.

Fonte: Okawa, Manassés e Nagashima (1997).

Segundo Carvalho (2008), os três métodos mais populares no meio técnico brasileiro são Colby, Einstein e Meyer-Peter e Muller. Um levantamento feito até 1973 por Alonso (1983 apud MORRIS; FAN, 1997) listou 31 diferentes equações para determinação indireta da descarga sólida do leito. Yang (1996) discute detalhadamente a aplicação de equações e fornece um programa contendo 12 formas para calcular a descarga do leito considerando o material do leito e 8 formas considerando o transporte de fundo. O programa contém as 13 equações consideradas mais usuais: Ackers e White; Colby; Einstein carga do leito; Einstein material do leito; Engelund e Hansen; Kalinske; Laursen; Meyer-Peter e Muller; Rottner; Schoklitsch; Toffaleti; Yang 1973; e Yang 1984.

Como a maioria das equações para cálculo da descarga sólida de fundo foi desenvolvida para condições específicas, recomenda-se a aplicação de várias delas para, posteriormente, decidir pelos resultados mais coerentes. No entanto, antes da aplicação indiscriminada de equações teóricas, são necessárias duas etapas básicas preliminares (ECKHARDT; WILSON JR, 1998): (i) estudar as equações do transporte sólido a serem utilizadas, verificando suas hipóteses básicas e simplificadoras, as características hidrodinâmicas e sedimentológicas em que foram deduzidas e em que condições experimentais foram obtidos seus coeficientes; (ii) verificar se as hipóteses básicas e simplificadoras, assim como os valores dos coeficientes utilizados, se aplicam aos rios estudados, reproduzindo nestes os ensaios necessários para essas verificações. A Tabela 30 mostra em que condições algumas dessas equações foram desenvolvidas (SANTOS et al., 2001).

Tabela 30 – Intervalo e tipo de dados utilizados no desenvolvimento de algumas equações.

Equação	Tipo	Textura uniforme	Tamanho do material (mm)	Condições da pesquisa
Meyer-Peter e Muller	CL	Sim	0,4 – 30	Canais, D<1,2
Laursen	ML	Não	0,011 – 4,08	Canais e rios
Toffaleti	ML	Não	Areia fina: 0,1 – 1,3	Canais e rios, 0,03<D<15,24
Ackers e White	ML	Sim	1 – 3	Canais e rios de planícies
Yang (areia)	ML	Sim	0,152 – 1,35	Canais e rios 0,03<D<15,24
Colby	ML	Sim	0,1 – 0,8	Canais e rios 0,03<D<30,48
Shen e Hung	ML	Sim	Areias	Canais e rios rasos
Einstein Modificado	CT	Não	0,28	Canais e rios
Einstein	ML	Não	0,785 – 28,65	-

Nota: CL – carga do leito; ML – material do leito; CT – carga total; D – profundidade em metros.
Fonte: Morris e Fan (1997 apud SANTOS et al., 2001).

A seguir, são descritos alguns métodos para o cálculo da descarga sólida do leito (material do leito), da descarga sólida de arrasto (transporte de fundo) e da descarga sólida total. Esses métodos foram utilizados em Lactec (2001), estudo que apresentou os resultados do monitoramento do processo de assoreamento do reservatório da UHE Mascarenhas (evolução do processo até o ano de 2001), bem como a determinação da descarga sólida por diferentes métodos de cálculo em quatro estações fluviométricas da bacia do rio Doce, situadas próximo ao empreendimento. Lactec (2001) apresenta uma breve descrição de diversos métodos de determinação da descarga sólida, a qual se encontra transcrita nos itens a seguir (métodos separados por material do leito, transporte de fundo e descarga sólida total). A análise realizada no referido estudo auxiliou na escolha do método de determinação da descarga sólida a ser adotado no presente estudo.

Métodos para o cálculo da descarga sólida do leito (material do leito)

Colby

Para aplicação do método de Colby, são necessários poucos dados de campo, tais como: velocidade média, área do rio além da concentração suspensa na água definida em laboratório. Esse método diferencia-se dos demais pelo fato de o gradiente de energia não ser empregado em seus cálculos. Esses fatores tornam o método de Colby o de mais fácil utilização e, portanto, o mais comumente utilizado. Ele é recomendado para areias com diâmetro médio entre 0,1 e 1,0 mm.

Ackers e White

Considera que sedimentos grossos são transportados principalmente como transporte de fundo, e somente uma parte da tensão de cisalhamento no leito do canal causa o movimento dos sedimentos grossos. Sedimentos finos são transportados como carga em suspensão devido à tensão de cisalhamento total que causa o movimento. Nesse processo, tornam-se importantes dados de viscosidade da água, profundidade, velocidade e vazão do rio, sendo o diâmetro médio da partícula um fator de grande importância.

Yang para areias

Baseado na análise dimensional e no conceito de potência unitária do escoamento. A potência unitária do escoamento é o valor de energia potencial dissipada por unidade de peso da água, sendo expressa pelo produto da velocidade da corrente pela declividade. Alguns dados são de fundamental importância e interferem diretamente no resultado obtido, tais como o diâmetro médio e a velocidade de queda da partícula, além da viscosidade.

Laursen

Baseado em equações empíricas, este método calcula a concentração média da descarga do material do leito. Além de dados comumente empregados em métodos anteriormente citados, emprega-se o valor da velocidade de cisalhamento, da velocidade de queda da partícula e o gradiente de energia, sendo este último um fator que interfere diretamente no resultado a ser obtido.

Engelund e Hansen

Este método usa o conceito de potência da corrente e o princípio da similaridade, tendo como única restrição a condição de que o diâmetro médio deve ser superior a 0,15 mm. Os dados empregados nesse método são os normalmente empregados nos demais métodos, sendo o gradiente de energia de fundamental importância.

Toffaleti

Desenvolvido a partir de conceitos de Einstein e de Chien. O sedimento do leito é dividido em classes granulométricas nas quais o tamanho máximo em cada fração é duas vezes o diâmetro mínimo. A descarga sólida é considerada como a soma das descargas parciais calculadas para cada uma das classes. Toffaleti definiu que a fórmula é válida para material do leito de 0,062 a 16 mm. Nesse caso, além do diâmetro médio (D50), é necessário o diâmetro em que passa 65% (D65), além de dados de campo geralmente obtidos, tais como velocidade média, vazão, profundidade e largura do rio.

Métodos para o cálculo da descarga sólida de arrasto (transporte de fundo)

Schoklitsch

A fórmula de Schoklitsch é baseada no movimento do transporte de fundo, isto é, calcula a carga de arrasto, e foi desenvolvida para sedimentos com granulometria média de 0,3 a 0,5 mm, ou seja, entre areia média e grossa. O princípio desse método é que o material do leito começa a se mover em descarga crítica, sendo que a descarga do leito é proporcional ao valor do trabalho realizado pela força trativa em excesso e é necessária para superar a resistência ao longo do perímetro molhado. Esse método apresenta fórmulas de simples aplicação, as quais requerem poucos dados, tais como o diâmetro médio e o gradiente de energia.

Einstein e Brown

Esta fórmula é uma modificação efetuada por Brown, em 1943, do processo apresentado por Einstein, em 1942. Einstein reconheceu a influência das forças hidrodinâmicas no transporte de sedimento, tendo relacionado a probabilidade do movimento de partículas ao parâmetro adimensional da intensidade de transporte. Fatores tais como viscosidade da água, peso específico do sedimento e tensão de cisalhamento total do leito são levados em consideração na aplicação desse método.

Kalinske

Este método é baseado na equação de continuidade, a qual determina que a descarga do leito é igual ao produto da velocidade média das partículas em movimento pelo peso de cada partícula e pelo número de partículas. A velocidade média da partícula é função da razão do cisalhamento crítico para o cisalhamento total. A fórmula pode ser aplicada à composição de areias pela soma da descarga sólida calculada para todas as classes granulométricas. Esse método leva em consideração a tensão de cisalhamento total no leito, o diâmetro médio das partículas, além da velocidade média do escoamento.

Meyer-Peter e Muller

Baseado em equações empíricas, este método é válido para areias e pedregulhos com diâmetros compreendidos entre 0,4 e 30 mm. Um fator de grande importância nesse processo é o gradiente de energia, pois o potencial do rio influi diretamente nos resultados, além de considerar a profundidade e o diâmetro médio das partículas.

Rottner

Esta fórmula foi baseada em estimativas dimensionais e em coeficientes empíricos. Foi desenvolvida a partir da análise de 2.500 observações experimentais. Rottner aplicou análise de regressão para determinar o efeito de um parâmetro de rugosidade D50/p, desenvolvendo uma equação dimensionalmente homogênea. Levou-se em consideração a profundidade, o diâmetro médio e a velocidade média. Essa equação não é aplicável quando pequenas quantidades de material do leito estão em movimento.

Cálculo da descarga sólida total

Método Einstein Modificado

Este método aparenta ser mais completo e de maior confiança, comparado com os anteriormente citados, já que calcula a descarga sólida total, através do detalhamento da granulometria do material em suspensão. Para sua execução, são necessários vários dados de campo, tais como profundidade, largura, velocidade, além de dados de laboratório como a análise granulométrica do material do leito e em suspensão. O que o distingue dos demais métodos é o fato de usar frações granulométricas, considerando desde argila até cascalho, além dos dados de suspensão, também divididos nessas várias classes.

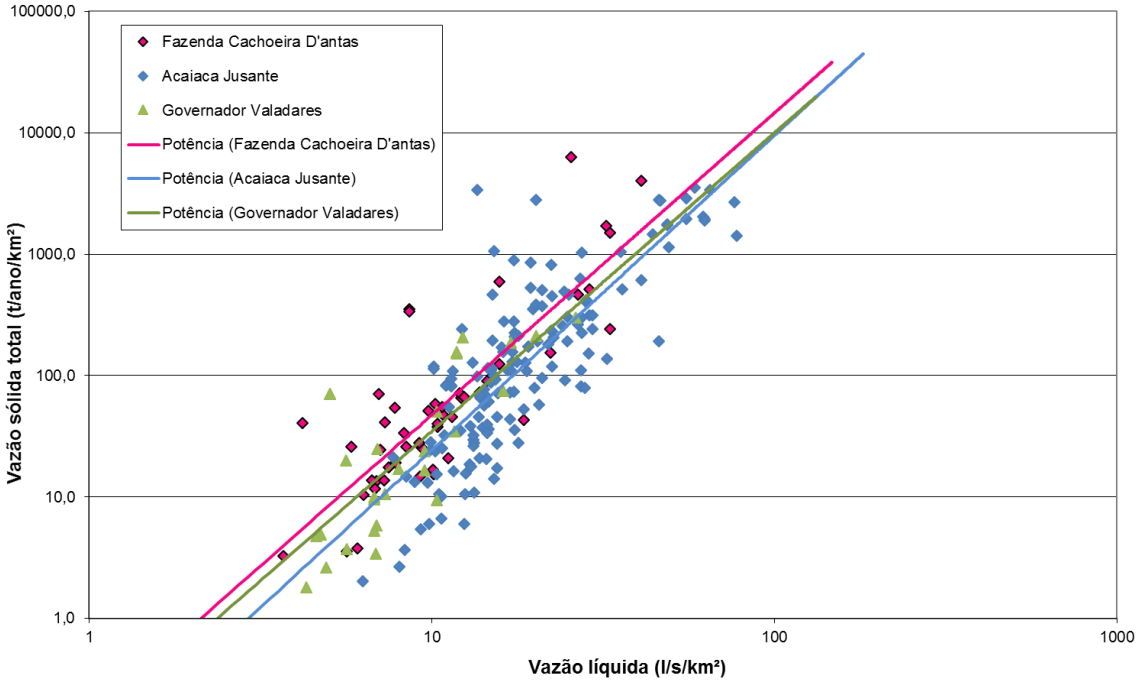
O gradiente de energia citado nos métodos anteriores não é usado aqui, pois o método de Einstein Modificado calcula internamente esse valor. Constatou-se que o valor obtido para o gradiente de energia supera o valor usual, aproximadamente, entre 2 e 5 vezes, podendo ser um fator de distorção dos resultados finais da descarga sólida.

Esse método torna-se sensível devido, primeiramente, ao grande número de dados necessários para sua aplicação, além do número de equações e ábacos necessários para sua finalização. Além disso, nota-se que uma pequena variação nos dados de entrada e na interpretação dos ábacos pode gerar alteração significativa nos resultados, especialmente em períodos de estiagem. Às vezes, torna-se necessária a extrapolação de algumas faixas de certos ábacos. O diâmetro da partícula e a profundidade são de grande importância.

3.5.2.9 Distribuição dos sedimentos no tempo

Segundo Santos et al. (2001), a distribuição dos sedimentos no tempo está relacionada ao comportamento da vazão, ou seja, os maiores volumes de sedimentos (produção sólida) são transportados pelas maiores vazões. Embora não seja linear e sofra grandes variações no espaço e no tempo, essa relação permite associar a massa de sedimentos transportados na unidade de tempo, ou descarga sólida, às vazões líquidas, originando a "curva-chave de sedimentos" ou "curva de descarga sólida". A obtenção da curva de descarga sólida permite obter séries temporais do volume transportado em determinada seção. A Figura 117 apresenta a curva-chave de sedimentos obtida com os dados monitorados para três distintas estações sedimentométricas do rio Doce.

Figura 117 – Curva-chave de sedimentos em três diferentes locais do rio Doce



Quando a relação entre descarga sólida e vazão líquida não apresenta bons resultados, pode-se, alternativamente, relacionar a descarga sólida com outras características (regressão simples ou múltipla), tais como velocidade, declividade, profundidade, tensão de cisalhamento, potência da corrente e potência unitária da corrente, adotando-se o melhor resultado (CARVALHO, 2008). Também a correlação da concentração de sedimentos com a precipitação na bacia (às vezes defasada no tempo) pode produzir resultados bastante razoáveis. A curva-chave de sedimentos, que nada mais é do que a equação de regressão sem o termo de erro, permite estimar os valores da descarga sólida ao longo do tempo a partir de medições esporádicas do transporte de sedimentos, desde que se disponha no local de uma série contínua de vazões líquidas médias diárias (CARVALHO, 2008).

Apesar da praticidade dessa aplicação amplamente empregada, cabe ressaltar as limitações dessa metodologia visto que a vazão sólida não depende apenas da vazão líquida, mas de diversos outros fatores, como quantidades de sedimentos disponíveis na calha e depressões, condições das áreas de pastagem (variáveis ao longo do ano), etapa do processo agrícola (aragem da terra, plantio, crescimento, colheita etc.), forma de distribuição da chuva etc.

Todos os fatores acima normalmente desencadeiam no efeito histerese, o qual, segundo Klein (1984 apud MORO, 2011), é considerado como a defasagem verificada entre os picos de vazão e concentração de sólidos em suspensão.

Apesar de todas as limitações impostas anteriormente, a curva-chave de sedimentos pode se constituir em uma metodologia robusta para estabelecer a produção média de sedimentos de uma bacia hidrográfica, desde que esteja disponível um razoável número de medições (faixa ampla de magnitude de vazões líquidas) e cobrindo um período significativo de monitoramento (maior que 15 anos). Além disso, a extensão da extrapolação dessa curva deve ser analisada quanto à interferência nos resultados finais, cuja congruência deverá ser analisada frente à erosão bruta da bacia (perda de solo).

3.5.2.10 Estimativa do assoreamento em reservatórios

Durante a existência de um reservatório ocorre a alteração das condições hidráulicas do corpo d'água e, consequentemente, das condições de transporte de material particulado. Com a redução da velocidade provocada pelo grande volume de água represado pela barragem, parte do material particulado fica retida no reservatório que, com o passar do tempo, terá o seu volume útil reduzido. Esse fenômeno, denominado assoreamento, pode trazer implicações também à qualidade da água, à vida aquática e aos usos múltiplos do reservatório.

O estágio de assoreamento em um reservatório determina sua vida útil. Para os reservatórios destinados à produção de energia elétrica e/ou ao abastecimento, a vida útil é definida como o tempo, normalmente em anos, que o nível do depósito de sedimentos alcança a soleira da tomada d'água (CARVALHO, 2008).

A deposição do material particulado se dá preferencialmente nas seções do lago onde o rio principal ou os afluentes diretos o acessam. Como já exposto anteriormente, esse material é resultante de diversos processos existentes na bacia hidrográfica a montante do reservatório, que podem ser naturais ou influenciados pelo homem, como erosão de solos, lançamento de efluentes, entre outros.

Os sólidos que não sedimentarem no reservatório serão transportados para jusante pela água liberada pelo vertedor ou pelo canal de fuga. Uma vez que a quantidade de material sedimentável é relativamente menor, o rio a jusante pode apresentar caráter mais "erosivo". Eventuais depósitos de material anteriormente sedimentado em ilhas ou margens do trecho do rio a jusante da barragem podem ser erodidos e os sedimentos retirados pelas águas podem não ser realimentados na mesma proporção.

O melhor procedimento de apoio para avaliações do processo de sedimentação já ocorrido em um reservatório é através do levantamento batimétrico (levantamento detalhado do relevo da "seção molhada" ou parte submersa da seção transversal). Para avaliações futuras do processo de sedimentação ou para avaliação de cenários do processo de assoreamento, contamos com modelagem hidromórfica (hidrodinâmica mais morfologia) computacional.

Uma outra metodologia utilizada para estimativa do assoreamento faz uso de modelos empíricos de retenção de sedimentos, tal como a metodologia apresentada em BUREC (1987), a qual consiste na obtenção dos seguintes tópicos:

- produção de sedimentos (descarga sólida média anual obtida preferencialmente a partir de dados observados);
- eficiência de retenção (método empírico – Curva de Brune ou Churchill);
- peso específico aparente médio (variável ao longo do tempo);
- volume de sedimentos assoreado ao longo do tempo.

No cálculo do assoreamento, todos os principais termos envolvidos são variáveis ao longo do tempo – a descarga sólida pode aumentar com a erosão na bacia ou diminuir com a implantação de medidas de controle, a eficiência de retenção diminui à medida que os

depósitos se formam e o peso específico aparente vai aumentando ao longo do tempo com a compactação do assoreamento.

3.5.2.11 Hidrodinâmica estuarina e costeira

As correntes marítimas ou oceânicas, fluxos de água com características comuns que se deslocam ao longo dos oceanos, são influenciadas pelos ventos, pela variação da densidade e da pressão das águas, pela rotação da terra, entre outros fatores. De maneira geral, as correntes marítimas são relativamente estáveis.

As correntes marítimas são predominantes, entretanto, na plataforma continental (próximo à região litorânea do continente) outros fatores influenciam significativamente na configuração da corrente marítima, como, por exemplo: profundidade do mar, ventos, marés, condições meteorológicas, entre outros. Segundo Tomczad (1998 apud IEMA, 2014, os ventos e marés são os principais forçantes que influenciam a circulação nas zonas costeiras, cuja importância individual se alterna de acordo com fatores locais, tais como fisiografia e condições climáticas.

As correntes marítimas de grande escala fornecem as condições de contorno para os modelos de escala relevante para este estudo. Já em relação a um estuário (ambiente aquático de transição entre rio e mar, onde ocorre a mistura de água doce com água salgada), a hidrodinâmica deste depende basicamente dos mesmos processos que afetam a hidrodinâmica costeira. Entretanto, é importante destacar que para este tipo de ambiente, a vazão fluvial atua como um forçante adicional. Além disto, a geometria das margens e do fundo (batimetria) e a dinâmica das ondas desempenham papel especialmente relevante na hidrodinâmica de estuários e consequentemente no transporte de sedimentos.

Marés

A ocorrência de marés corresponde ao fenômeno caracterizado pela oscilação do nível do mar em uma determinada região. Essa oscilação tem uma explicação astronômica e uma explicação meteorológica. Ou seja, a maré total (observada) é a soma destes dois fenômenos: a maré astronômica e a meteorológica.

A maré astronômica é gerada pela rotação da Terra sendo influenciada pela posição relativa entre o Sol, a Terra e a Lua juntamente com as forças gravitacionais envolvidas. Todos esses fatores que geram a maré astronômica caracterizam genericamente as oscilações do nível do mar, imprimindo às oscilações um caráter harmônico. Logo, essas oscilações podem ser representadas, aplicando-se o método harmônico, pela soma de várias funções senoidais, chamadas constituintes harmônicas (usa-se também os termos ‘componentes’ ou ‘constantes’). Tais constituintes harmônicas são devidas, em grande parte, ao fato de que os trajetos de translação do Sol e da Lua em relação à Terra são elipses e não círculos, e ao fato de que os planos de translação não estão sempre no plano equatorial da Terra, mas movem-se para Norte e Sul com um ciclo anual para o Sol e mensal para a Lua.

Já a maré meteorológica tem relação com a interação entre o oceano e a atmosfera da Terra. Segundo Nunes (2007), os principais fatores envolvidos são a pressão atmosférica

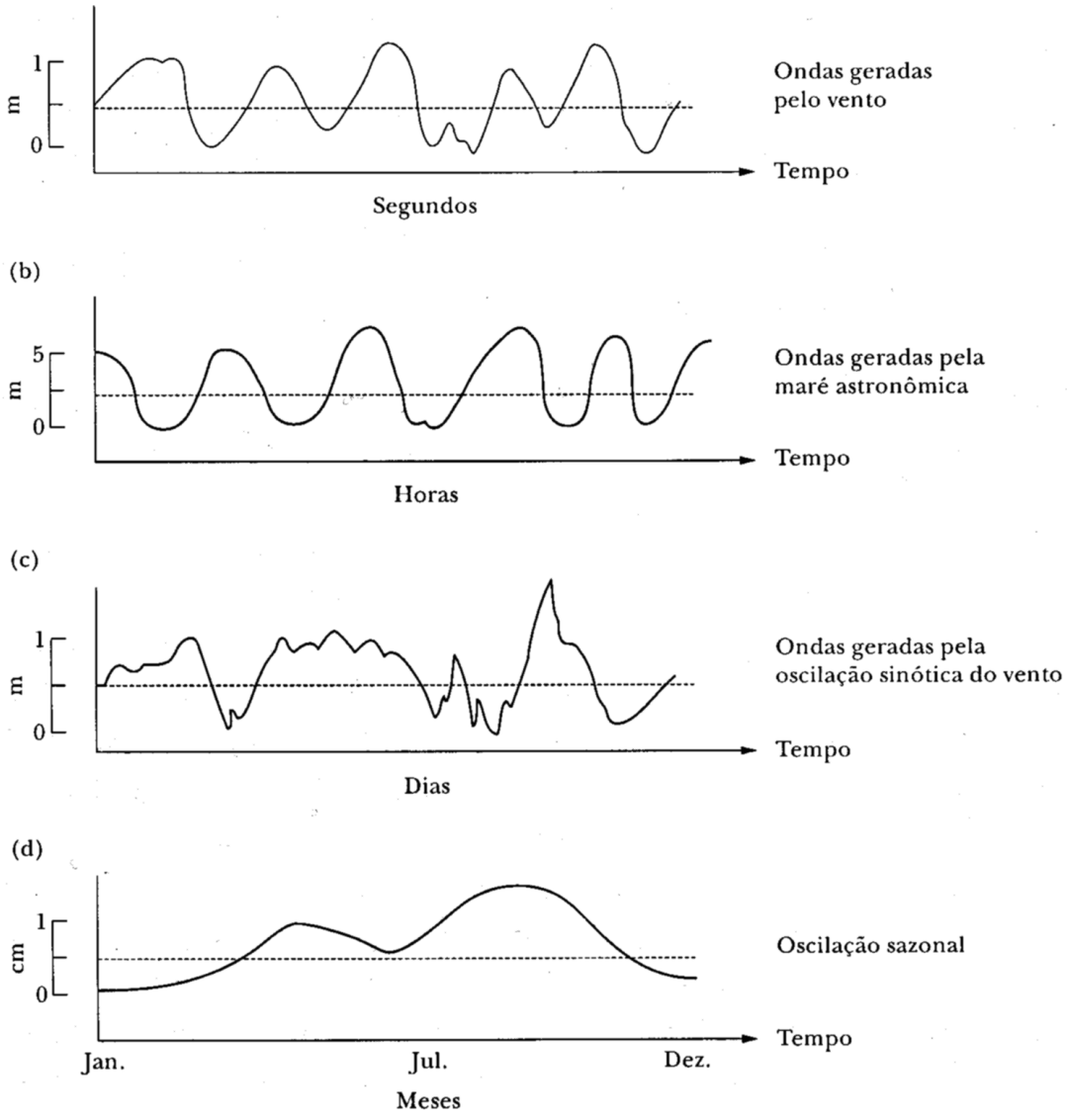
(conhecido como efeito do barômetro invertido, segundo o princípio de Torricelli) e ao efeito da tensão do vento sobre suas superfícies (associado ao transporte de Ekman e à geração de ondas). As marés meteorológicas são deixadas como resíduos da análise harmônica de maré e não podem ser previstas através dessa análise (a menos que elas possuam uma periodicidade, por exemplo os efeitos de brisa terra-mar ou efeitos radiacionais. Na ausência de distúrbios meteorológicos, as previsões de maré têm geralmente precisão entre ±3 cm e ±5 cm.

Efeitos meteorológicos, excetuando-se eventos extremos como furacões, podem causar diferenças no sinal de maré de dezenas de centímetros a dezenas de minutos. Exemplificando, o mar costeiro responde na forma de um barômetro invertido às oscilações de pressão atmosférica, capazes de elevar a superfície do mar cerca de um centímetro para cada milibar de decréscimo da pressão atmosférica (WOOD; FLEMING, 1981).

Os efeitos meteorológicos sobre o nível do mar podem ser previstos por meio de simulações com modelos numéricos hidrodinâmicos.

As flutuações do nível de água do mar estão associadas a escalas que variam desde centímetros a vários metros e, no tempo, de segundos a meses, ou mesmo anos, tal como ilustrado esquematicamente na Figura 118.

Figura 118 – Escalas temporal e espacial vertical das variações do nível do mar.



Fonte: Miranda et al. (2002).

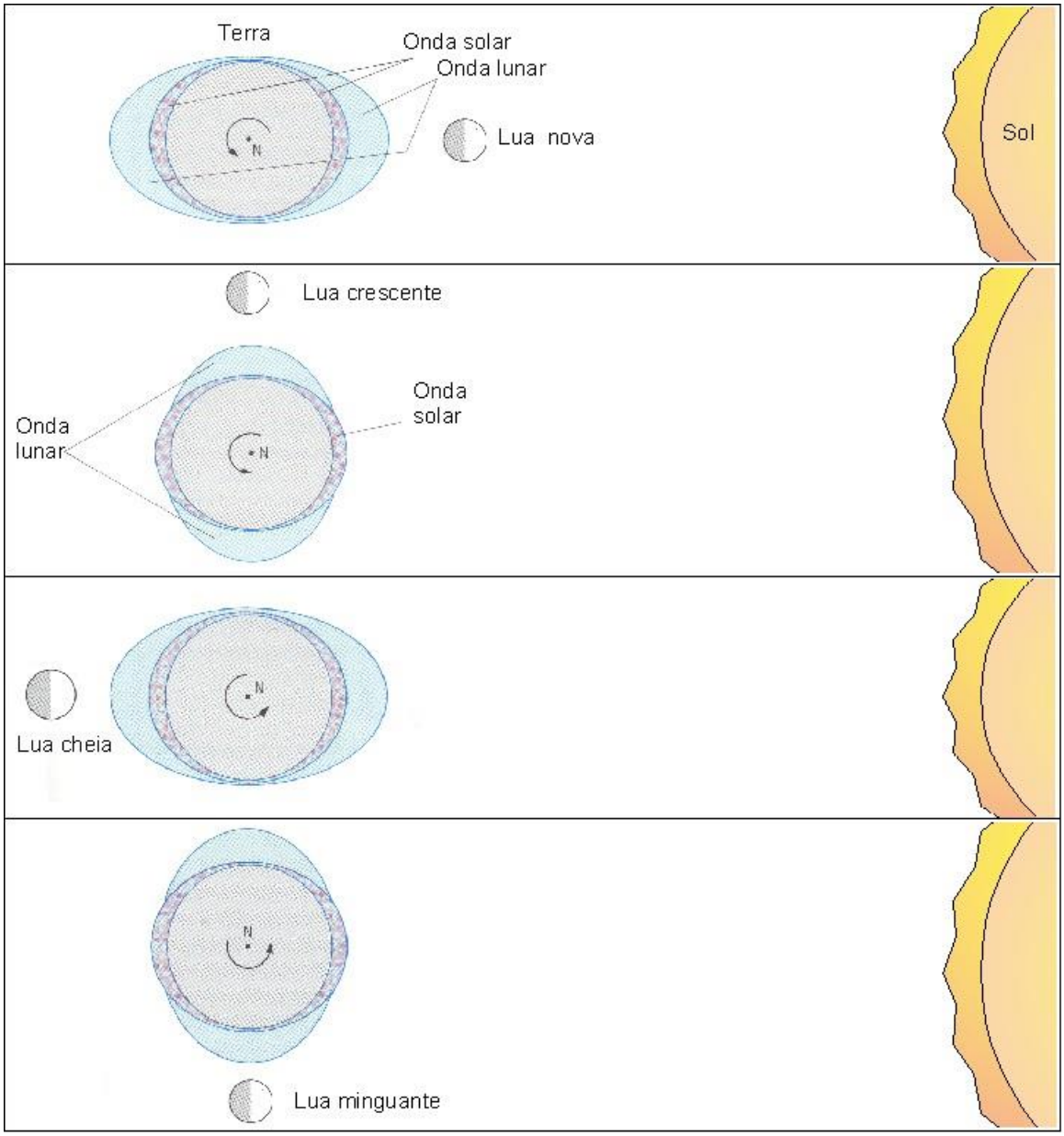
Observa-se na Figura 118 que a influência da maré astronômica é, em geral, dominante tanto em intensidade quanto em frequência de ocorrência. Como as oscilações da maré, com escala de tempo de horas, têm altura predominante (com exceção dos litorais onde a amplitude da maré é pequena) e períodos de ocorrência predominante semidiurno (12,4 horas) ou diurno (25,0 horas), correspondendo a frequências de duas ou uma oscilação por dia, costuma-se adotar essas frequências como referência e classificá-las de frequência de maré ou alta frequência. As variações do nível do mar com escalas de tempo de segundos passam a ser referidas como frequências supramaré (frequência superior a 1 e 2 ciclos por dia) e as variações com escalas de semanas, meses ou anos são referidas como frequência submaré ou baixa frequência (oscilações com frequência inferior às da maré). Embora a escala temporal de variação do nível do mar seja muito ampla e com ocorrência simultânea, as características hidrodinâmicas dos estuários são controladas principalmente pelas marés semidiurnas e diurnas.

As oscilações sazonais, com períodos de dias a anos, podem ser ocasionadas, por exemplo, pela influência de meandros e vórtices das correntes oceânicas, por ventos, por oscilações de pressão atmosférica ou por processos climáticos globais como o El Ninõ.

A amplitude da maré é maior que a média durante a Lua cheia e a Lua nova, ou seja, quando o Sol e a Lua estão, respectivamente, em conjunção e oposição em relação à Terra. Para representar ambos os casos, usa-se dizer que a Lua está em sizígia, originando o termo 'maré de sizígia'. Durante a Lua crescente e a Lua minguante, quando o sistema Lua-Terra-Sol forma um ângulo próximo de 90°, a amplitude da maré é menor do que a média, e diz-se que a Lua está em quadratura, originando o termo 'maré de quadratura'.

A Figura 119 apresenta de forma esquemática as principais posições relativas do sistema Lua-Terra-Sol e a sobreposição da influência da Lua e do Sol sobre a forma do oceano. Constituintes com periodicidade sazonal fazem com que no outono e na primavera a maré de sizígia alcance o valor máximo, enquanto o mínimo ocorre no inverno e no verão.

Figura 119 – Representação simplificada da interação entre os efeitos da Lua e do Sol sobre a maré, vista de um ponto acima do Polo Norte.



Correntes induzidas por vento

Quando o vento atua sobre o mar, a energia é transferida do vento para as camadas superiores do mar. Parte dessa energia é gasta na geração de ondas de gravidade superficiais (que conduzem a um pequeno movimento médio da água na direção da propagação da onda) e parte é gasta na formação de correntes. Os processos pelos quais a energia é transferida entre ondas e correntes são complexos. Entretanto, é possível fazer algumas afirmações e previsões sobre a ação do vento no mar.

A força de atrito agindo sobre a superfície livre, e as correntes superficiais por ela produzidas crescem com o aumento da velocidade do vento. Tal força de atrito é chamada

tensão do vento. Por meio de experimentos, descobriu-se que a tensão do vento τ_w é proporcional ao quadrado da velocidade do vento v_w. Portanto:

$$\tau_\omega = \rho_a c v^2$$

Onde ρ_a é a densidade do ar e o valor de c (coeficiente de arraste) depende das condições atmosféricas dominantes e as formas na superfície (ondas).

Quanto mais turbulenta a atmosfera, maior é o valor de c. O valor decresce com o aumento da velocidade do vento, que não apenas aumenta a quantidade de convecção turbulenta na atmosfera sobre o mar, mas aumenta a rugosidade da superfície livre.

A velocidade do vento diminui com a proximidade da superfície do mar, devido ao atrito com esta, formando a camada limite. Portanto, o valor de c a ser usado depende grandemente da altura em que o vento é medido; esta é geralmente igual a 10 m, a altura do convés de um navio. Como aproximação inicial, pode-se dizer que um vento com uma velocidade de 10 m/s de 5 a 10 m sobre a superfície livre dará origem a uma tensão de vento da ordem de 0,2 N/m^2.

Apesar de não ser constante, um valor de c em torno de 2 x 10^{-3} fornece valores de τ_w com precisão dentro de um fator 2, e em geral, consideravelmente melhor que isso. Outra observação empírica útil, a ser usada como aproximação grosseira, é que a velocidade da corrente superficial é tipicamente cerca de 3% da velocidade do vento, de modo que um vento de 10 m/s criará uma corrente de aproximadamente 0,3 m/s.

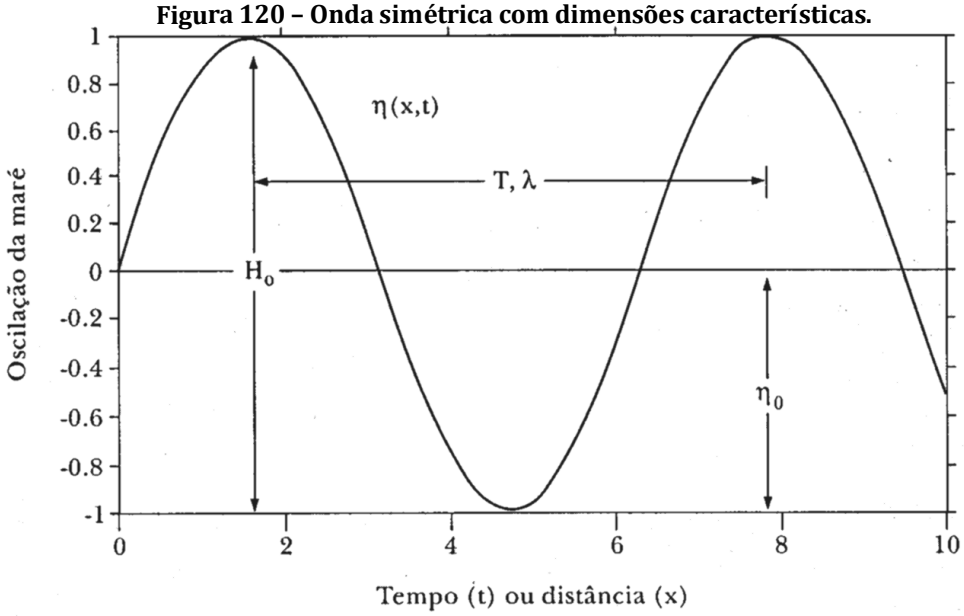
Ondas geradas pelo vento

Pode-se assumir que as ondas geradas pelo vento na superfície do oceano possuem uma forma simples, similar a uma senoide (em uma seção vertical).

As ondas geradas pelo vento no oceano são consequência direta do campo de vento, atuando por algumas horas sobre uma grande área da superfície do mar denominada pista do vento. Como resultado desse processo, ocorre a formação de oscilações irregulares da superfície, as quais se propagam, afastando-se do ponto da ação direto do vento e passando a ser referidas por *swell*. O *swell* consiste de conjuntos uniformes de ondas que sofrem decaimento na medida em que o comprimento de onda (distância entre duas cristas consecutivas) aumenta e a altura da onda diminui (diferença da elevação entre os níveis máximo – crista ou preamar – e mínimo – cavado ou baixamar). À medida que essas ondas atingem águas mais rasas, um processo de amplificação tem início. A velocidade e o comprimento da onda diminuem e a sua altura aumenta até atingir um máximo, onde ocorre a sua quebra e dissipação nas praias.

A Figura 120 apresenta o perfil vertical de uma onda com suas dimensões características.

Figura 120 – Onda simétrica com dimensões características.



Fonte: Miranda et al. (2002).

Descarga fluvial

Para estabelecer, em primeira aproximação, a importância relativa entre as forçantes maré e descarga fluvial, pode-se usar o número adimensional dado pela razão entre o volume de água fluvial descarregado no estuário e o volume de água do mar que entra no estuário durante a maré enchente. Quando o primeiro volume se destaca expressivamente em relação ao segundo, diz-se que o estuário é dominado pela descarga fluvial, ou pela maré no caso contrário.

Outro importante parâmetro relacionado com a descarga fluvial é o tempo de descarga ("flushing time"), que serve como indicador da capacidade de remoção da concentração de substâncias do estuário.

Salinidade, temperatura, pressão e densidade

Os três parâmetros mais importantes, que formam a base da descrição dos oceanos, são a temperatura, a salinidade e a pressão já que definem a densidade da água. Por sua vez, os gradientes de densidade podem induzir mistura e escoamentos ou até limitar trocas de substâncias quando se trata de ambientes estratificados.

A salinidade *S* é uma propriedade físico-química que apresenta a medida da concentração dos sais dissolvidos ionicamente na água do mar, ou seja, é a razão da massa dos sais (m) pela massa de mistura que os contém (M). Assim, a salinidade pode ser expressa em gramas por quilograma, partes por mil (‰), ou na escala prática de salinidade (PSU, do inglês *Practical Salinity Unit*).

As proporções dos sais contidos na água do mar são marcadamente constantes, e a salinidade, que é a somatória dessas substâncias, é uma quantidade muito bem definida nos oceanos. No estuário, a salinidade apresenta grandes variações no espaço e no tempo, $S = S(x, y, z, t)$, principalmente devido aos processos advectivos e difusivos e à descarga fluvial. As trocas de massa do corpo de água estuarino com a atmosfera (precipitação – evaporação) em geral não desempenham um papel muito importante sobre a variação dessa propriedade.

A temperatura T é uma propriedade termodinâmica que pode ser entendida como uma medida da concentração de calor de um elemento de volume. Essa propriedade apresenta variações no espaço e no tempo, $T = T(x, y, z, t)$, devidas a processos advectivos e difusivos e a trocas de calor com a atmosfera. Em oceanografia, convencionou-se expressar a temperatura T em graus Celsius (°C).

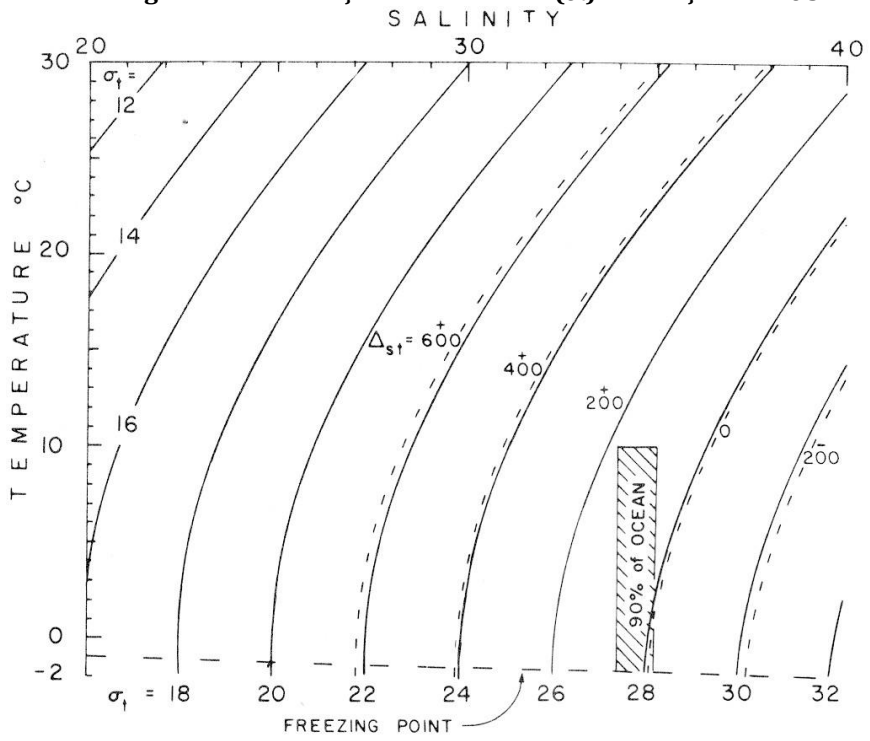
Em condições hidrostáticas, a pressão p em um ponto é função do peso da coluna de água acima do ponto, ou seja, da profundidade e da densidade da água da coluna. Como regra aproximada, usa-se a relação de 10 kPa para cada metro de profundidade. Sua unidade convencional em oceanografia é o kilopascal (kPa).

A densidade ρ da água é a relação entre a massa e o volume e depende dos três parâmetros anteriores: salinidade, temperatura e pressão. A pressão, neste caso, não tem um papel importante, já que água é considerada incompressível. Do ponto de vista da oceanografia dinâmica, o ponto mais importante relativo ao campo de densidade ρ é a forma como essa grandeza varia com as mudanças dos campos de T, S e p. A densidade varia com a temperatura e salinidade de forma não linear através da equação de estado (UNESCO, 1981). A dependência com a salinidade tem maior peso. A água pura possui um máximo de densidade a 4 °C ao nível do mar.

A densidade ρ é expressa em $kg.m^{-3}$ ou , na oceanografia, representada por $\sigma_t = \rho - 1000$. Embora σ_t possua a mesma dimensão da densidade, por convenção, sua unidade é omitida. A variação da densidade, expressa em σ_t, é mostrada na Figura 121 para temperatura variando entre -2 °C e 30 °C e salinidade entre 20 e 40 g/kg, o que cobre a faixa observada em oceano aberto. Como regra prática aproximada, considera-se que a densidade aumenta 1 kg/m^3 para uma diminuição de temperatura de 5 °C, para um aumento de salinidade de 1 g/kg ou para um acréscimo de pressão de 2000 kPa (equivalente a um aumento de profundidade de aproximadamente 200 m).

Em águas oceânicas, observa-se maiores variações no campo de temperatura do que no campo de salinidade. Aproximadamente 90% do volume dos oceanos possui uma faixa de variação muito estreita, com temperatura variando entre -2 °C e 10 °C e salinidade entre 34 e 35, como mostra a Figura 121. Esse volume de água é em sua grande maioria composto por águas profundas.

Figura 121 – Variação da densidade (σ_t) em função de T e S.



Efeito de coriolis

Quando se considera o movimento de translação da Terra em torno do Sol, conclui-se que, como o raio de curvatura é muito grande e a velocidade angular pequena, o movimento pode ser aproximado por um movimento retilíneo e uniforme, ou seja, inercial. O mesmo não ocorre com o movimento de rotação em torno de seu próprio eixo, que gera forças adicionais sobre os corpos em movimento quando são estudados a partir de um sistema de coordenadas fixo à Terra (PETRONI, 2005).

A contribuição da rotação da Terra nos padrões da circulação oceânica pode ser compreendida com o seguinte exemplo: considere uma massa de água movendo-se para o Norte a partir do Equador. Quando deixa o Equador, a massa está se movendo tanto para Leste, com a mesma velocidade da superfície da Terra, quanto para o Norte, com sua velocidade inicial.

À medida que a massa se move para Norte, a Terra está girando para Leste, sob ela. No princípio, por possuir componente de velocidade para Leste de mesmo módulo que a da superfície da Terra, a massa de água parece seguir em linha reta. Por outro lado, a velocidade tangencial na superfície de um corpo que gira é função da distância da superfície ao eixo de rotação. Como a Terra é uma esfera, a distância ao eixo de rotação varia, fazendo com que sua velocidade tangencial na superfície se altere com a latitude. Assim, a velocidade da Terra para Leste na superfície é maior no Equador, diminuindo em direção aos polos, de forma que, à medida que a massa de água se move para Norte, a Terra move-se para Leste mais lentamente abaixo dela. Como resultado, em relação à Terra, a massa de água está se movendo não só para o Norte como também para o Leste, numa taxa progressivamente

maior. Essa aparente deflexão de objetos que estão se movendo sobre a superfície da Terra, não sujeitos ao atrito, como parcelas de água ou de ar, é levada em conta através da chamada força de Coriolis.

Na realidade, trata-se não de uma força real, mas de um efeito devido ao fato de que o sistema de referência adotado, fixo a um ponto qualquer na Terra, está em rotação (referencial não inercial), com velocidade tangencial dependente da posição.

A força de Coriolis é expressa, por unidade de massa, como o seguinte produto vetorial:

$$C = 2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

Onde:

$\vec{\Omega}$ = velocidade de rotação da Terra;

$\vec{V}$ = velocidade da massa de água em relação à Terra.

Apenas a componente horizontal C_H é significativa em estudos oceanográficos:

$$C_H = 2\Omega \sin(\varphi) V_H \times \vec{k}$$

Onde:

φ = latitude;

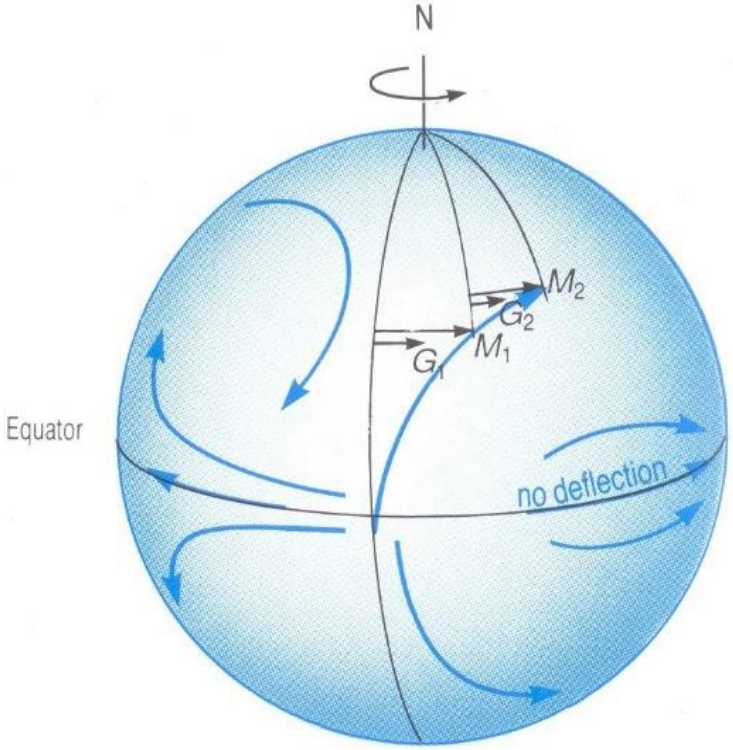
$V_H = u\vec{\imath} + v\vec{\jmath}$ = velocidade horizontal;

$\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$ = vetores unitários nas direções x, y e z.

A força de Coriolis só existe quando há movimento em relação à Terra, ou seja, quando $\vec{V} \neq 0$ e atua em ângulos retos em relação aos movimentos, defletindo-os para direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul, independentemente de sua direção inicial, como na Figura 122. Sua magnitude aumenta de zero ($\varphi = 0°$) no Equador até o máximo nos polos ($\varphi = 90°$).

Ventos e correntes oceânicas são movimentos relativamente lentos, sendo significativamente afetados pelo efeito de Coriolis. Exemplificando, uma massa de água movendo-se a 0,5 m/s numa latitude de 45° irá deslocar-se 1.800 m em uma hora e durante essa hora ela será defletida a 300 m em relação à sua trajetória de partida (assumindo que nenhuma outra força esteja se opondo a esse movimento).

Figura 122 – Deflexões causadas pelo efeito de Coriolis.



Fonte: The Open University (2001).

3.5.3 Metodologia para linha-base

Para realizar a caracterização proposta no presente tema, foram utilizados dados de diversas fontes: (a) estações de monitoramento disponibilizados no portal da Hidroweb (utilizados até out/2015); (b), dados consistidos até 2014 disponibilizados diretamente pela Agência Nacional de Águas (ANA); (c) informações obtidas do Atlas Digital das Águas de Minas; (d) informações obtidas do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a); (e) estudos realizados focando aspectos hidrológicos, hidráulicos e hidrogeomorfológicos da bacia.

A seleção das estações fluviométricas foi realizada com base na disponibilidade do período de dados (30 anos consecutivos até o ano de 2015) e cujo número de falhas não ultrapassasse 30% do total de dias do período selecionado. Além disso, foram selecionadas quaisquer estações situadas nos rios Santarém e Gualaxo do Norte, mesmo que não atendendo aos critérios de seleção adotados. A ideia foi selecionar um grupo de estações cujas análises comparativas pudessem ser realizadas sem o prejuízo de considerar extensões ou períodos muito distintos.

Os dados foram analisados considerando a obtenção de curvas de permanência de vazões médias específicas (contribuição por unidade de área), vazões Médias de Longo Termo (MLTs), vazões de longo termo mês a mês para os valores médios, máximos e mínimos. Todos os resultados citados consideraram apenas o período comum selecionado, ou no caso das estações dos rios Santarém e Gualaxo do Norte para todo o período disponível.

As estações hidrossedimentométricas da bacia do rio Doce foram selecionadas com base na distribuição geográfica e representatividade do período de monitoramento. Assim,

foram selecionadas as estações que possuem registros históricos recentes e com um período comum de monitoramento de no mínimo 15 anos.

As medições sólidas da bacia do rio Doce disponíveis na rede de monitoramento da ANA são constituídas da obtenção da concentração de sólidos totais em suspensão. Não são realizadas amostragens da carga sólida por arraste. Dada a ausência de mais informações para aplicação de outras fórmulas para determinação da descarga sólida total, foi utilizado o método de Colby nessa estimativa. No entanto, foram realizadas diversas análises para validação dessa metodologia com base em estudos anteriores.

Foram obtidas as curvas-chave de sedimentos para as diversas estações selecionadas.

O transporte sólido médio específico de cada local foi determinado com base na aplicação das curvas-chave sobre as séries de vazões médias diárias para o período base comum (1998-2015), pois se verificou diferenças significativas nessa média ao se adotar períodos distintos.

Os valores de transporte sólido médio específico foram utilizados na produção do mapa que representa esse parâmetro sobre a bacia do rio Doce.

A análise de assoreamento dos reservatórios e caracterização oceanográfica costeira, nesta etapa preliminar, foi realizada com base nas informações encontradas na literatura.

3.5.4 Resultados para linha-base

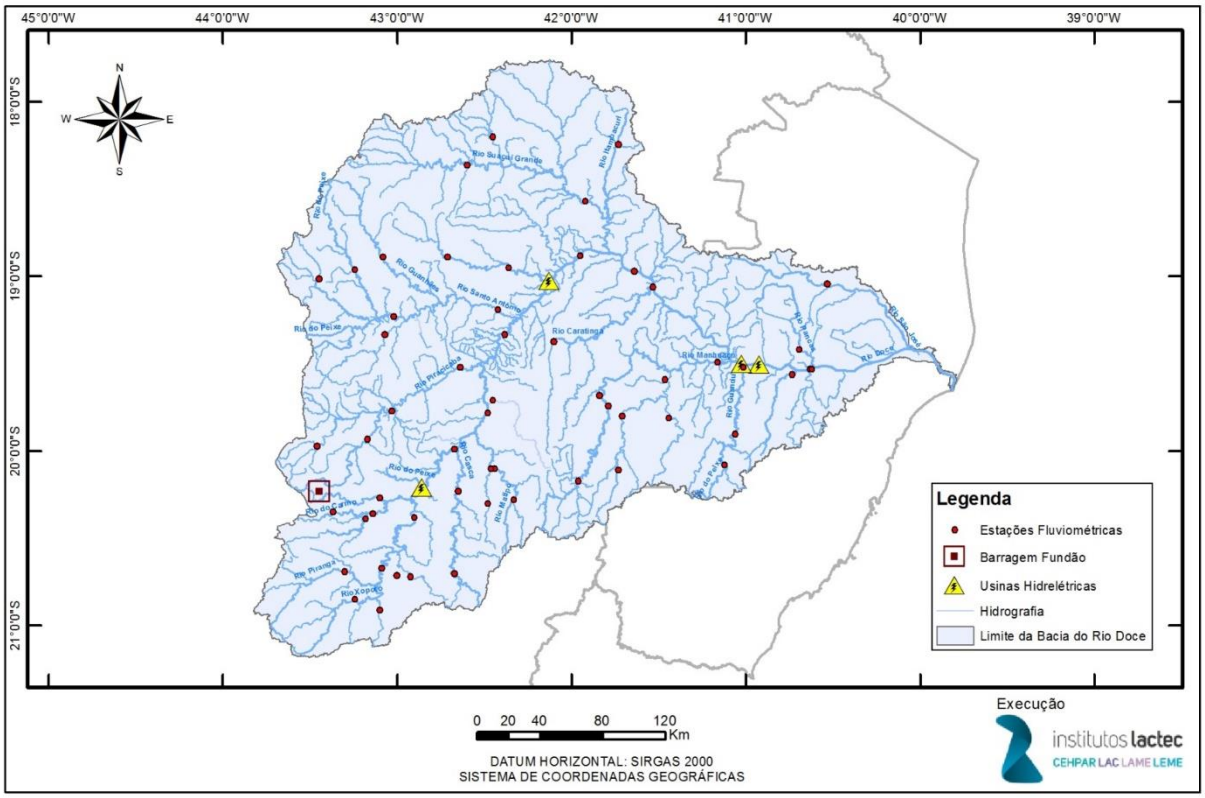
3.5.4.1 Análise fluviométrica

A Tabela 31 e a Figura 123 apresentam a rede de monitoramento selecionada. Na tabela estão indicados os períodos utilizados, selecionados segundo o critério de adotar, sempre que possível, um período base comum.

Tabela 31 – Rede de monitoramento selecionada para as análises fluviométricas.

Código	Nome	Rio	Drenagem (km²)	Latitude	Longitude	Data de início	Data de fim
56028000	Piranga	Piranga	1400	-20,69	-43,30	01/01/1985	04/11/2015
56055000	Brás Pires	Xopotó	1090	-20,85	-43,24	01/01/1985	04/11/2015
56065000	Senador Firmino	Turvo	297	-20,91	-43,10	01/01/1985	04/11/2015
56075000	Porto Firme	Piranga	4260	-20,67	-43,09	01/01/1985	04/11/2015
56085000	Seriquite	Turvo Sujo	342	-20,72	-42,92	01/01/1988	04/11/2015
56090000	Fazenda Varginha	Turvo Limpo	328	-20,71	-43,00	01/01/1985	04/11/2015
56110005	Ponte Nova Jusante	Piranga	6230	-20,38	-42,90	01/01/1985	04/11/2015
56145000	São Caetano de Mariana	do Carmo	138	-20,35	-43,37	16/06/1930	31/12/1965
56240000	Fazenda Paraíso	Gualaxo do Sul	855	-20,39	-43,18	01/01/1985	04/11/2015
56335001	Acaiaca Jusante	do Carmo	1370	-20,36	-43,14	01/01/1985	31/07/2015
56337000	Fazenda Ocidente	Gualaxo do Norte	529	-20,27	-43,10	01/01/1985	30/04/2015
56385000	São Miguel do Anta	Casca	523	-20,70	-42,67	01/01/1985	04/11/2015
56415000	Rio Casca	Casca	2030	-20,23	-42,65	01/01/1985	04/11/2015
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	Doce	10100	-19,99	-42,67	01/01/1985	04/11/2015
56460000	Matipó	Matipó	616	-20,28	-42,33	29/09/1989	31/07/2015
56484998	Raul Soares Montante	Matipó	1350	-20,10	-42,44	01/01/1985	04/11/2015
56500000	Abre Campo	Santana	273	-20,30	-42,48	30/09/1989	04/11/2015
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	Matipó	1870	-20,10	-42,46	01/01/1985	04/11/2015
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Doce	15900	-19,78	-42,48	01/01/1985	04/11/2015
56570000	Pingo-d'Água	Rib. Sacramento	855	-19,71	-42,45	01/01/1985	04/11/2015
56610000	Rio Piracicaba	Piracicaba	1160	-19,93	-43,17	01/01/1985	31/05/2015
56640000	Carrapato (brumal)	Rib. Santa Bárbara	609	-19,97	-43,46	01/01/1985	04/11/2015
56659998	Nova Era IV	Piracicaba	3060	-19,77	-43,03	01/04/1989	04/11/2015
56696000	Mario de Carvalho	Piracicaba	5270	-19,52	-42,64	19/09/1986	04/11/2015
56719998	Belo Oriente	Doce	24200	-19,33	-42,38	18/10/1986	04/11/2015
56750000	Conceição do Mato de Dentro	Santo Antônio	302	-19,01	-43,45	01/01/1985	04/11/2015
56765000	Dom Joaquim	do Peixe	976	-18,96	-43,24	01/01/1985	04/11/2015
56775000	Ferros	Santo Antônio	4090	-19,23	-43,02	01/01/1985	30/04/2015
56787000	Fazenda Barraca	do Tanque	1260	-19,33	-43,07	01/01/1985	04/11/2015
56800000	Senhora do Porto	Guanhães	1520	-18,89	-43,08	01/01/1985	04/11/2015
56825000	Naque Velho	Santo Antônio	10200	-19,19	-42,42	01/01/1985	04/11/2015
56845000	Fazenda Corrente	Corrente Grande	1050	-18,89	-42,71	01/01/1985	04/11/2015
56846000	Porto Santa Rita	Corrente Grande	1970	-18,95	-42,36	01/01/1985	31/05/2015
56850000	Governador Valadares	Doce	40500	-18,88	-41,95	01/01/1985	04/11/2015
56851000	Campanário	Itambacuri	758	-18,24	-41,73	01/01/1985	31/05/2015
56860000	São Pedro do Suaçuí	Suaçuí Grande	2570	-18,36	-42,60	01/01/1985	30/04/2015
56870000	Santa Maria do Suaçuí	São Félix	622	-18,20	-42,45	01/01/1985	04/11/2015
56891900	Vila Matias Montante	Suaçuí Grande	9770	-18,57	-41,92	01/01/1985	04/11/2015
56920000	Tumiritinga	Doce	55100	-18,97	-41,64	01/01/1985	31/05/2015
56935000	Dom Cavati	Caratinga	775	-19,37	-42,10	01/01/1985	31/05/2015
56940002	Barra do Cuieté Jusante	Cuieté	3220	-19,06	-41,53	01/01/1985	04/11/2015
56960005	Fazenda Vargem Alegre	Manhuaçu	1070	-20,17	-41,96	01/02/1985	04/11/2015
56976000	Fazenda Bragança	Manhuaçu	2260	-19,74	-41,79	01/01/1985	04/11/2015
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	Manhuaçu	2350	-19,68	-41,84	01/01/1985	04/11/2015
56983000	Dores de Manhumirim	José Pedro	384	-20,11	-41,73	01/01/1985	31/05/2015
56988500	Ipanema	José Pedro	1410	-19,80	-41,71	01/01/1985	27/04/2015
56989001	Mutum	São Manoel	1180	-19,81	-41,44	01/01/1985	31/05/2015
56989400	Assaraí Montante	José Pedro	3190	-19,59	-41,46	01/01/1985	31/05/2015
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	Manhuaçu	8720	-19,49	-41,16	01/01/1985	31/05/2015
56990990	Afonso Cláudio Montante	Guandu	435	-20,08	-41,12	01/01/1985	27/04/2015
56991500	Laranja da Terra	Guandu	1330	-19,90	-41,06	01/01/1985	31/05/2015
56992000	Baixo Guandu	Guandu	2130	-19,52	-41,01	01/01/1985	31/05/2015
56993551	Jusante Córrego da Piaba	Santa Joana	893	-19,56	-40,73	01/01/1985	30/04/2015
56994500	Colatina	Doce	76400	-19,53	-40,63	03/01/1985	04/11/2015
56994510	Colatina Corpo de Bombeiros	Doce	76400	-19,53	-40,62	01/10/1985	31/10/2015
56995500	Ponte do Pancas	Pancas	920	-19,42	-40,69	01/01/1985	30/04/2015
56998400	Barra de São Gabriel	São José	1070	-19,04	-40,53	01/01/1985	31/05/2015

Figura 123 – Rede de monitoramento selecionada para as análises fluviométricas.



Conforme pode ser verificado pela tabela, não foi possível adotar o mesmo período comum base – 01/01/1985 a 04/11/2015 – para todas as estações devido à disponibilidade de informações. Entretanto, entre as 57 estações selecionadas, apenas seis começam em anos posteriores a 1985 (1986, 1988 e 1989), e uma não possui nenhuma informação dentro do período comum utilizado, pois foi extinta em 1965 e foi selecionada apenas por existir poucas estações no entorno da área do Complexo Germano.

A Tabela 32 apresenta os valores de vazões MLTs obtidas para as estações da Tabela 31, considerando o período comum e discriminando em valores absolutos e específicos. A Figura 124 apresenta a distribuição espacial da vazão média específica de longo termo para a bacia do rio Doce.

A Figura 125 apresenta o diagrama das vazões MLTs em função da área de drenagem (período comum), onde foram discriminados os dados das estações localizadas no rio Doce e nas sub-bacias dos seus afluentes. Verifica-se que, de forma geral, o comportamento das vazões médias em termos de valores absolutos possui homogeneidade para as estações consideradas. A Figura 125 mostra o bom ajuste de uma função polinomial de 2º grau sobre todos os dados disponíveis, para a qual o coeficiente de determinação ficou igual a 0,9942.

Tabela 32 – Vazões médias de longo termo para as estações fluviométricas selecionadas.

Código	MLT absoluta (m³/s)	MLT específica (l/s/km²)
56028000	22,9	16,3
56055000	19,3	17,7
56065000	5,2	17,5
56075000	69,4	16,3
56085000	4,0	11,7
56090000	3,9	12,0
56110005	98,3	15,8
56145000	4,7	34,3
56240000	18,5	21,6
56335001	29,2	21,3
56337000	12,9	24,3
56385000	8,2	15,6
56415000	25,1	12,4
56425000	159,0	15,7
56460000	9,5	15,4
56484998	17,8	13,2
56500000	4,5	16,6
56510000	23,4	12,5
56539000	216,1	13,6
56570000	10,0	11,7
56610000	24,2	20,8
56640000	12,3	20,2
56659998	54,0	17,6
56696000	94,5	17,9
56719998	321,7	13,3
56750000	6,2	20,4
56765000	14,4	14,8
56775000	85,8	21,0
56787000	22,1	17,5
56800000	15,8	10,4
56825000	150,5	14,8
56845000	10,4	9,9
56846000	33,4	17,0
56850000	536,0	13,2
56851000	3,9	5,2
56860000	24,4	9,5
56870000	5,5	8,8
56891900	67,2	6,9
56920000	644,3	11,7
56935000	8,8	11,3
56940002	30,4	9,5
56960005	14,9	13,9
56976000	40,5	17,9
56978000	42,2	17,9
56983000	6,7	17,4
56988500	22,6	16,0
56989001	13,3	11,3
56989400	36,1	11,3
56990000	91,7	10,5
56990990	7,5	17,1
56991500	17,2	12,9
56992000	25,0	11,8
56993551	7,1	7,9
56994500	812,2	10,6

Código	MLT absoluta (m³/s)	MLT específica (l/s/km²)
56994510	778,0	10,2
56995500	10,1	11,0
56998400	12,9	12,1

Figura 124 – Mapa com interpolação de vazões médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce.

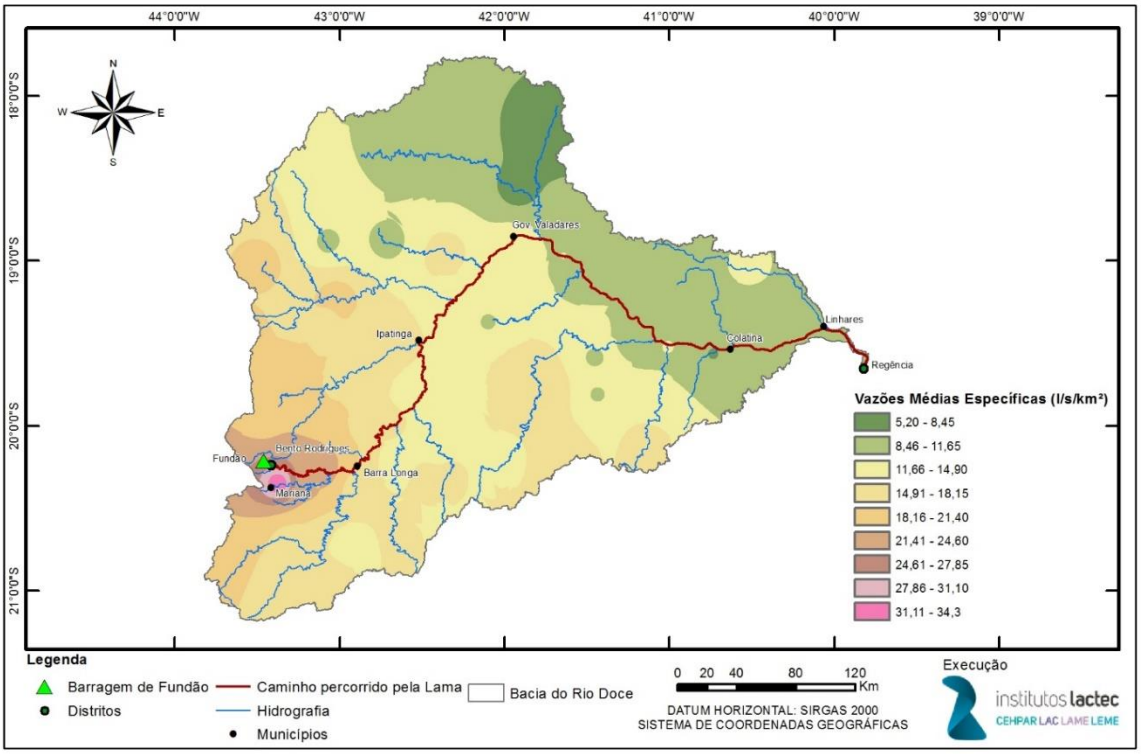
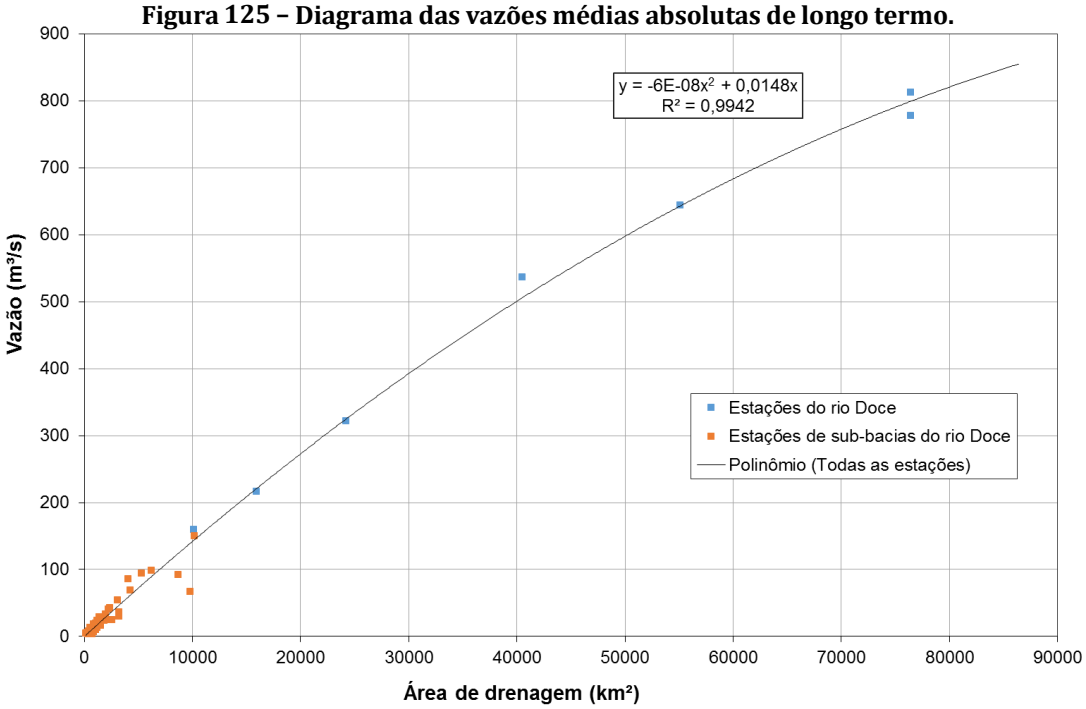
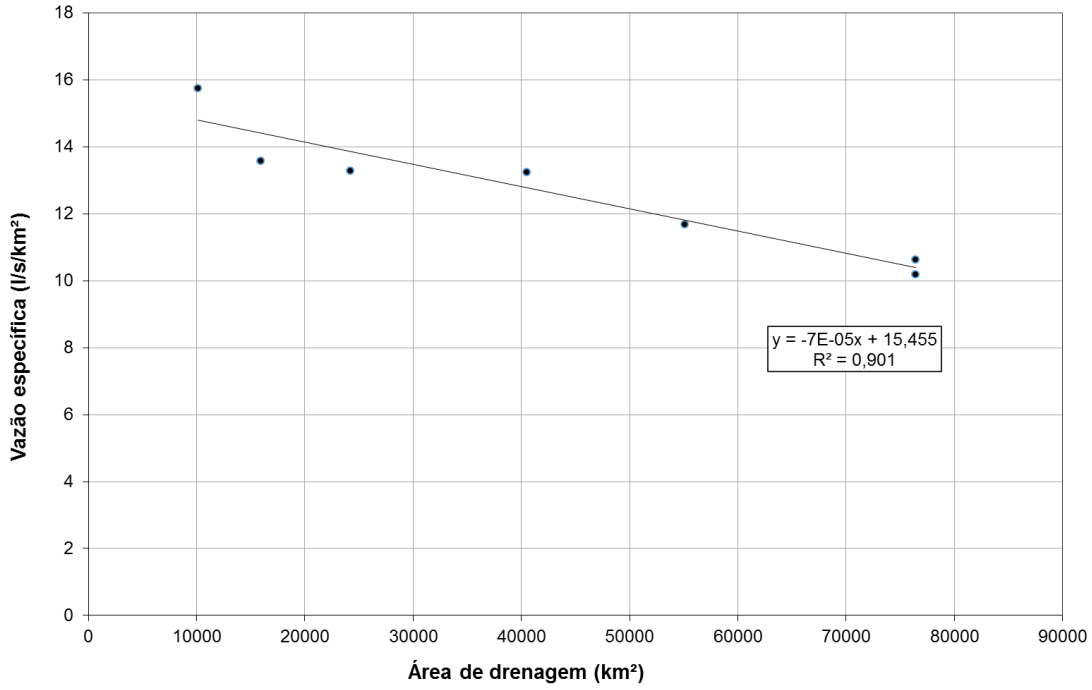


Figura 125 – Diagrama das vazões médias absolutas de longo termo.



O diagrama de vazões médias específicas (por unidade de área) de longo termo para o período comum ao longo do próprio rio Doce é apresentado na Figura 126. Observa-se o típico comportamento de decréscimo dos valores de vazão específica com o aumento da área de drenagem, para o qual a função linear determinou um coeficiente de determinação de 0,901.

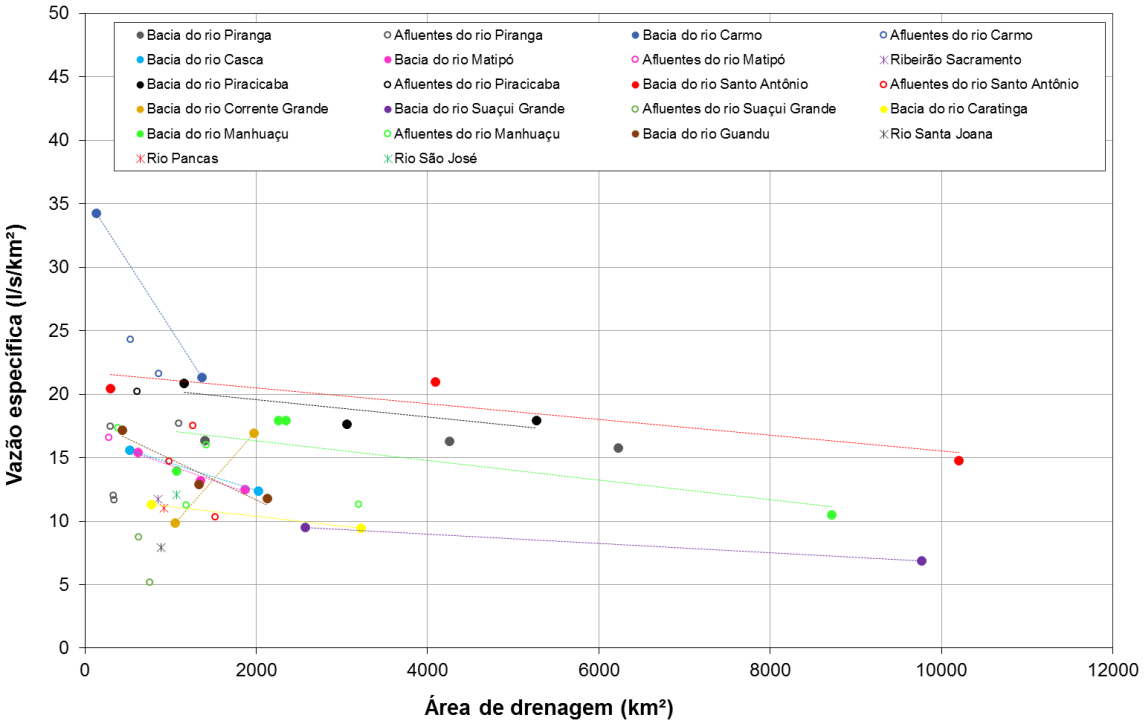
Figura 126 – Diagrama das vazões médias específicas de longo termo ao longo do rio Doce.



A Figura 127 mostra o diagrama de vazões médias específicas de longo termo em função da área de drenagem (período comum) das sub-bacias dos afluentes do rio Doce, separando os dados por afluentes principais do rio Doce e grupo de afluentes dos tributários principais do rio Doce.

Para os afluentes principais, quando estes possuem duas ou mais estações, foi possível verificar que, de uma forma geral, a tendência de decaimento da vazão média específica com o aumento da área de drenagem é verificada para todos os rios, exceto para a bacia do rio Corrente Grande. Além disso, verifica-se que uma das estações da bacia do rio do Carmo (posto São Caetano de Mariana) possui uma média específica expressivamente maior que das outras sub-bacias (40% maior que o 2º maior valor), fazendo com que a tendência de decaimento dos valores específicos em função da área de drenagem seja maior para essa bacia. No entanto, isso decorre do fato de que essa estação não possui monitoramento dentro do período comum, conforme pode ser verificado pela Tabela 31, distorcendo a sua representatividade dentro do diagrama e não podendo ser comparada diretamente.

Figura 127 – Diagrama das vazões médias específicas de longo termo para afluentes do rio Doce.



Os resultados da análise fluviométrica em relação aos dados de vazões médias diárias se encontram no **Apêndice K**, e abordam os seguintes tópicos: climatologia das vazões máximas, médias e mínimas de longo termo mês a mês; e gráficos com as curvas de permanência de vazões médias diárias específicas das estações.

A análise de frequência de vazões máximas considerou o critério da Eletrobras (1987), o qual recomenda a utilização da distribuição exponencial quando o coeficiente de assimetria é maior que 1,5 e a de Gumbel no caso contrário.

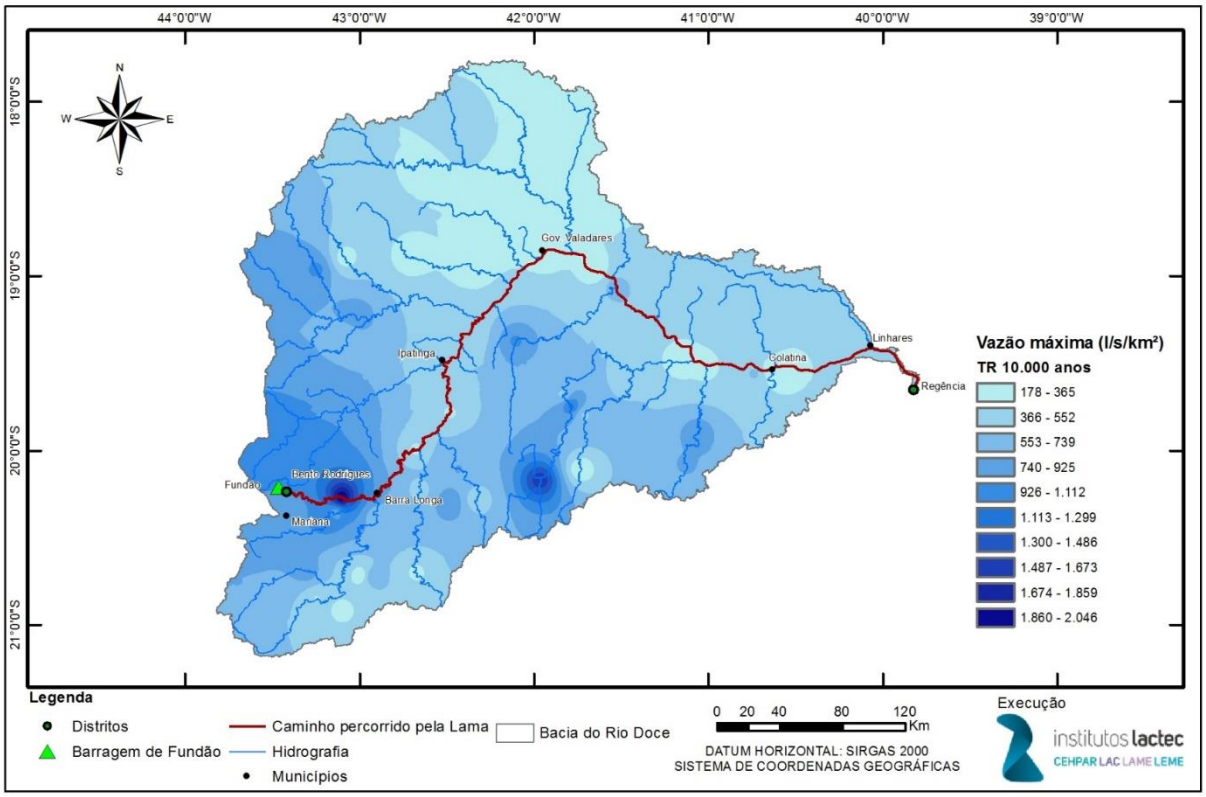
Foram obtidas as vazões máximas diárias e instantâneas (método de Sangal – ver item 3.5.2.4 Vazões extremas), para diferentes tempos de retorno (variando entre 2 e 10.000 anos).

Na Tabela 33, são apresentados os valores do coeficiente de assimetria, o método de distribuição e o valor da vazão máxima diária para o TR de 10.000 anos em termos específicos (por unidade de área). O mapa da Figura 128 apresenta a distribuição espacial desses valores.

Tabela 33 – Resultados da análise da vazão máxima diária de 10000 anos (Q_{10000}) para cada estação.

Código	Coeficiente assimetria	Método	Q_{10000} (l/s/km²)
56028000	1,44	Gumbel	864,1
56055000	-0,08	Gumbel	357,6
56065000	1,05	Gumbel	282,2
56075000	1,53	Exponencial	525,2
56085000	0,29	Gumbel	681,6
56090000	0,19	Gumbel	178,3
56110005	1,83	Exponencial	620,8
56145000	0,21	Gumbel	831,2
56240000	1,5	Gumbel	1108,0
56335001	1,37	Gumbel	800,8
56337000	0,94	Gumbel	2046,1
56385000	0,04	Gumbel	328,5
56415000	1,62	Exponencial	477,3
56425000	1,22	Gumbel	329,2
56460000	-0,23	Gumbel	400,9
56484998	1,71	Exponencial	769,6
56500000	1,25	Gumbel	915,8
56510000	1,58	Exponencial	694,1
56539000	0,88	Gumbel	317,5
56570000	-0,01	Gumbel	536,4
56610000	0,9	Gumbel	959,3
56640000	0,39	Gumbel	1098,5
56659998	0,52	Gumbel	854,3
56696000	0,69	Gumbel	525,3
56719998	1,22	Gumbel	387,7
56750000	0,53	Gumbel	904,6
56765000	0,55	Gumbel	971,1
56775000	1,41	Gumbel	887,7
56787000	-0,01	Gumbel	624,7
56800000	0,67	Gumbel	278,2
56825000	0,43	Gumbel	434,3
56845000	1,01	Gumbel	270,7
56846000	0,34	Gumbel	229,4
56850000	1,37	Gumbel	320,4
56851000	0,07	Gumbel	178,4
56860000	0,37	Gumbel	270,0
56870000	1,96	Exponencial	503,0
56891900	1,26	Gumbel	206,6
56920000	0,9	Gumbel	260,6
56935000	2,26	Exponencial	953,8
56940002	1,49	Gumbel	615,7
56960005	3,82	Exponencial	1599,2
56976000	2,06	Exponencial	1143,9
56978000	0,64	Gumbel	523,0
56983000	0,06	Gumbel	210,6
56988500	0,48	Gumbel	526,1
56989001	1,16	Gumbel	590,9
56989400	0,74	Gumbel	418,2
56990000	0,61	Gumbel	266,2
56990990	0,02	Gumbel	753,0
56991500	2,29	Exponencial	857,9
56992000	0,25	Gumbel	306,1
56993551	1,54	Exponencial	587,0
56994500	0,54	Gumbel	241,1
56994510	0,48	Gumbel	249,3
56995500	1,22	Gumbel	491,0
56998400	0,46	Gumbel	427,0

Figura 128 – Mapa com interpolação de vazões máximas diárias específicas de 10.000 anos.



Observa-se pelo mapa que as maiores vazões máximas específicas se concentram na região sudoeste da bacia do rio Doce, seguindo a tendência das isoietas de totais anuais de precipitação e coincidindo com a região da localização da barragem de Fundão.

Para a estimativa das vazões de estiagem, foi utilizado o método de Weibull considerando diferentes tempos de duração (entre 7 e 180 dias) e também diferentes tempos de retorno (2 a 100 anos). A Tabela 34 apresenta as vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ obtidas para as estações fluviométricas selecionadas.

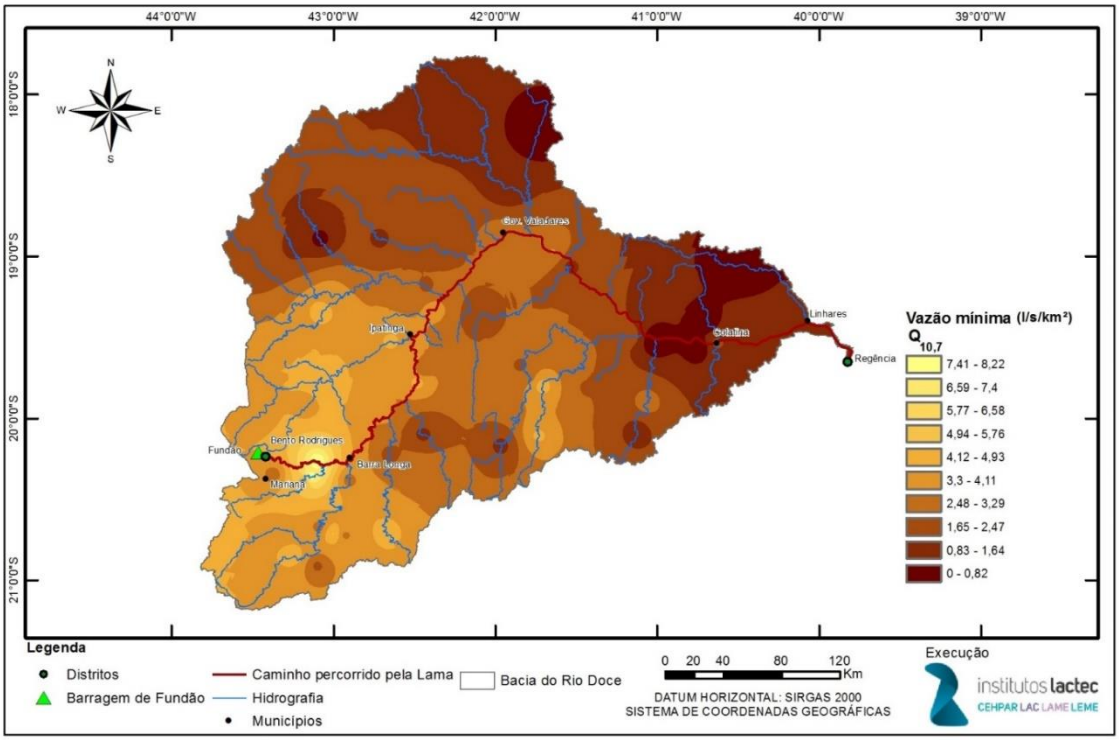
O mapa da Figura 129 apresenta a distribuição espacial das vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ na bacia do rio Doce, onde se observa que a região com secas mais severas (menores valores de $Q_{10,7}$) ocorre no norte e nordeste da bacia e, portanto, mais a jusante do rio Doce.

A análise de frequência completa das vazões extremas está apresentada no **Apêndice K**, onde são apresentadas as tabelas com vazões máximas para diversos tempos de recorrência e as tabelas com vazões mínimas para diversos tempos de recorrência e de duração.

Tabela 34 – Vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ das estações da bacia do rio Doce.

Código	$Q_{10,7}$ (l/s/km²)	Código	$Q_{10,7}$ (l/s/km²)	Código	$Q_{10,7}$ (l/s/km²)
56028000	3,84	56570000	2,95	56920000	3,32
56055000	4,47	56610000	3,80	56935000	1,65
56065000	2,30	56640000	3,46	56940002	1,49
56075000	3,01	56659998	4,59	56960005	1,43
56085000	3,15	56696000	4,25	56976000	3,15
56090000	4,96	56719998	3,61	56978000	2,25
56110005	3,04	56750000	1,86	56983000	4,24
56145000	2,88	56765000	1,51	56988500	4,54
56240000	4,39	56775000	3,57	56989001	2,42
56335001	8,04	56787000	4,56	56989400	2,63
56337000	8,22	56800000	0,57	56990000	1,93
56385000	4,40	56825000	2,37	56990990	1,30
56415000	2,18	56845000	1,53	56991500	2,85
56425000	3,34	56846000	2,13	56992000	0,00
56460000	2,70	56850000	3,07	56993551	0,04
56484998	1,43	56851000	0,00	56994500	1,88
56500000	3,16	56860000	1,93	56994510	1,65
56510000	1,57	56870000	1,22	56995500	0,20
56539000	4,44	56891900	1,00	56998400	0,29

Figura 129 – Mapa com interpolação de vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ da bacia do rio Doce.



3.5.4.2 Análise hidrossedimentométrica

A Tabela 35 e a Figura 130 apresentam a rede de monitoramento selecionada para a análise hidrossedimentométrica. Na tabela estão indicados os períodos utilizados, selecionados segundo o critério de adotar um período base comum – 1998 a 2015 (até a data do rompimento de Fundão).

Tabela 35 – Rede de monitoramento selecionada para as análises hidrossedimentométricas.

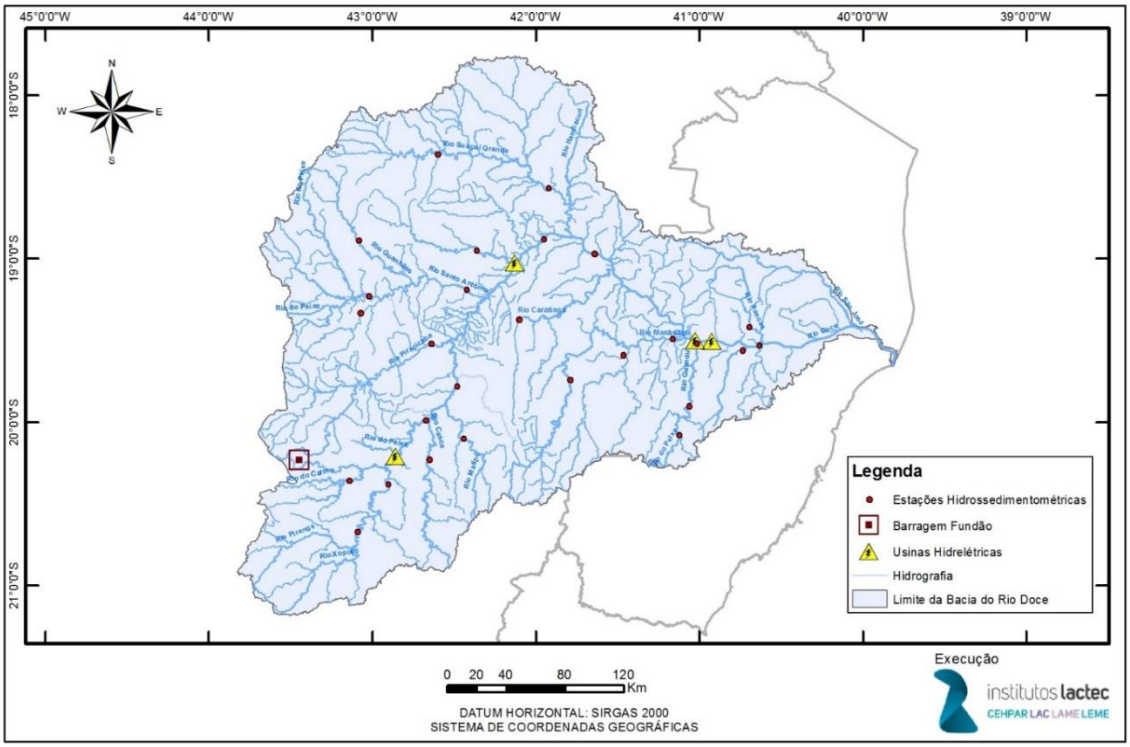
Código	Nome	Rio	Drenagem (km²)	Latitude	Longitude	1ª medição	Última medição
56075000	Porto Firme	Piranga	4260	-20,67	-43,09	26/04/1998	14/08/2015
56110005	Ponte Nova Jusante	Piranga	6230	-20,38	-42,90	29/01/1998	18/08/2015
56335001	Acaiaca Jusante	do Carmo	1370	-20,36	-43,14	29/01/1998	19/08/2015
56415000	Rio Casca	Casca	2030	-20,23	-42,65	30/04/1998	20/08/2015
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	Doce	10100	-19,99	-42,67	21/08/1998	21/08/2015
56484998	Raul Soares Montante	Matipó	1350	-20,10	-42,44	02/05/1998	22/04/2015
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Doce	15900	-19,78	-42,48	20/04/1999	11/08/2015
56696000	Mario de Carvalho	Piracicaba	5270	-19,52	-42,64	28/09/1999	04/11/2015
56775000	Ferros	Santo Antônio	4090	-19,23	-43,02	30/03/1998	30/10/2015
56787000	Fazenda Barraca	do Tanque	1260	-19,33	-43,07	30/03/1998	22/08/2015
56800000	Senhora do Porto	Guanhães	1520	-18,89	-43,08	26/03/1998	20/08/2015
56825000	Naque Velho	Santo Antônio	10200	-19,19	-42,42	04/04/1998	05/08/2015
56846000	Porto Santa Rita	Corrente Grande	1970	-18,95	-42,36	08/07/1998	06/08/2015
56850000	Governador Valadares	Doce	40500	-18,88	-41,95	14/12/1998	09/04/2015
56860000	São Pedro do Suaçuí	Suaçuí Grande	2570	-18,36	-42,60	31/03/1998	18/08/2015
56891900	Vila Matias Montante	Suaçuí Grande	9770	-18,57	-41,92	02/04/1998	07/08/2015
56920000	Tumiritinga	Doce	55100	-18,97	-41,64	22/06/2001	04/08/2015
56935000	Dom Cavati	Caratinga	775	-19,37	-42,10	20/10/1998	01/08/2015
56976000	Fazenda Bragança	Manhuaçu	2260	-19,74	-41,79	17/10/1998	07/08/2015
56989400	Assaraí Montante	José Pedro	3190	-19,59	-41,46	15/10/1998	13/08/2015
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	Manhuaçu	8720	-19,49	-41,16	05/04/1998	15/08/2015
56990990	Afonso Cláudio Montante	Guandu	435	-20,08	-41,12	24/03/1998	04/08/2015
56991500	Laranja da Terra	Guandu	1330	-19,90	-41,06	25/03/1998	04/08/2015

56992000	Baixo Guandu	Guandu	2130	-19,52	-41,01	26/03/1998	31/10/2015
56993551	Jusante Córrego da Piaba	Santa Joana	893	-19,56	-40,73	27/03/1998	09/05/2014
56994500	Colatina	Doce	76400	-19,53	-40,63	27/03/1998	14/03/2012
56995500	Ponte do Pancas	Pancas	920	-19,42	-40,69	30/03/1998	05/11/2015

Verifica-se pela tabela acima que, para cinco estações entre as selecionadas, o período disponível inicia pouco depois de 1998 (1999 e 2001) ou finaliza pouco antes de 2015 (2012 e 2014). As estações foram utilizadas para determinar vazões sólidas em suspensão e totais.

Primeiramente foi necessário validar o método a ser utilizado para a determinação da descarga sólida total, visto que só estão disponíveis dados de concentração da suspensão. Conforme mencionado anteriormente, em Lactec (2001) foram apresentados os resultados da determinação da descarga sólida por diferentes métodos de cálculo em quatro estações fluviométricas da bacia do rio Doce, situadas próximo ao empreendimento da UHE Mascarenhas. A análise desses resultados auxiliou na escolha do método para determinação da descarga sólida total a ser aplicado no presente estudo.

Figura 130 – Rede de monitoramento selecionada para as análises hidrossedimentométricas.



As estações analisadas em Lactec (2001) são Resplendor no rio Doce, situada a montante do reservatório da UHE Aimorés, Ponte Nova no rio Doce, situada a jusante da UHE Mascarenhas e instalada durante o referido projeto, São Sebastião da Encruzilhada no rio Manhuaçu e Baixo Guandu no rio Guandu, sendo estas duas últimas estações de afluentes que deságuam a montante da UHE Mascarenhas. As principais características de todas as estações

podem ser visualizadas na Tabela 35, exceto para as estações Resplendor e Ponte Nova, cujas áreas de drenagem são iguais a 61.200 e 73.500 km^2, respectivamente.

Entre os métodos analisados em Lactec (2001), o método de Einstein Modificado gerou nas análises iniciais valores com uma grande dispersão e muito superiores aos obtidos em outros métodos. Assim, o mesmo foi desconsiderado na continuidade dos estudos apresentados em Lactec (2001). Os métodos considerados na avaliação final foram: Colby, Ackers e White, Yang para areias, Laursen, Engelund e Hansen, Toffaleti, Schoklitsch, Einstein e Brown, Kalinske, Meyer-Peter e Muller, e Rottner.

Entre a Figura 131 e a Figura 134 são apresentados os resultados da estimativa da descarga sólida total obtida pelos métodos considerados em Lactec (2001) para as estações Resplendor, Ponte Nova, São Sebastião da Encruzilhada e Baixo Guandu, respectivamente. Ressalta-se que as medições consideradas no referido estudo contemplaram o período entre março e julho de 2001, ou seja, abordando apenas o final da estação de cheia e o período seco. Assim, considera-se que os resultados são limitados e devem ser vistos com parcimônia.

Figura 131 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação Resplendor.

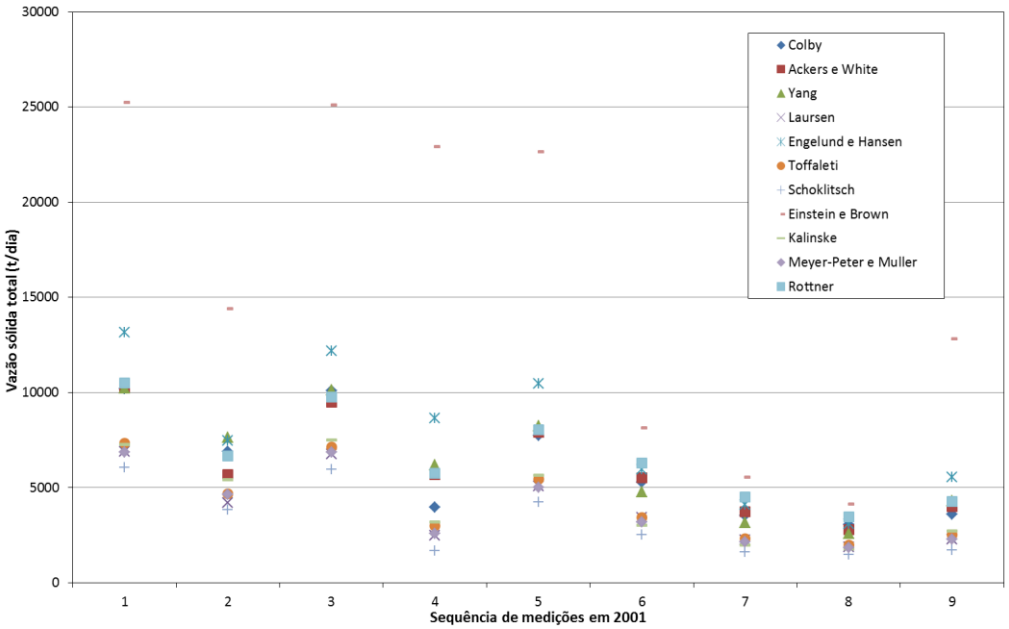


Figura 132 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação Ponte Nova.

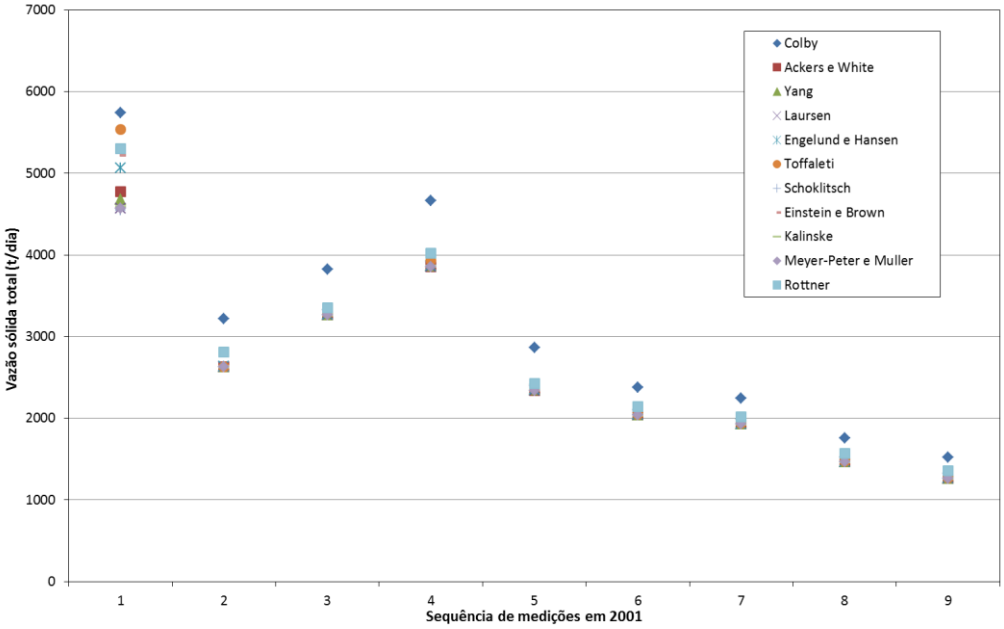


Figura 133 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação São Sebastião da Encruzilhada.

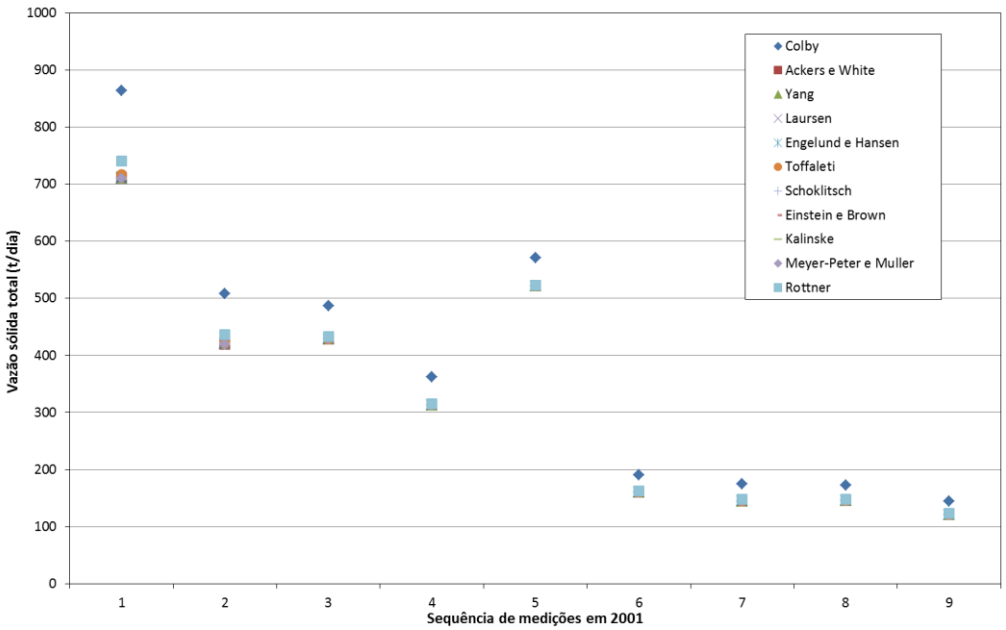
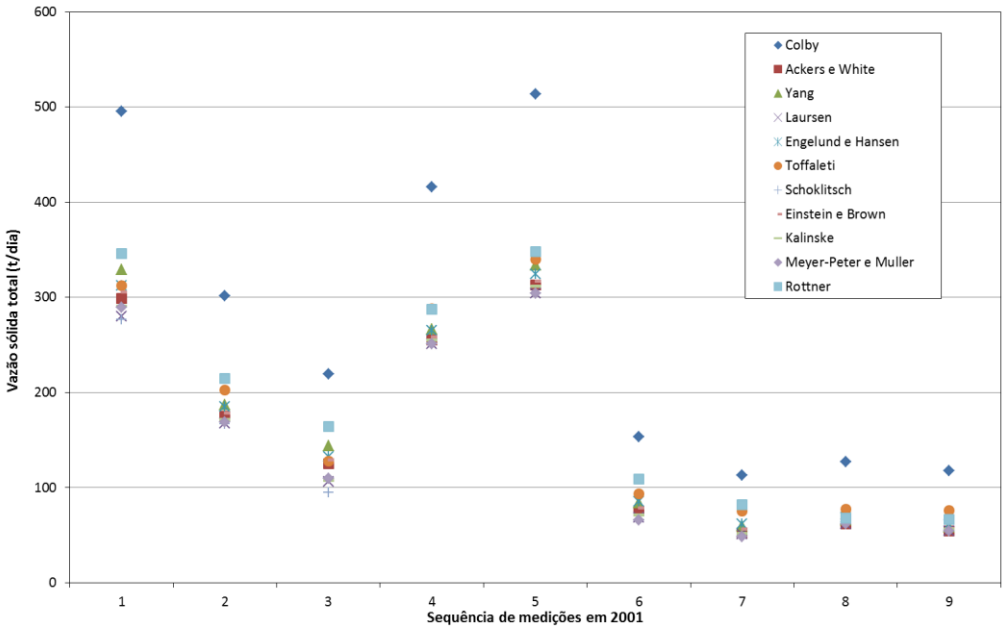


Figura 134 – Vazões sólidas totais obtidas por diversos métodos para a estação Baixo Guandu.



Dado que no presente estudo se dispõe de informações confiáveis apenas para a aplicação do método de Colby, o objetivo é avaliar o comportamento desse método frente a outros disponíveis. Colby é o método mais utilizado para o cálculo do material transportado pelo leito ou por arraste por ser um dos mais simples e não utilizar dados da análise granulométrica do leito ou do material de suspensão. Este último, em especial, dificilmente é coletado ou analisado nas medições de sedimentos.

Em Lactec (2001), nota-se que os resultados por Colby resultaram maiores que os outros métodos, exceto para a estação Resplendor, para a qual os resultados pelo método de

Einstein e Brown se mostraram significativamente maiores que para os outros métodos. Para as estações Ponte Nova e São Sebastião da Encruzilhada, as diferenças entre o método de Colby e os outros não foram marcantes, tendo todos os métodos resultado em estimativas bastante similares.

As estações Resplendor e Baixo Guandu apresentam as maiores diferenças entre métodos, sendo que, para a primeira, os resultados por Colby se situam entre as médias dos métodos (excetuando os resultados pelo método de Einstein e Brown, significativamente maiores e que distorcem muito a média); e para a segunda os resultados por Colby são na média 45% maiores que os segundos maiores valores e 50% maiores que a média entre os outros métodos. Ressalta-se que Baixo Guandu possui a menor área de drenagem entre todas as outras analisadas.

Cabe ressaltar que, no estudo apresentado por Lactec (2001), não foi possível comparar os resultados de vazão sólida total obtida pelos métodos com medições completas de sedimentos. Logo, para complementar esse tipo de avaliação, buscou-se na literatura estudos que objetivaram esse tipo de comparação.

Diversos estudos realizados em diferentes bacias hidrográficas analisam a aplicação de diferentes métodos para realizar a estimativa da vazão sólida total através da comparação com medições completas de sedimentos (suspensão e arraste). Um exemplo é o estudo apresentado em Scapin, Paiva e Beling (2007), o qual apresentou os resultados da avaliação dos métodos de Meyer-Peter e Muller, Einstein, Einstein Modificado por Colby e Hembree, Colby, Engelund e Hansen, Yang, Ackers e White, Van Rijn, Karim e Cheng, para o cálculo da descarga sólida em rios, utilizando resultados de 13 medições de descargas líquidas e sólidas, realizadas durante eventos chuvosos (entre dez./2003 e nov./2004). A aplicação dos diferentes métodos foi realizada para o Arroio Cancela, na cidade de Santa Maria – RS. Os métodos de Einstein Modificado por Colby e Hembree e Colby, os quais incorporam dados medidos de concentração de sedimentos em suspensão, obtiveram os melhores resultados, com relações médias entre a descarga calculada e a descarga medida de 1,01 e 1,33.

Igualmente, a mesma conclusão foi obtida em Rizzardi (2013), cujo trabalho experimental foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul. O referido estudo utilizou 14 medições em campo para efetuar as comparações com os métodos. Os métodos foram os mesmos utilizados em Scapin, Paiva e Beling (2007), exceto que não foi utilizado Einstein e foram acrescentados os métodos de Toffaleti e Laursen. De acordo com os resultados do referido estudo, dos métodos aplicados o que melhor se ajustou aos dados medidos foi o de Einstein Modificado por Colby e Hembree (índice de dispersão igual a 0,068), seguido pelo método de Colby (índice de dispersão de 2,035).

Em Sobrinho et al. (2013), foram utilizados os métodos de Ackers e White, Colby, Karim e Yang para estimar a vazão sólida total e comparar com dados medidos em três eventos em 2012 e 2013 no Córrego Guariroba, responsável por parte do abastecimento de água do município de Campo Grande. Entre os métodos analisados, Colby foi o único que apresentou resultados satisfatórios com relação média entre a descarga calculada e a descarga medida de 1,11.

Logo, apesar do método de Colby ter apresentado em Lactec (2001) valores superiores em relação aos outros métodos para alguns locais da bacia hidrográfica do rio

Doce, quando comparado com dados medidos, apresenta-se como um método adequado para as estimativas das vazões sólidas totais. Além disso, na análise realizada por Lactec (2001) para quatro estações do rio Doce, esse método não resultou em valores discrepantes em relação à maioria dos outros métodos, exceto para a estação de Baixo Guandu.

Para os locais indicados na Tabela 35 foram obtidas as curvas-chave sólidas considerando a estimativa das descargas sólidas totais pelo método de Colby e das descargas sólidas em suspensão (baseadas apenas nos dados de concentração) para o período comum adotado.

Para algumas estações, a utilização direta de duas funções potência para representar ambas as vazões sólidas totais e suspensas gerou um cruzamento destas na extrapolação superior. Isso ocorreu porque normalmente não se tem um expressivo número de medições de concentração que pudesse também abordar as maiores vazões. Para esses casos, houve uma adaptação da curva representativa das vazões sólidas suspensas no tramo final da curva, separando a curva em duas equações: a originalmente obtida (utilizadas para a maior parte da faixa de vazões, iniciando nas vazões mais baixas); e outra obtida em função da equação relativa às vazões sólidas totais, considerando, no entanto, um termo independente negativo a fim de manter uma diferença constante entre os dois tipos de vazão sólida (utilizada apenas no ramo final da curva).

Para a maioria das estações, a faixa de medições de sedimentos aborda cerca de apenas 1/3 da extensão total da curva de descarga sólida necessária, a qual se estende até a vazão correspondente à máxima cota lida do histórico da estação. Em um reduzido número de estações, a faixa de medições aborda cerca da metade da extensão total da curva de descarga sólida necessária. Para essas estações, foram comparadas as equações potência obtidas considerando todas as medições e considerando apenas as medições cujas vazões não ultrapassassem a faixa de 1/3 da extensão total. Essa análise indicou não haver grande diferença nas equações obtidas para os dois grupos de medições, o que resulta, em um contexto de análise regional, em uma validação preliminar das extrapolações das curvas-chave sólidas para as estações da bacia do rio Doce.

A Cemig realizou o monitoramento mais intensivo de sedimentos para uma estação do rio Doce, a Fazenda Ouro Fino, para a qual existe um número muito maior de medições em relação às estações convencionais. Esses dados foram solicitados à concessionária e, assim que disponibilizados, auxiliarão a complementação da validação da extrapolação das curvas-chave de sedimentos.

Para o diagnóstico de danos serão realizadas campanhas de medição de vazões líquidas e sólidas na bacia do rio Doce. Um dos objetivos desse monitoramento é realizar medições em períodos de vazões de enchente. Dependendo da magnitude dos eventos que ocorrerem durante as campanhas, será possível complementar a avaliação da extrapolação das curvas de descarga sólida das estações analisadas no estudo. Com os dados das campanhas será possível também avaliar a adequação do método de Colby na determinação das vazões sólidas totais, visto que se pretende medir vazões em suspensão e de arraste, possibilitando, inclusive, a aplicação de outros métodos.

A Tabela 36 apresenta os parâmetros de cada uma das equações determinadas ($Vazão_{Sólida} = a.Vazão_{líquida}^{b} + c$), bem como condições de aplicação de cada equação e coeficientes de determinação (R^2).

O **Apêndice L** apresenta as curvas-chave sólidas em suspensão e sólidas totais das estações selecionadas.

Tabela 36 – Parâmetros das equações das curvas-chave sólidas.

Estação	Total					Suspensão				
	Faixa vazões	a	b	c	R^2	Faixa vazões	a	b	c	R^2
56075000	Toda	0,0950	2,4841	0	0,9215	< 60 l/s/km²	0,0047	3,2004	0	0,8875
						>= 60 l/s/km²	0,095	2,4841	-186,1	--
56110005	Toda	0,0158	2,9237	0	0,9372	Toda	0,0041	3,1377	0	0,892
56335001	Toda	0,0219	2,7138	0	0,803	< 123 l/s/km²	0,0021	3,1855	0	0,7421
						>= 123 l/s/km²	0,0219	2,7138	-745,2	--
56415000	Toda	0,1044	2,4022	0	0,8013	Toda	0,0534	2,4578	0	0,7338
56425000	Toda	0,2091	2,2634	0	0,7087	< 66 l/s/km²	0,0253	2,7548	0	0,648
						>= 66 l/s/km²	0,2091	2,2634	-155,5	--
56484998	Toda	0,0465	2,1523	0	0,841	Toda	0,0295	2,0332	0	0,7454
56539000	Toda	0,4709	1,9627	0	0,7072	< 58 l/s/km²	0,0934	2,3391	0	0,6887
						>= 58 l/s/km²	0,4709	1,9627	-118,1	--
56696000	Toda	0,0406	2,6005	0	0,8733	< 200 l/s/km²	0,0085	2,8942	0	0,8612
						>= 200 l/s/km²	0,0406	2,6005	-324,7	--
56775000	Toda	0,1295	2,1049	0	0,898	< 153 l/s/km²	0,0095	2,6173	0	0,8586
						>= 153 l/s/km²	0,1295	2,1049	-186,2	--
56787000	Toda	0,0742	2,4800	0	0,7889	Toda	0,0042	2,8716	0	0,7838
56800000	Toda	0,0632	2,4375	0	0,8657	Toda	0,0192	2,4932	0	0,7647
56825000	Toda	0,4102	1,8300	0	0,7123	Toda	0,0718	2,1753	0	0,6766
56846000	Toda	0,3110	2,0608	0	0,7891	< 72 l/s/km²	0,0315	2,5895	0	0,7429
						>= 72 l/s/km²	0,311	2,0608	-71,8	--
56850000	Toda	0,0458	2,7384	0	0,8406	Toda	0,0167	2,9316	0	0,776
56860000	Toda	0,0434	2,6648	0	0,8797	< 139 l/s/km²	0,0172	2,8513	0	0,8537
						>= 139 l/s/km²	0,0434	2,6648	-118,1	--
56891900	Toda	0,9382	2,1424	0	0,9036	< 37 l/s/km²	0,2419	2,5185	0	0,8863
						>= 37 l/s/km²	0,9382	2,1424	-12,8	--
56920000	Toda	0,0949	2,5872	0	0,7344	< 56 l/s/km²	0,0173	3,0063	0	0,6832
						>= 56 l/s/km²	0,0949	2,5872	-63	--
56935000	Toda	0,0757	2,5279	0	0,8521	Toda	0,0402	2,5247	0	0,8094
56976000	Toda	0,0742	2,0458	0	0,7061	Toda	0,013	2,3212	0	0,6718
56989400	Toda	0,1307	2,3989	0	0,9338	< 53 l/s/km²	0,0279	2,7647	0	0,9166
						>= 53 l/s/km²	0,1307	2,3989	-158,9	--
56990000	Toda	0,0404	2,6829	0	0,8528	< 79 l/s/km²	0,0218	2,8199	0	0,8577
						>= 79 l/s/km²	0,0404	2,6829	-92,1	--
56990990	Toda	0,2066	2,1667	0	0,9099	Toda	0,0474	2,4044	0	0,8776
56991500	Toda	0,5096	2,0268	0	0,8939	< 54 l/s/km²	0,0833	2,45	0	0,8794
						>= 54 l/s/km²	0,5096	2,0268	-192,4	--
56992000	Toda	0,4639	2,3971	0	0,9151	Toda	0,1384	2,6035	0	0,8961
56993551	Toda	0,6046	1,5185	0	0,862	Toda	0,2661	1,585	0	0,834
56994500	Toda	0,4850	2,0049	0	0,6177	< 51 l/s/km²	0,0734	2,4651	0	0,5328
						>= 51 l/s/km²	0,485	2,0049	-100,8	--
56995500	Toda	0,7041	1,3185	0	0,8111	Toda	0,1679	1,5183	0	0,7653

A Tabela 37 apresenta as vazões sólidas específicas de longo termo (suspensão e totais), obtidas das séries de vazões diárias e das curvas-chave sólidas, para o período comum considerado (1998 a 2015) para as estações selecionadas.

Tabela 37 – Vazões sólidas específicas de longo termo (produção de sedimentos) – 1998-2015.

Código	Nome	Rio	Área de drenagem (km²)	Vazão sólida específica (t/ano/km²)	
				Suspensão	Total
56075000	Porto Firme	Piranga	4260	150	214
56110005	Ponte Nova Jusante	Piranga	6230	206	293
56335001	Acaiaca Jusante	Carmo	1370	278	354
56415000	Rio Casca	Casca	2030	141	217

56425000	Fazenda Cachoeira D'antas	Doce	10100	164	224
56484998	Raul Soares Montante	Matipó	1350	12	31
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Doce	15900	88	125
56696000	Mario de Carvalho	Piracicaba	5270	146	202
56775000	Ferros	Santo Antônio	4090	173	223
56787000	Fazenda Barraca	do Tanque	1260	166	461
56800000	Senhora do Porto	Guanhaes	1520	29	78
56825000	Naque Velho	Santo Antônio	10200	67	97
56846000	Porto Santa Rita	Corrente Grande	1970	35	63
56850000	Governador Valadares	Doce	40500	135	179
56860000	São Pedro do Suaçui	Suaçui Grande	2570	43	55
56891900	Vila Matias Montante	Suaçui Grande	9770	92	113
56920000	Tumiritinga	Doce	55100	122	154
56935000	Dom Cavati	Caratinga	775	196	375
56976000	Fazenda Bragança	Manhuaçu	2260	31	58
56989400	Assarai Montante	José Pedro	3190	211	236
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	Manhuaçu	8720	109	120
56990990	Afonso Cláudio Montante	Guandu	435	189	281
56991500	Laranja da Terra	Guandu	1330	166	208
56992000	Baixo Guandu	Guandu	2130	424	585
56993551	Jusante Córrego da Piaba	Santa Joana	893	15	27
56994500	Colatina	Doce	76400	79	109
56995500	Ponte do Pancas	Pancas	920	13	25

As médias da produção sólida específica obtidas considerando o conjunto de estações avaliadas (ponderadas pelas áreas de contribuição) são iguais a 118 e 163 t/ano/km^2 para as vazões sólidas em suspensão e totais, respectivamente.

A Figura 135 e a Figura 136 apresentam, respectivamente, a distribuição espacial das vazões sólidas específicas suspensas e totais, onde se observa uma menor contribuição na porção superior da bacia em contraste com a inferior. Entretanto, mesmo com essa distinção, observa-se uma diferenciação nas características de produção sedimentológica entre bacias vizinhas.

A Figura 137 e a Figura 138 apresentam os diagramas das vazões sólidas específicas de longo termo em função da área de drenagem (período comum de 1998 a 2015) para as estações localizadas no rio Doce e nas sub-bacias dos seus afluentes, respectivamente. Nas duas figuras, os círculos de tamanho maior representam as vazões sólidas totais e os menores, as suspensas.

Figura 135 – Distribuição espacial das vazões sólidas suspensas médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce.

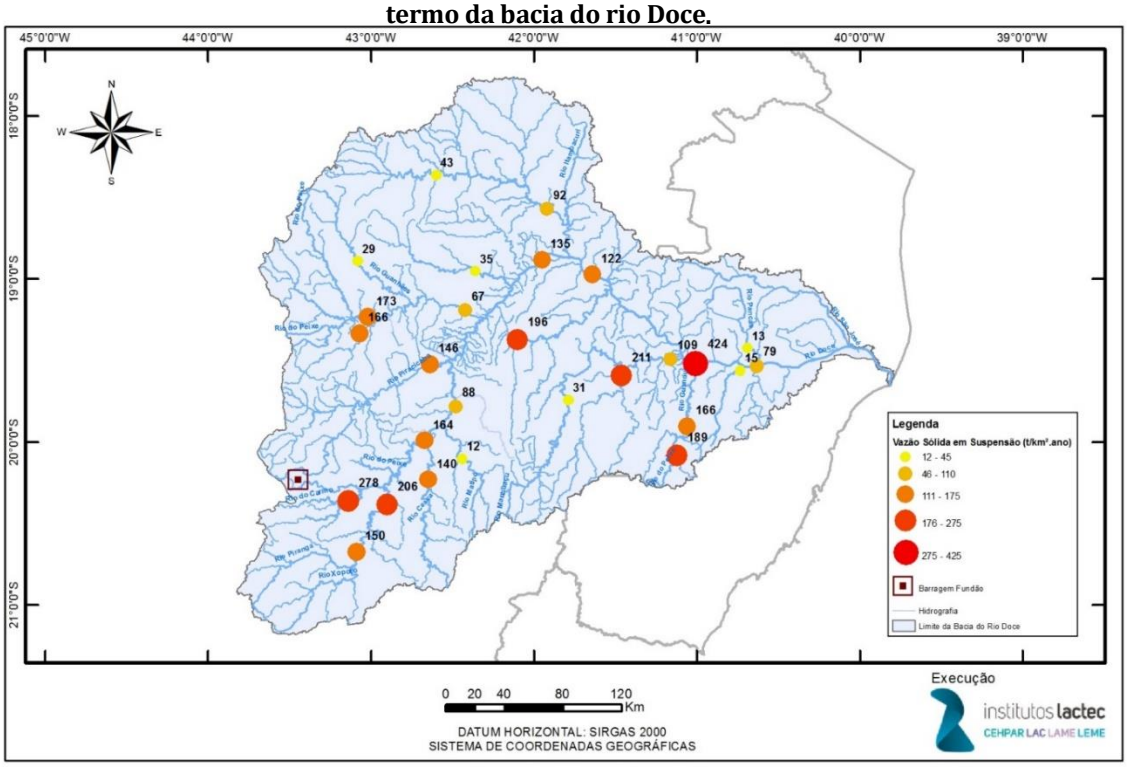


Figura 136 – Distribuição espacial das vazões sólidas totais médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce.

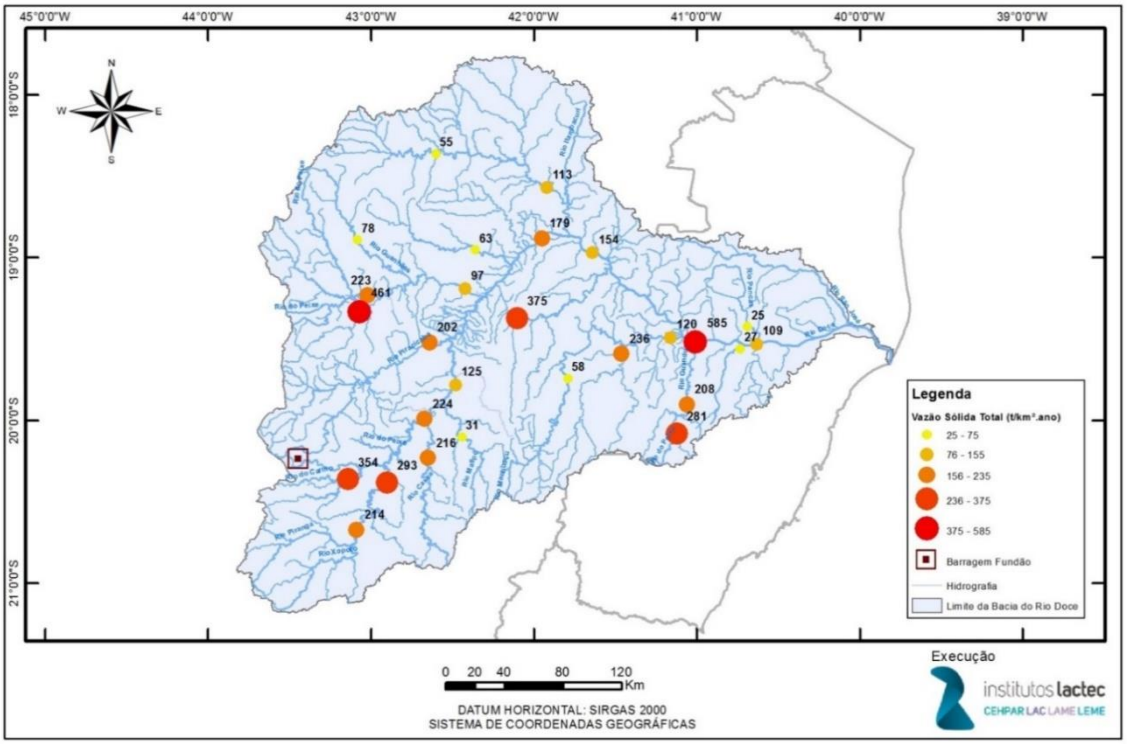


Figura 137 – Diagrama das vazões sólidas médias específicas ao longo do rio Doce.

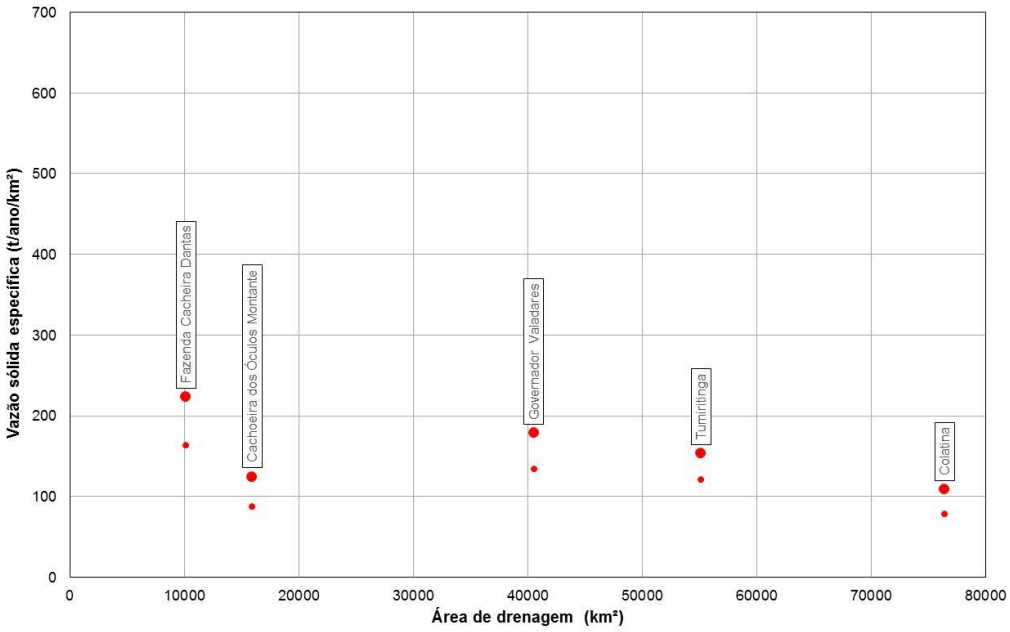
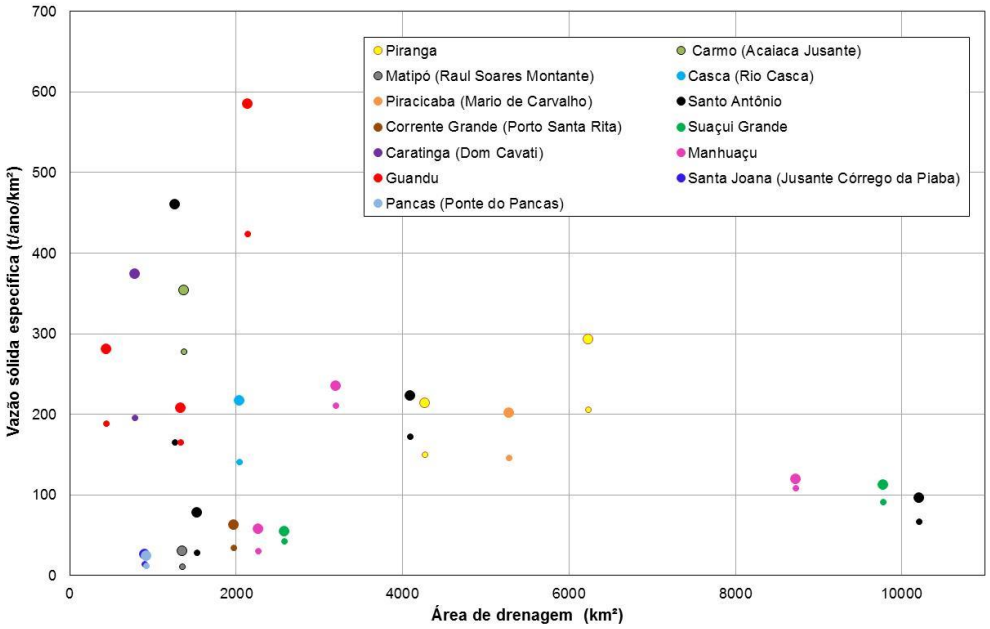


Figura 138 – Diagrama das vazões sólidas médias específicas de afluentes do rio Doce.



Verifica-se que, igualmente ao comportamento das descargas líquidas, as estações do rio Doce possuem um comportamento relativamente homogêneo e decrescente ao longo do percurso. Por outro lado, as estações das sub-bacias possuem comportamento bem variável, com contribuições específicas que variam de valores bem baixos (menores que 50 t/ano/km^2) a maiores que 500 t/ano/km^2.

Outra diferenciação entre estações do rio Doce e dos afluentes é a diferença percentual entre vazões sólidas totais e suspensas, o que pode ser visualizado diretamente na comparação entre os dois gráficos da Figura 137 e Figura 138, visto que a escala vertical é a mesma para ambas as figuras. Para as estações do rio Doce, existe uma variação entre 26 e

42% de diferença entre os dois tipos de produção sólida. Ressalta-se que as áreas de drenagem das estações do rio Doce são de grande magnitude (maiores que 10.000 km^2). Já para as estações dos afluentes a variação entre vazão sólida total e em suspensão está entre 10 e 178%. Para as estações dos afluentes com área drenada maior que 3.000 km^2, a diferença entre os diferentes tipos de vazão sólida varia entre 10 e 45%. E para estações com drenagem menor que 3.000 km^2, a variação se situa entre 25 e 178%, sendo que os rios cuja produção sólida total é maior que o dobro da suspensa são o Matipó e afluentes do Santo Antônio.

Os valores de contribuição sólida específica se referem aos valores médios anuais transportados pela vazão em locais específicos. Conforme já mencionado no item 3.5.2.5, o total de sedimentos transportados entre locais depende de uma série de fatores como características da bacia hidrográfica contribuinte, tais como relevo, solo, intensidade e magnitude das chuvas, usos do solo, existência de práticas conservacionistas etc. Além disso, as características de montante do próprio canal que recebe essas cargas de sedimentos, pontualmente e difusamente, também interferem na quantidade e dinâmica de sedimentos no local monitorado. Ao longo do canal existem locais com propensão a fornecer sedimentos através da erosão ou recebê-los através da deposição. Em um mesmo local, as propriedades de erosão ou deposição podem se acentuar ao longo do tempo, ou mesmo sofrer alternâncias entre uma propriedade e outra. Assim, um mesmo local que sofre erosão durante um determinado tempo poderá sofrer deposição em outro período, sendo que os dois processos podem ocorrer simultaneamente em uma mesma seção transversal. Logo, diferenças nos valores de quantidades totais de sedimentos transportados são esperadas em uma mesma bacia hidrográfica.

Para obter a contribuição sólida específica via hídrica, foi necessário realizar uma considerável extrapolação das curvas de descarga sólida. Portanto, devido a este e todos os outros fatores que acarretam incertezas na estimativa desse tipo de parâmetro, foi realizada uma avaliação desses valores, considerando os seguintes aspectos:

- comparação com os valores obtidos em outros estudos;
- estimativa da perda de solo em função dos valores de produção sólida e aplicação da taxa de transferência de sedimentos;
- avaliação das características da bacia relacionadas à produção de sedimentos.

Comparação com os valores obtidos em outros estudos

Em Eletrobras/IPH (1992), estudo que apresentou o diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios do Brasil, a bacia do rio Doce é dividida em duas regiões (aproximadamente a montante e jusante de Governador Valadares), denominadas no estudo de E-5 Zona Litoral Leste (porção mais a jusante) e E-6 Zona Mineira (porção mais a montante). Neste estudo a Zona Mineira apresentou produção específica sedimentológica média de 250 t/ano/km^2, enquanto a Zona Litoral Leste apresentou o valor de 43 t/ano/km^2. Esses valores, entretanto, referem-se apenas à suspensão.

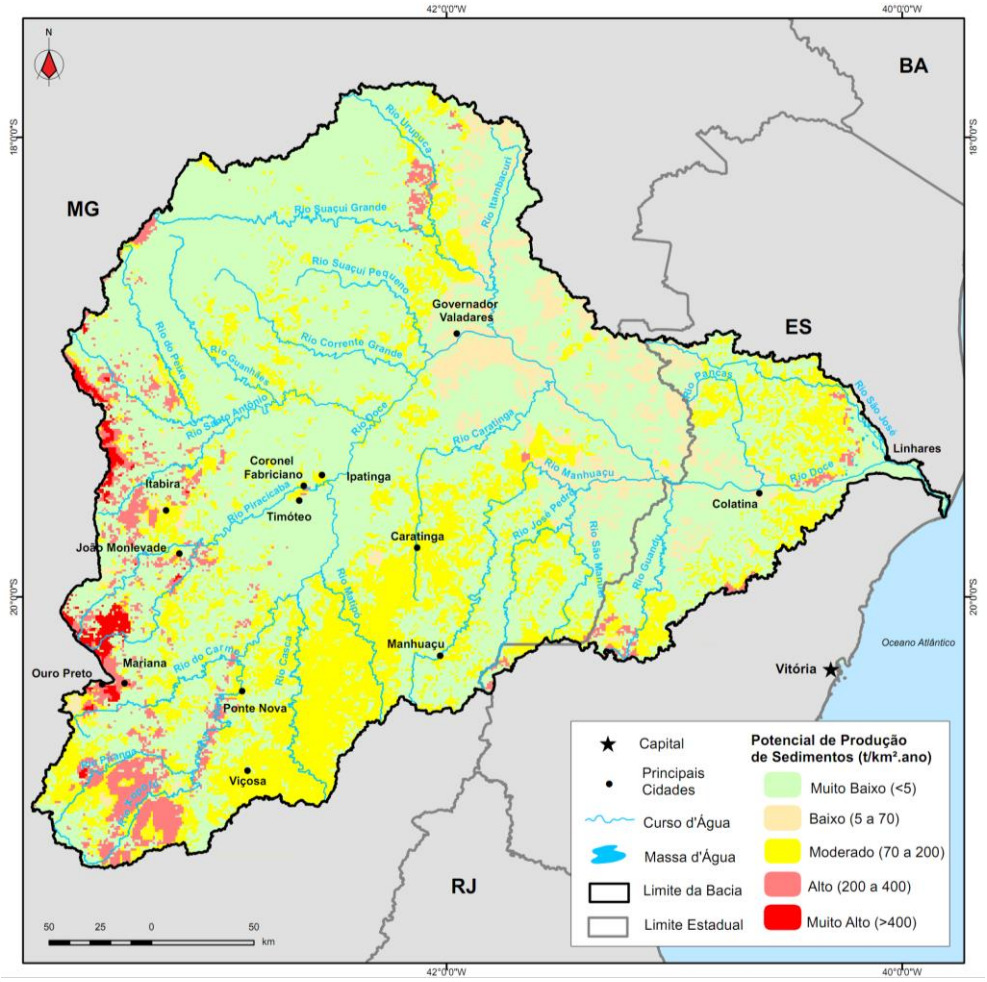
Para as estações e período analisados no presente estudo, a média aproximada para a produção de sedimentos em suspensão para as estações localizadas na Zona Litoral Leste seria de 128 t/ano/km^2, enquanto as estações da Zona Mineira teriam uma média de 130 t/ano/km^2, ou seja, sem a distinção marcante para as médias das duas regiões obtida em

Eletrobras/IPH (1992). No presente estudo, observou-se que o valor médio da produção sólida é fortemente influenciado pelo conjunto de estações utilizadas para compor a média. No caso da Zona Litoral Leste, observa-se, por exemplo, que as estações do rio Guandu elevam expressivamente o valor da média. Logo, as diferenças nos valores encontrados entre o presente estudo e o apresentado em Eletrobras/IPH (1992) podem ser explicadas pelos diferentes conjuntos de estações utilizadas, metodologias e períodos.

Outro estudo que contém a avaliação da produção de sedimentos da bacia do rio Doce é apresentado por Campagnoli (2006), o qual elaborou um mapa e uma classificação da produção de sedimentos (suspensão) para todo continente sul-americano com base nas características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de uso do solo, declividades e de precipitação. A partir dessas informações, a ANA (2016b) publicou um estudo somente para a bacia do rio Doce, onde se conclui que, por essa bacia apresentar suas nascentes em regiões montanhosas, onde as vazões são de grande ordem, há um elevado aporte de material de rochas cristalinas do planalto de Minas Gerais, desencadeando uma alta produção de sedimentos. Além disso, as características de solos que compõem a bacia, o uso deste e a forma do relevo, também favorecem o transporte de solo para o corpo hídrico.

Conforme pode ser observado na Figura 139, ocorrem produções de sedimento da classe moderada (70 a 200 t/ano/km^2) a muito alto (> 400 t/ano/km^2) em muitos dos rios afluentes e formadores do rio Doce (rio Matipó, rio Casca, rio Xopotó, rio Piranga, rio do Carmo).

Figura 139 – Potencial de produção de sedimentos na bacia, calculado em toneladas por quilômetro quadrado por ano.



Fonte: ANA (2016b).

Ressalta-se que os estudos apresentados em Eletrobras/IPH (1992) e Campagnoli (2006) possuem uma defasagem de tempo em relação aos resultados produzidos no presente trabalho. Assim, é importante ter em mente que mudanças no uso do solo ocorreram após o período adotado nesses trabalhos. Entretanto, através de ambos é possível concluir que a média de produção de sedimentos na bacia é de expressivo valor.

Estimativa da perda de solo em função dos valores de produção sólida e aplicação da taxa de transferência de sedimentos

Como exposto no item 3.5.2.5, os sedimentos gerados da perda de solo da bacia são propagados e aportados nos canais fluviais, onde poderão ser monitorados ou estimados os valores de produção sólida. A produção de sedimentos, que é o parâmetro de especial interesse na avaliação hidrossedimentológica, representa uma parcela do total do material que foi erodido na bacia. A razão entre a produção de sedimentos no exutório e a erosão bruta na bacia é conhecida como taxa de emissão de sedimentos.

Didoné (2013) apresentou valores de taxas de emissão de sedimentos estimadas em diversos estudos, cujos principais resultados e características se encontram na Tabela 38. Ressalta-se que as bacias consideradas nas análises citadas são de tamanhos muito diferentes, bem como são diversos os métodos de cálculo de taxa de emissão de sedimentos, o que exige cautela na comparação entre valores.

Tabela 38 – Valores de taxas de emissão de sedimentos estimados por diversos autores.

Referência	Local	Área de drenagem (km²)	Taxa de emissão de sedimentos (%)
Van Rompaey et al. (2007)*	República Checa	1.960	28
Verstraeten et al. (2007)*	Austrália (diversos rios)	164 – 2.173	20 - 39
Fryirs e Brierley (2001)*	Sul da Austrália (rio Bega)	1040	70
Romero Díaz et al. (1992)*	Espanha (rio Segura)	100 – 1.500	7 - 46
Vente et al. (2008)*	Espanha (61 bacias)	30 – 13.000	0,03 - 55

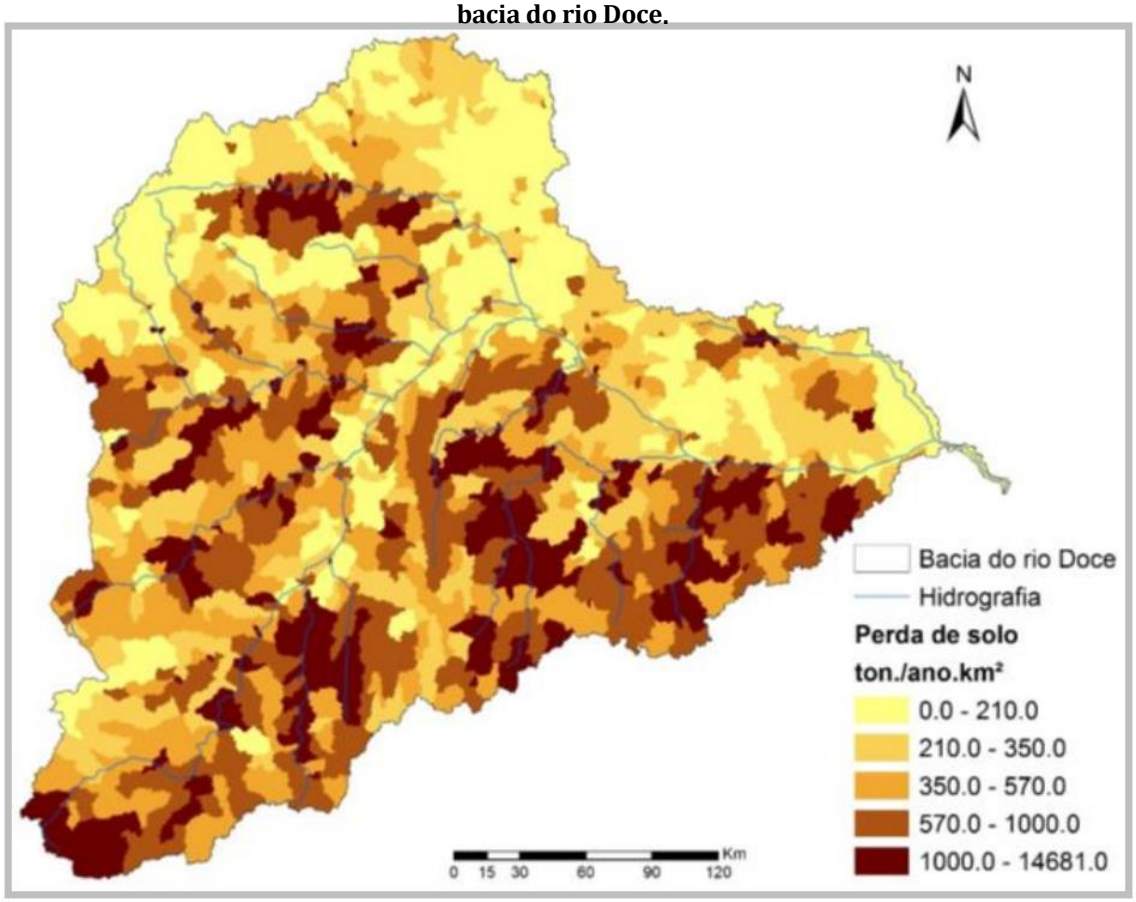
Nota: Referências apud Didoné (2013).

Para realizar uma estimativa da perda de solo da bacia através de um exercício avaliativo dos resultados aqui produzidos e que poderá ser comparada com os resultados de Fagundes et al. (2017), utilizou-se a equação estabelecida empiricamente por Vanoni (1975 apud SILVA (2015), apresentada no item 3.5.2.5. As taxas de emissão variaram entre e 17 e 25% para as bacias consideradas, as quais foram aplicadas sobre os valores de produção sólida em suspensão e total apresentados na Tabela 37. Realizando a média ponderada pelas áreas incrementais, foi possível obter a média de perda de solo específica para a bacia igual a 615 t/ano/km². Esse valor considerou o período 1998-2014. Nesse cálculo, foram consideradas as descargas sólidas em suspensão, visto que os sedimentos de arraste (os quais, em conjunto com os sedimentos em suspensão, compõem a descarga sólida total), são normalmente fornecidos em maior parcela pelos materiais dos próprios canais, margens de inundação e áreas no entorno destas. Por meio da obtenção desse valor, é possível comparar com o resultado obtido em outros estudos, tal como o apresentado por Fagundes et al. (2017).

O estudo de Fagundes et al. (2017) consistiu na aplicação do modelo MGB-SED em uma simulação preliminar (sem calibração dos parâmetros sedimentológicos) na bacia do rio Doce. Um dos resultados apresentados no referido estudo foi o cálculo da perda de solo específica média por minibacia, utilizando a equação universal de perda de solos modificada MUSLE (WILLIAMS, 1975). Conforme Buarque (2015), cujo autor desenvolveu o MGB-SED, o modelo permite a modelagem sedimentológica acoplada aos processamentos hidrológicos (modelo conceitual distribuído) e hidrodinâmicos (método de Muskingum-Cunge e equações completas de Saint Venant).

Os resultados do cálculo da perda de solo específica média para o período da base de dados (1970-2010), determinado por Fagundes et al. (2017), são apresentados na Figura 140.

Figura 140 – Perda de solo específica média por minibacia calculada a partir da MUSLE para a bacia do rio Doce.



Fonte: Fagundes et al. (2017).

Conforme observado por Fagundes et al. (2017), a bacia do rio Doce apresenta uma alta variabilidade na quantidade média de sedimentos produzida ao longo dos anos (1970-2010), podendo variar de valores inferiores a 10 t/ano/km^2 a valores próximos de 14.680 t/ano/km^2. O valor médio de perda de solo para a bacia do rio Doce resultou em 657 ton/ano/km^2 (valor informado gentilmente pelos autores). Tal como pode ser verificado no presente estudo, a região norte possui predominância de valores mais baixos, enquanto a porção inferior apresenta predominantemente maiores valores de perda de solo. Segundo Fagundes et al. (2017), o relevo da bacia parece explicar o padrão espacial apresentado na Figura 140, pois as regiões que apresentam maiores valores de perda de solo coincidem, geralmente, com locais com declividades mais elevadas.

Verifica-se haver uma diferença de apenas 6% na comparação direta entre o valor de perda de solo obtido em Fagundes et al. (2017) com a aplicação da MUSLE, e o obtido com a taxa de emissão de sedimentos estimada por Vanoni (1975 apud SILVA, 2015), aplicada sobre os resultados de produção sólida obtidos para as estações adotadas no presente estudo. Entretanto, apesar da semelhança entre resultados, ressalta-se que foram utilizados diferentes períodos de dados nos dois estudos. Considerando a metodologia do presente estudo aplicada sobre o período 1970-2010, ou seja, o mesmo período adotado em Fagundes et al. (2017), obtém-se como média de perda de solo para a bacia o valor de 732 t/ano/km^2. A diferença nesse caso entre os resultados dos dois estudos é de 11%, valor ainda tido como baixo e compatível com as pesquisas realizadas.

Diversos outros estudos têm apontado a erosão (retirada de sedimentos) e assoreamento (depósito de sedimentos) como um dos principais problemas do rio Doce. Conforme apontado por Consórcio Ecoplan-Lume (2010a), o desmatamento generalizado e o mau uso dos solos, seja para a monocultura do eucalipto ou para agricultura ou pastagem, tem conduzido a região a um intenso processo de erosão dos solos da bacia, cujos sedimentos resultantes tendem a assorear os cursos d'água. Consórcio Ecoplan-Lume (2010a) cita a ocorrência de áreas em que as rochas e o solo têm em sua composição química grandes concentrações de alumínio, agravando ainda mais o problema de contaminação das águas, a qual é potencializada pelo uso indiscriminado de agrotóxicos nas lavouras. Os despejos advindos da mineração e de resíduos industriais e domésticos corroboram nesse contínuo processo de assoreamento dos leitos dos rios da bacia.

Segundo Coelho (2007), as condições climáticas da bacia do rio Doce, associadas às características de relevo/solo, proporcionam normalmente: a maior velocidade de decomposição sofrida pelos minerais constituintes do material de origem (rocha) e maior atividade no processo de pedogênese dos solos tropicais e processos naturais de erosões. Tal como Consórcio Ecoplan-Lume (2010a), Coelho (2007) aponta que, considerando a vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Doce, esse processo tem sido potencializado pelos inadequados uso e manejo do solo. A produção de sedimentos tem se intensificado pela ação do homem por meio do desmatamento extensivo realizado ao longo das décadas passadas, acelerando, assim, os processos de transporte de sedimentos para o canal principal e reservatórios, gerando grandes depósitos de sedimentos e intensificando a ocorrência de cheias. De fato, há algumas décadas a paisagem da bacia era coberta, em sua maior parte, por mata nativa com Campos de Altitude (na serra do Caparaó, serra do Espinhaço e serra da Mantiqueira), Floresta Estacional Semidecidual e o predomínio da Floresta Ombrófila Densa (ou Mata Atlântica) com rico estoque de mata ciliar. Em menos de quatro décadas, grande parte das matas nativas, incluindo a ciliar, deu lugar a uma paisagem de café e pastagem, impulsionada pela construção da ferrovia (COELHO, 2009). Outro fator importante que contribuiu para a supressão das matas na região do médio rio Doce foi a criação do polo industrial (fornecimento de carvão para as siderurgias).

Os fatores que aceleram o processo de erosão são mais devastadores em bacias com terrenos com forte susceptibilidade natural à erosão, a qual é resultante de um conjunto de fatores, como as características da chuva, a topografia e a ocorrência de solos mais vulneráveis ao processo erosivo. Conforme Ross (2004 apud CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a) e Kawabubo et al. (2005 apud CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, clima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico.

Consórcio Ecoplan-Lume (2010a) apresentou uma análise do processo erosivo na área da bacia baseada nos estudos relativos ao Inventário Hidrelétrico da bacia do rio Doce, realizados pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), cujos resultados foram sintetizados em forma de mapa demonstrando a susceptibilidade erosiva do solo. Para a construção desse mapa, foram consideradas as informações obtidas dos mapas de solo,

geomorfologia, e de precipitação, considerados como “fatores condicionantes” quanto à fragilidade da área relativa à ocorrência de processos erosivos. A susceptibilidade à erosão foi obtida considerando os seguintes critérios (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a, p. 69):

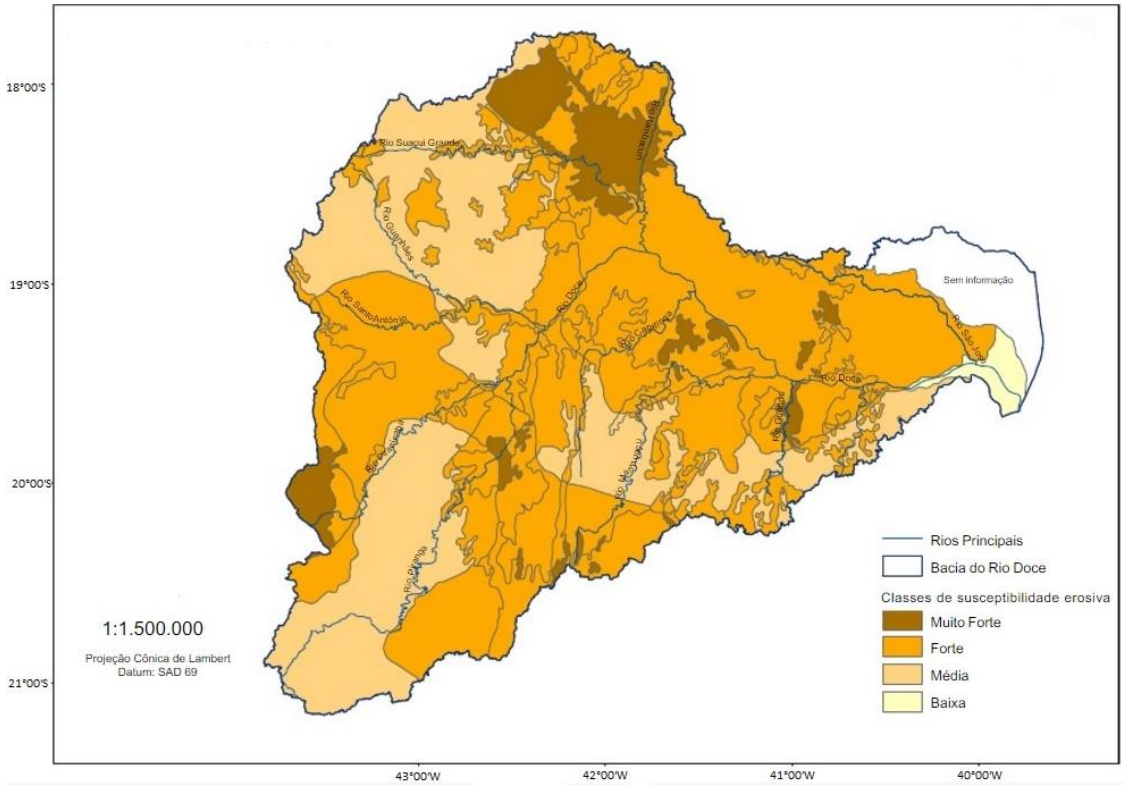
> Do mapa de solos, foram considerados mais susceptíveis à erosão os Cambissolos e os Argissolos em relevo montanhoso e forte ondulado. Do mapeamento geomorfológico foram considerados áreas mais susceptíveis, as cristas e pontões, dada à facilidade que são remobilizados os depósitos de talus no sopé dos afloramentos. Além destas, toda a unidade denominada Depressão do rio Doce, devido a sua propensão natural à erosão e à grande disponibilidade de materiais friáveis e facilmente erodíveis que constituem as rampas de colúvio, bem como os terraços mais antigos e depósitos de cobertura das Superfícies de Aplainamento Pleistocênica. A análise dos mapas de precipitação levou à determinação de duas áreas críticas. Os seus limites foram baseados nos mapas de chuva máxima diária anual (isolinhas de 150mm/diários) e no do coeficiente de variação da precipitação anual (isolinha de 26%). O primeiro caracteriza as áreas submetidas a chuvas bem distribuídas, porém intensas, e o segundo indica períodos de estiagem alternados com chuvas torrenciais.

A hierarquização da susceptibilidade à erosão foi feita por meio da classificação quanto à intensidade do processo:

- muito forte: associação dos três condicionantes ocorrerem na área;
- forte: presença de pelo menos um fator condicionante;
- média: ocorrência esparsa de erosão e devido à escala não foi possível identificar o fator condicionante;
- baixa ou nula: abrange as planícies fluviais e marinhas da foz do rio Doce.

O mapa de susceptibilidade erosiva, transcrito de Consórcio Ecoplan-Lume (2010a), é mostrado na Figura 141. Conforme pode-se observar, a maioria da bacia se encontra na classe de susceptibilidade erosiva forte (58% da área), ocupando principalmente a depressão do rio Doce e várias sub-bacias. Na classe de susceptibilidade muito forte, 7% da área da bacia se inserem nessa categoria, sendo que, além de pequenos trechos de sub-bacias distribuídos esparsamente na bacia, as áreas atingidas são: alto curso do Piracicaba, mais precisamente nas cabeceiras do afluente rio Santa Bárbara, e na sub-bacia do Suaçuí Grande. A área onde se encontrava a barragem de Fundão também foi classificada como de susceptibilidade erosiva muito forte. A ocorrência dessa classe nessas áreas está associada às estiagens prolongadas, às chuvas torrenciais, aos solos susceptíveis e aos extensos depósitos superficiais friáveis que ocorrem em terraços fluviais e nas baixas vertentes (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a).

Figura 141 – Mapa de susceptibilidade erosiva da bacia do rio Doce.



Fonte: CETEC (1989 apud CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a).

Como explicado anteriormente, a susceptibilidade erosiva está também associada aos usos do solo da bacia. Em relação a esse tópico, Consórcio Ecoplan-Lume (2010a) informou que cerca de 64% da área total da bacia corresponde ao uso por atividades agropecuaristas. De fato, a inspeção de campo ocorrida no período entre 3 e 8 de maio de 2017 pela equipe dos Institutos Lactec, permitiu a constatação visual de intensa ocorrência dessa atividade. Nessa ocasião, pôde-se também observar que as áreas do entorno de grande parte do trajeto percorrido encontravam-se degradadas, com solo exposto com pouca ou nenhuma cobertura vegetal (Figura 142), ocorrendo a exposição de solos friáveis e ocasionando a formação de voçorocas e/ou ravinas (Figura 143), e com intensificação do processo de degradação pelo pisoteio do gado (Figura 144). Em parte do trecho percorrido que margeou o rio Doce, verificou-se a ausência de mata ciliar (Figura 145), sendo que, em alguns casos, foi observada a presença de gados ou áreas de cultivo às margens do curso d'água (Figura 146).

Figura 142 – Solo exposto com pouca cobertura vegetal.



Figura 143 – Exposição de solos friáveis ocasionando a formação de voçorocas e/ou ravinas.



Figura 144 – Intensificação do processo de degradação do solo pelo pisoteio do gado.



Figura 145 – Ausência de mata ciliar nas margens do rio Doce.



Figura 146 – Prática de cultivo às margens do rio Doce.

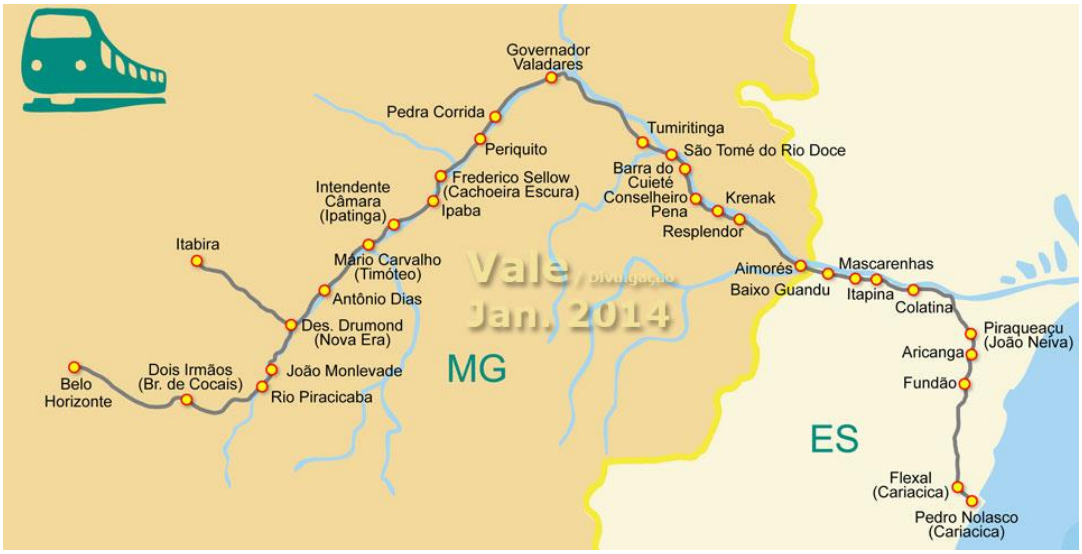


Também foi possível visitar diversos locais em que a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) corre muito próximo ao rio (Figura 147). O mapa da Figura 148 mostra que o traçado da EFVM basicamente segue a direção da calha natural do rio Doce, ficando próximo ao seu leito na maioria do trecho.

Figura 147 – Trilhos da EFVM próximo à calha do rio Doce.



Figura 148 – Trajeto da EFVM próximo à calha do rio Doce.



Fonte: http://vfco.brazilia.jor.br/Carros/efvm/trem-Vitoria-Belo-Horizonte-estacoes.shtml

Assim, em função de todas as ponderações do presente item, verifica-se que os altos valores de produção sólida obtidos para a bacia do rio Doce no presente estudo são qualitativamente condizentes às características observadas publicadas por diversos pesquisadores, bem como no trabalho de inspeção de campo, realizado pelo próprio Lactec.

3.5.4.3 Análise do estágio de assoreamento dos reservatórios

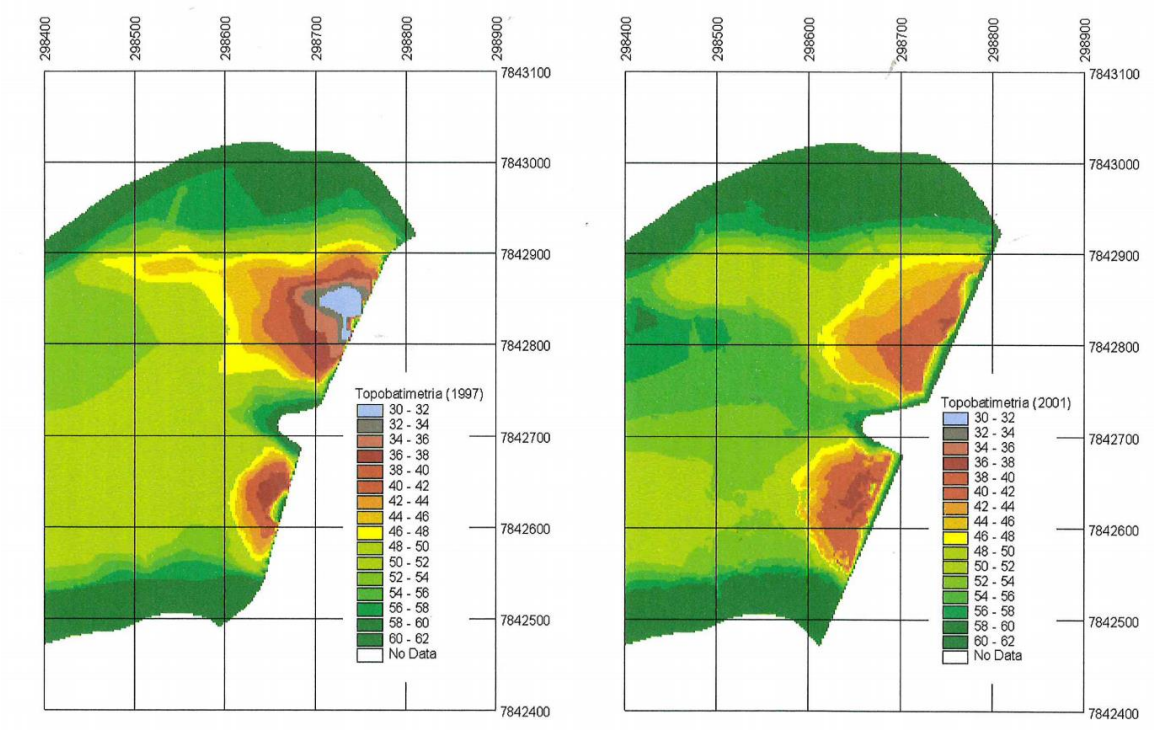
Segundo Almeida e Carvalho (1993), a UHE Mascarenhas já exigia dragagem permanente e restauração frequente das turbinas devido a problemas de assoreamento e transporte de sedimentos. Os autores citam a bacia do rio Doce como grande produtora de sedimentos, seja por motivos naturais (chuvas intensas e grandes declividades dos terrenos da bacia), quanto por motivos antrópicos (exploração de minérios, desmatamento etc.). Eles estimaram a vida útil do reservatório (assoreamento total até a cota da tomada d'água) em 10 anos a partir da época dos estudos.

Em 1997 e 2001, foram realizados levantamentos batimétricos do reservatório da UHE Mascarenhas, cujos resultados são apresentados em Lactec (2001). Em 1997, a cota do fundo do leito junto à tomada de água da casa de força estava em torno de 1 metro abaixo da cota da soleira e, em 2001, já tinha atingido essa cota. Junto ao vertedor, a cota do fundo se elevou, aproximadamente, em 10 metros no período entre 1997 e 2001, atingindo 3 metros abaixo da cota da crista do vertedor. Isso já caracterizaria o assoreamento total do reservatório e a produção de energia já estaria comprometida. A Figura 149 apresenta o Modelo Digital de Terreno (MDT) de 1997 e 2001 da área próximo ao eixo da barragem.

Cortez (2013) analisou o desempenho de diversas metodologias para a estimativa do assoreamento de reservatório da UHE Aimorés. A conclusão foi que o melhor método é dependente da quantidade e qualidade dos dados, inferindo a importância dos dados de entrada. Apesar de existirem até a época de realização dos estudos levantamentos batimétricos anuais do reservatório até 2012, foram utilizados levantamentos realizados em 2007 e 2008, mostrando o perfil longitudinal do fundo do rio e os perfis de seções transversais

batimétricas levantadas. Por meio desse estudo, não foi possível avaliar o estágio de assoreamento do reservatório.

Figura 149 – Detalhe do MDT da região próximo à barragem de Mascarenhas.



Fonte: Lactec (2001).

Em relação à UHE Risoleta Neves, segundo o parecer da SEMAD (2014), o levantamento batimétrico do reservatório realizado em 2014, portanto um ano antes do desastre do rompimento de Fundão, apontava para uma vida útil do reservatório de 180 anos. O levantamento batimétrico de 2014 foi comparado ao de 1999, chegando-se à conclusão que a taxa de assoreamento vinha diminuindo, a qual foi estimada pela SEMAD (2014) como sendo igual a 449.598 t/ano para a época de realização dos estudos. A vida útil do reservatório estimada com dados até 1999 foi de 127 anos. Foi justificado que a diminuição da taxa de assoreamento detectada pela SEMAD (2014) em parte é explicada pelo controle dos focos erosivos no entorno do reservatório, bem como pela revegetação da Área de Proteção Permanente (APP) do empreendimento.

SEMAD (2009) relata que o empreendedor da UHE Baguari iniciou o monitoramento previsto no Programa de Acompanhamento de Assoreamento do Reservatório, o qual possui frequência anual e tem como metas o monitoramento da evolução dos processos de sedimentação a montante e a jusante da barragem e a proposição de medidas de minimização, quando cabíveis, dos efeitos do assoreamento. Não foram encontrados dados de assoreamento mais recentes para essa usina.

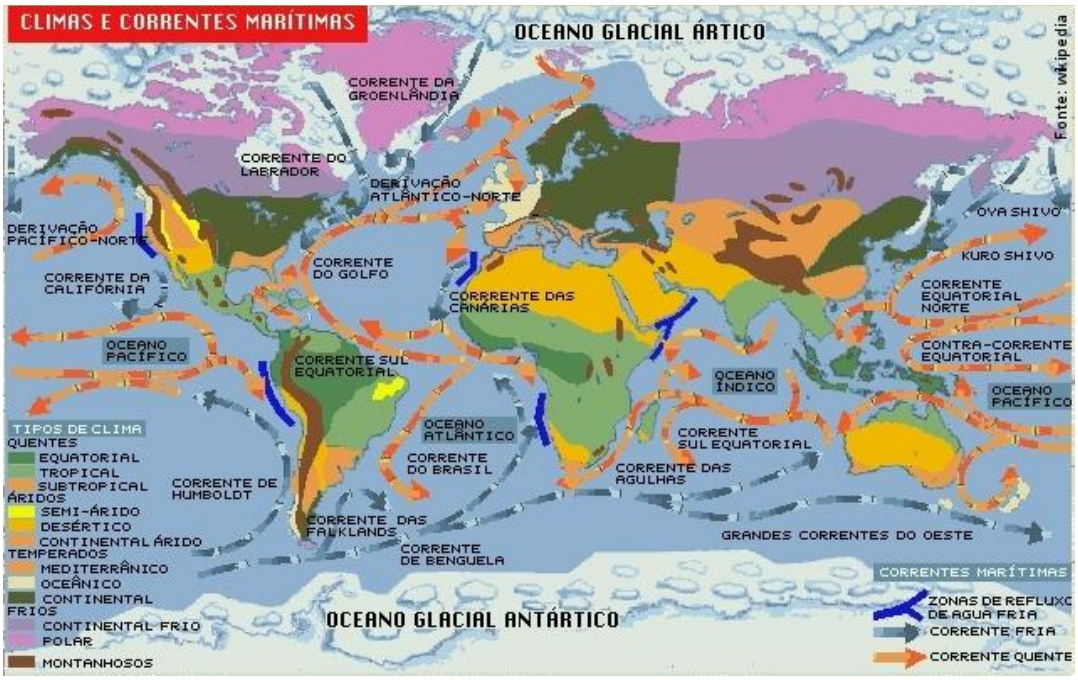
Na próxima etapa do trabalho serão analisados os estados de assoreamento dos reservatórios das quatro usinas por meio dos últimos levantamentos batimétricos antes do desastre a serem fornecidos pelas concessionárias.

3.5.4.4 Caracterização da região oceânica: aspectos hidrodinâmicos e batimétricos

A Figura 150 apresenta as principais correntes marítimas. Por meio dessa figura, observa-se que o Brasil está sob a influência da corrente do Brasil que segue a direção Norte-Sul (do Norte para o Sul).

Conforme já comentado no 3.5.2.11, a corrente do Brasil corresponde à corrente marítima predominante, e que próximo à região litorânea do continente os ventos e marés são os principais forçantes que influenciam a circulação nas zonas costeiras (TOMCZAD, 1998 apud IEMA, 2014). Ainda, de acordo com a Concremat (2007 apud IEMA, 2014), "[...] na região costeira, a circulação forçada por vento em escala local exerce uma influência maior do que aquela ligada ao escoamento termohalina (regido pela diferença de densidade entre as diversas massas de água dos oceanos), que governa o fluxo médio da CB (Corrente do Brasil)".

Figura 150 – Correntes marítimas verificadas ao longo do globo terrestre.



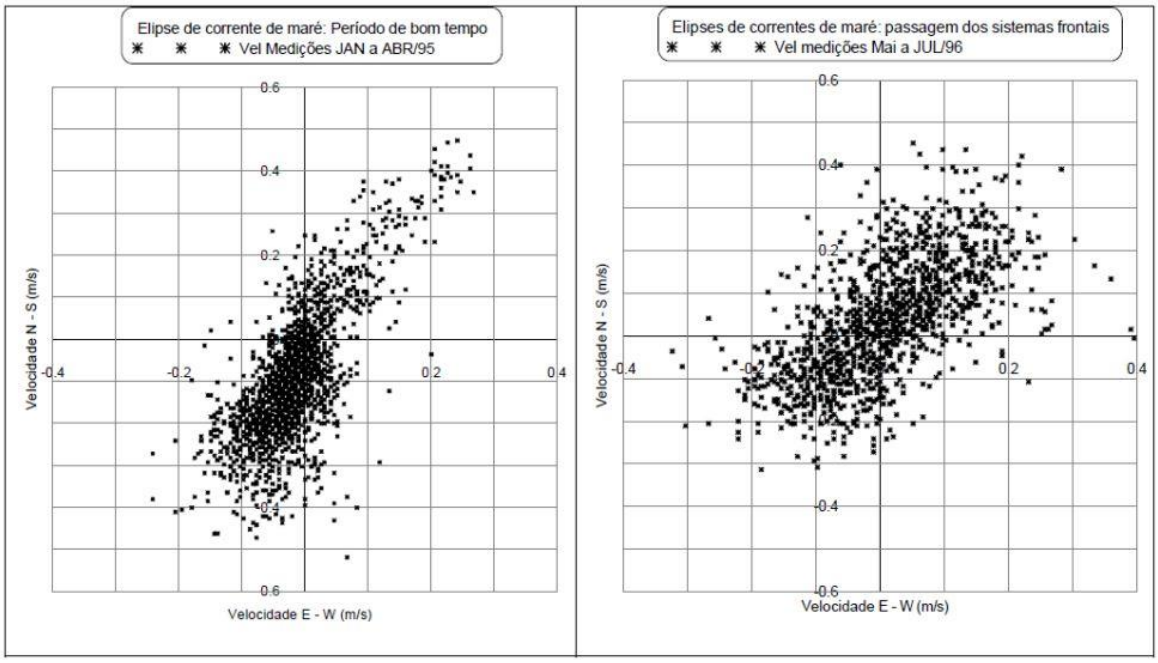
Fonte: Paraná (2017).

Os ventos predominantes próximos à costa são de Norte (N) e Nordeste (NE), ou seja, vindos do Norte e Nordeste. Entretanto, durante a passagem de frentes frias no inverno, predominam os ventos de Sul (S). Portanto, as correntes marítimas junto à costa normalmente também seguem essa tendência. Ocorre ainda a espiral de Ekman que no Hemisfério Sul "puxa" as correntes para o sentido anti-horário e, portanto, nas camadas intermediárias da coluna de água, a corrente que vinha do NE devido ao vento se descola levemente para a direção S. Entretanto, esse efeito é muito discreto em relação às outras forçantes envolvidas. Em consequência de todo o processo, ocorre a ressurgência que é o deslocamento das águas do fundo no sentido oposto ao Sul, ressurgindo a água nas praias do litoral.

Estudos do INPH (1980 apud IEMA, 2014) concluíram que, para a região da grande Vitória, não há influência significativa das correntes de maré, permanecendo a estreita associação entre direção e intensidade das correntes com a direção e intensidade dos ventos.

O estudo do IEMA (2014) apresenta medições de corrente marítima realizadas na região de efluentes industriais da Aracruz Celulose (34 km ao sul da foz do rio Doce) por meio de um correntógrafo que são aqui reproduzidas na Figura 151, através da qual se pode confirmar que as correntes marítimas no verão são, predominantemente, de NE para Sudoeste (SW) e no inverno oscila entre NE para SW e SW para NE.

Figura 151 – Dados horários de correntes medidos na região do Emissário de Aracruz Celulose.

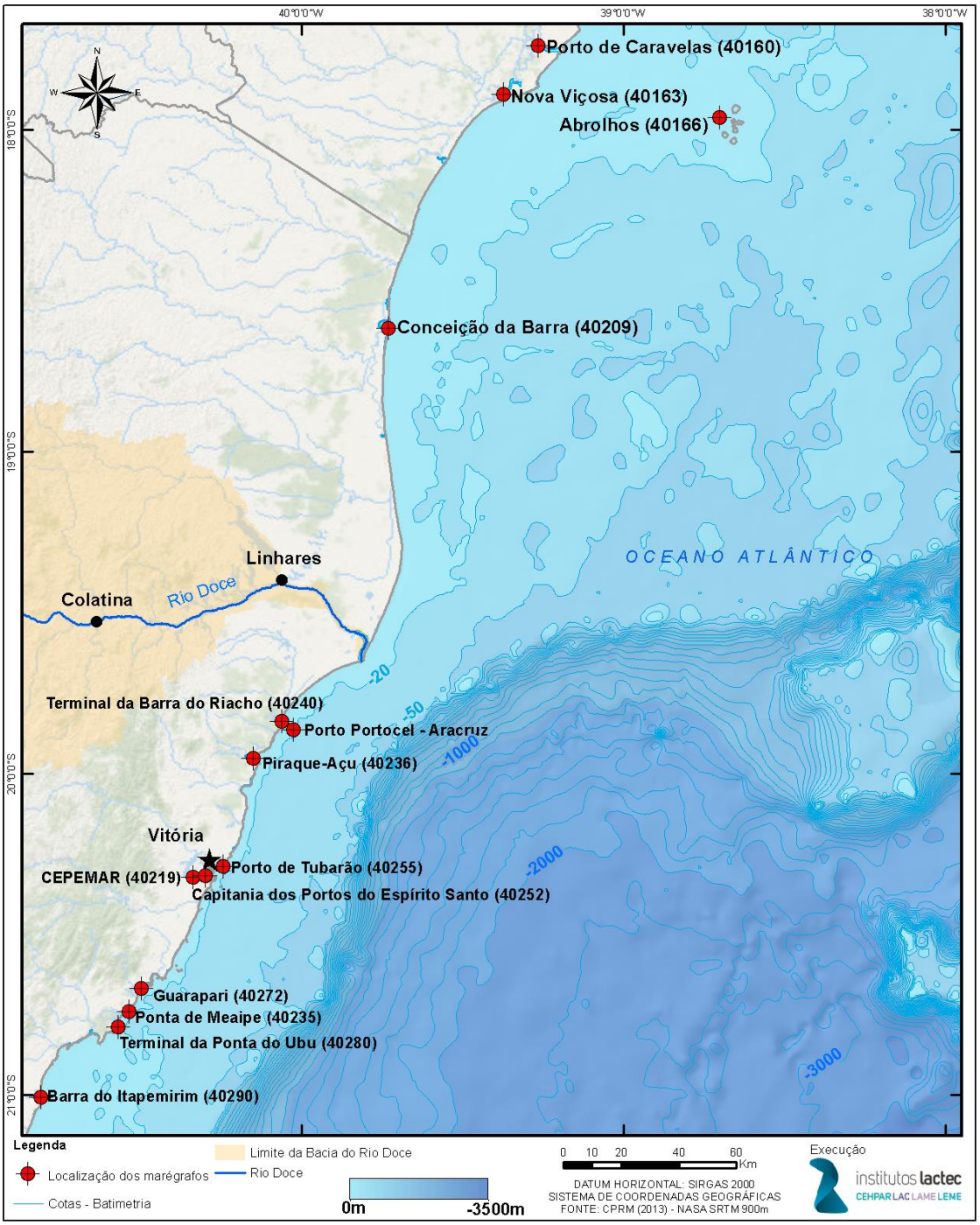


Fonte: IEMA (2014).

A Figura 152 apresenta a localização de marégrafos existentes na área de estudo. Os marégrafos mais próximos à foz do rio Doce são: "Conceição da Barra – 40209", "Nova Viçosa – 40163" e "Abrolhos – 40166", ao norte da foz do rio Doce; "Terminal Barra do Riacho – 40240", "Piraquê-Açu – 40240" e "Porto de Tubarão – 40255", ao sul da foz do rio Doce. Segundo a COPPE (2017), existe ainda um marégrafo localizado bem na foz do rio Doce no distrito de Regência (município de Linhares), cujos dados são utilizados pela Universidade Federal do Espírito Santos (UFES).

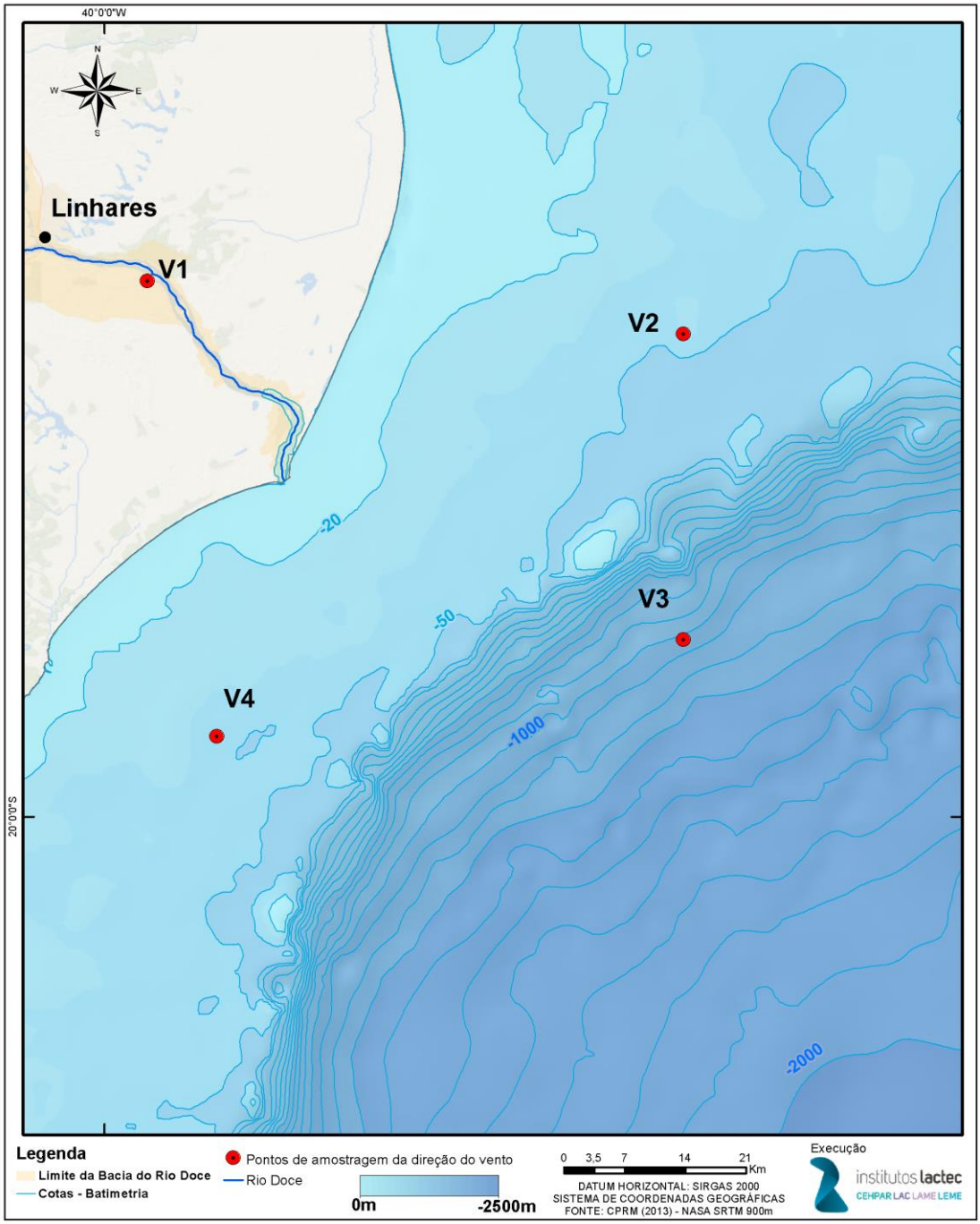
Para a área de estudo, a sequência de marés de sizígia (maior variação do nível de água) e quadratura (menor variação) é intercalada a cada 14,6 dias conforme estudo da COPPE (2017). Esse estudo se baseou nos dados de junho de 2011 do marégrafo localizado no distrito de Regência na foz do rio Doce (coordenadas do marégrafo: 413362,61 N e 7827614,67 UTM-Datum WGS84).

Figura 152 – Localização dos marégrafos na região.



Para apresentar a caracterização dos ventos, estes foram obtidos do modelo de reanálise ERA-Interim, disponibilizado pelo European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). Esse modelo obtém uma estimativa dos ventos ocorridos em qualquer ponto e é baseado em dados coletados por diversas formas (estações meteorológicas em terra, navios, boias de observações no mar etc.). Foram obtidos ventos do ERA-Interim de três pontos no mar e um próximo à cidade de Linhares. Esses pontos são apresentados na Figura 153.

Figura 153 – Localização dos pontos para estimativa dos ventos.



Para ilustrar o comportamento dos ventos, são apresentadas, para cada um dos quatro pontos selecionados, rosas dos ventos (gráfico representativo da direção, velocidade e frequência dos ventos) para um ano completo, para o período de inverno (junho a agosto) e para o período de verão (dezembro a fevereiro). Para obter as estimativas apresentadas nas figuras, foi selecionado o ano de 2016 e parte de 2017. O objetivo de tal ilustração é apenas de demonstrar genericamente esse tipo de informação. Essa caracterização servirá primordialmente para embasar os cenários que serão simulados em futuras modelagens e corresponderão aos períodos selecionados para simulações.

Os ventos não sofreram influência do evento, portanto não correspondem a fenômenos que serão submetidos a comparações entre resultados de linha-base e obtidos pós-desastre.

Entre a Figura 154 e a Figura 157 são apresentadas as rosas dos ventos para cada um dos quatro pontos selecionados, sendo que a rosa superior é a de um ano completo (a), a central é a de inverno (b), e a inferior é de verão (c).

Pode-se verificar a predominância dos ventos de N e NE, sendo que os ventos de S observados no inverno são gerados, conforme já citado, em ocasião da passagem das frentes frias. A direção dos ventos não muda muito entre os quatro locais. Apenas observa-se que para a localização 1, situada no rio Doce a cerca de 30 km a montante da foz no oceano, como esperado, a intensidade dos ventos é menor que para os outros pontos selecionados.

Figura 154 – Rosa dos ventos para a localização 1.

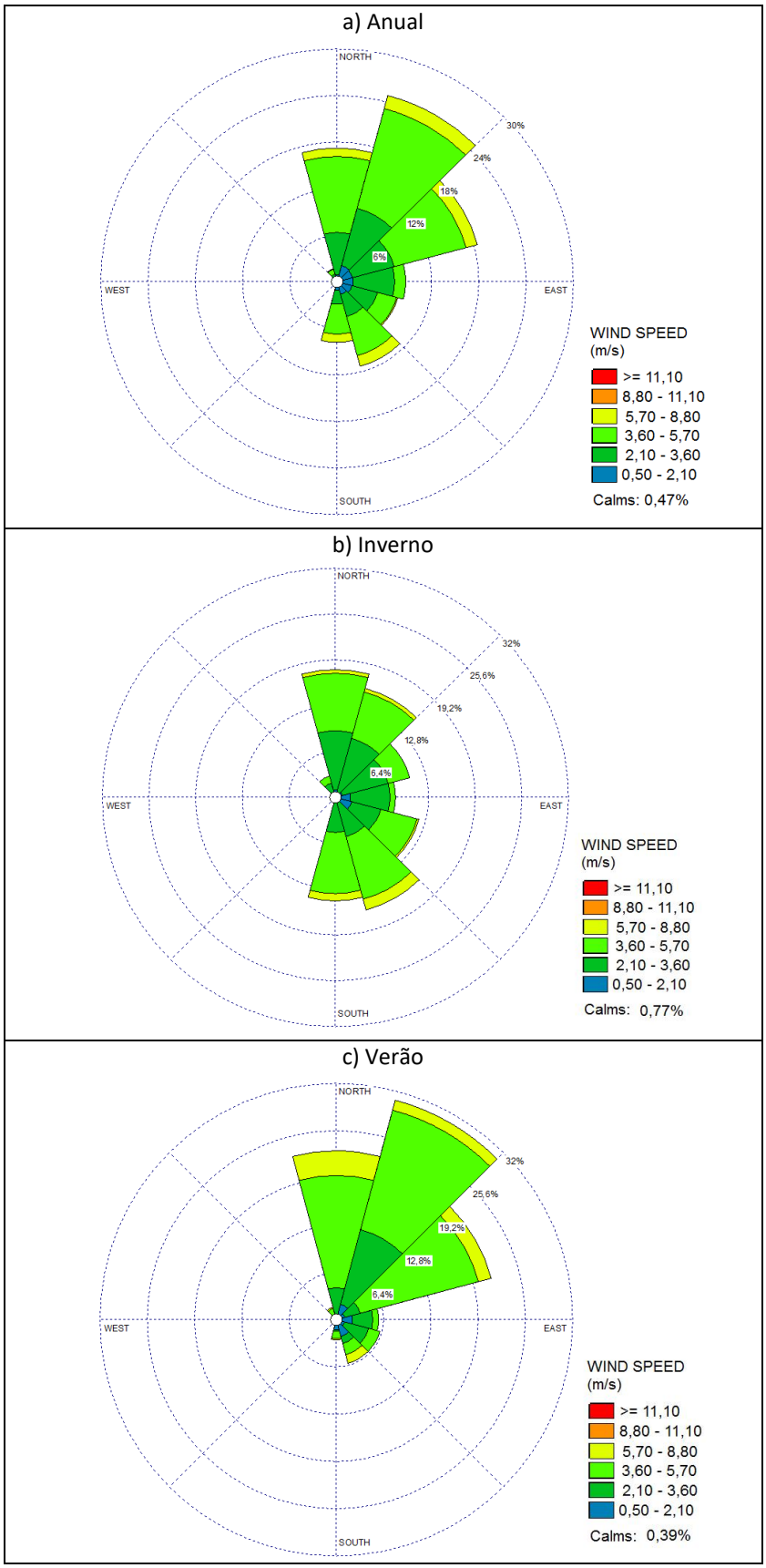


Figura 155 – Rosa dos ventos para a localização 2.

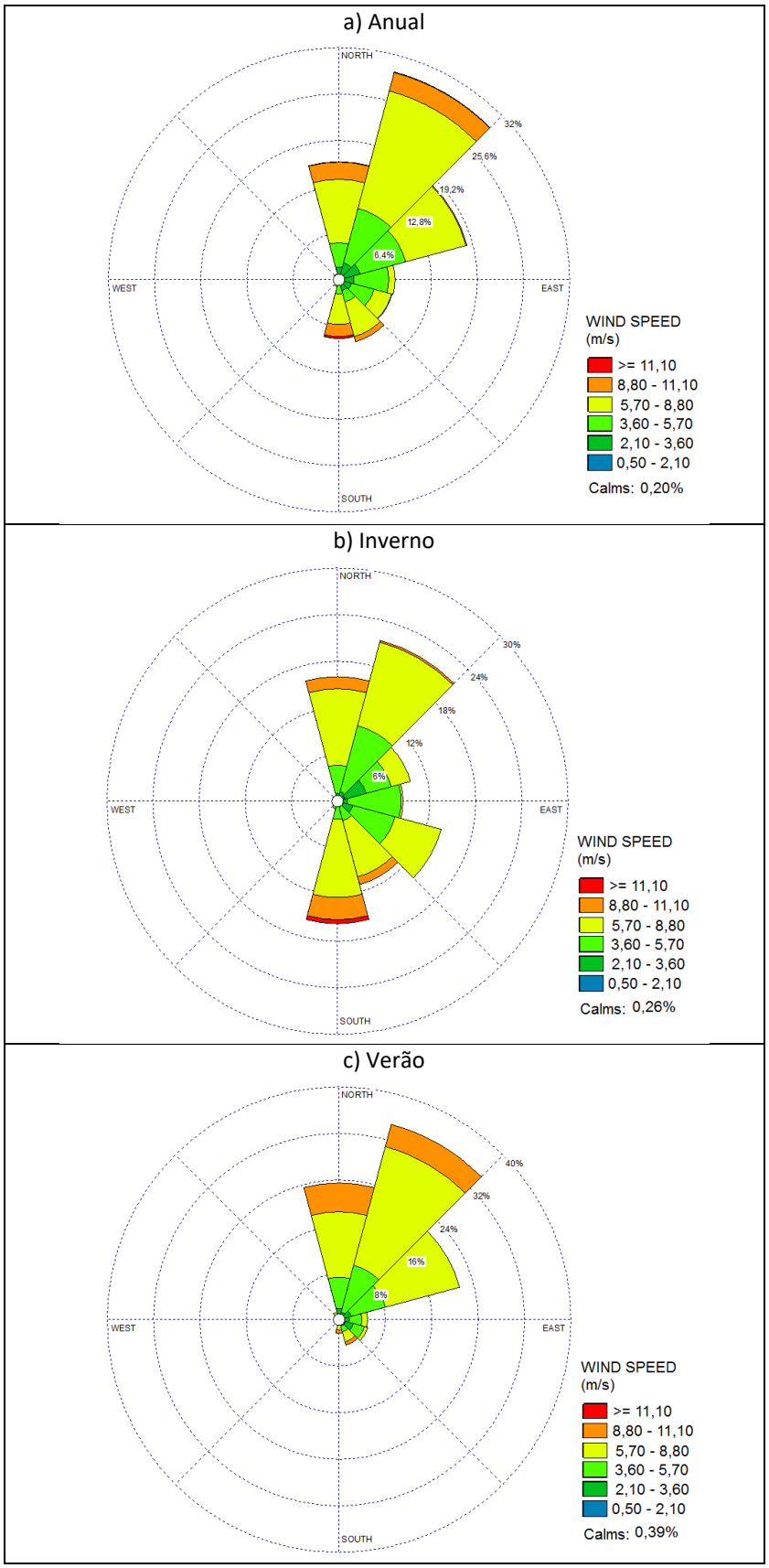


Figura 156 – Rosa dos ventos para a localização 3.

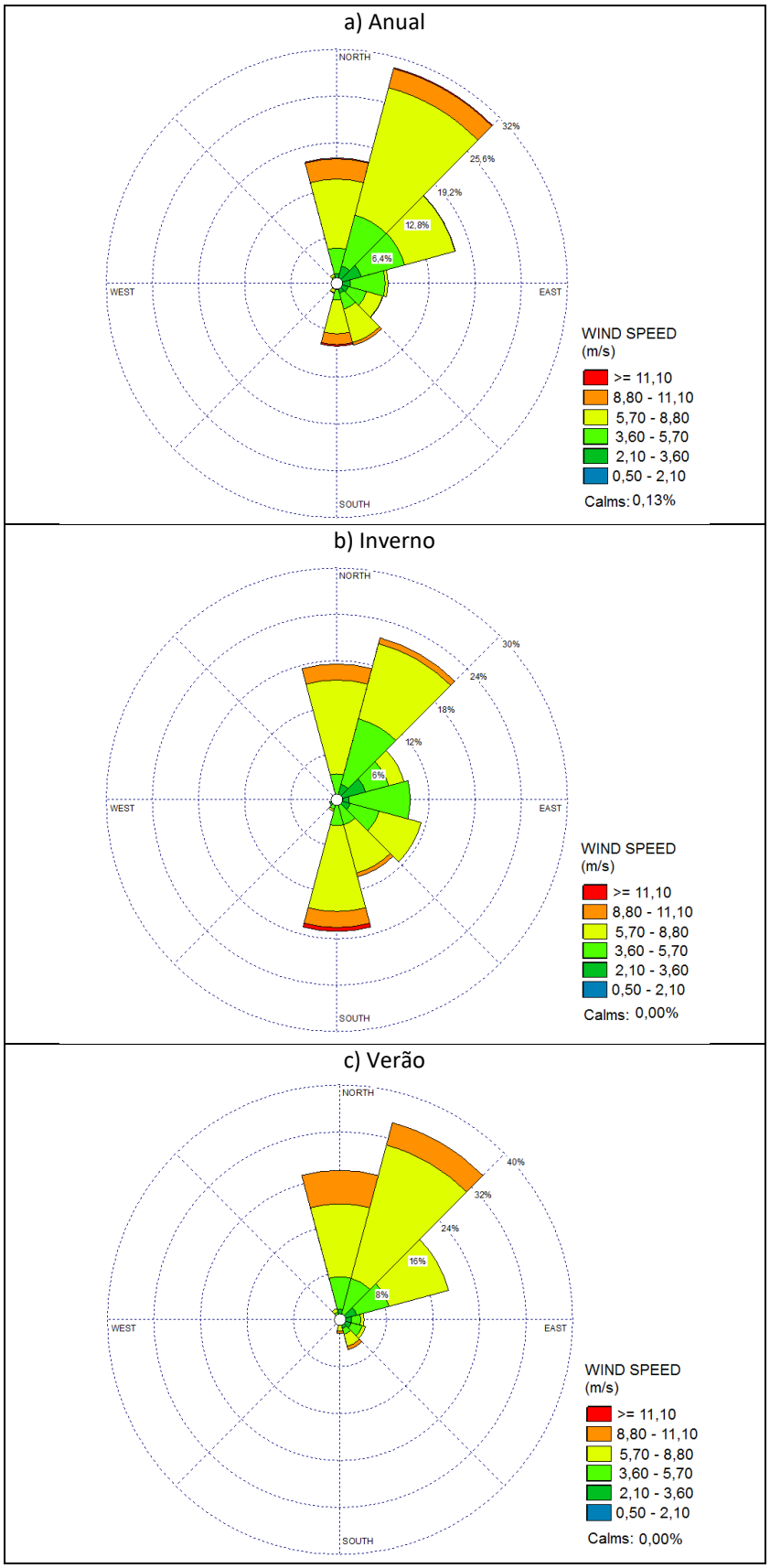
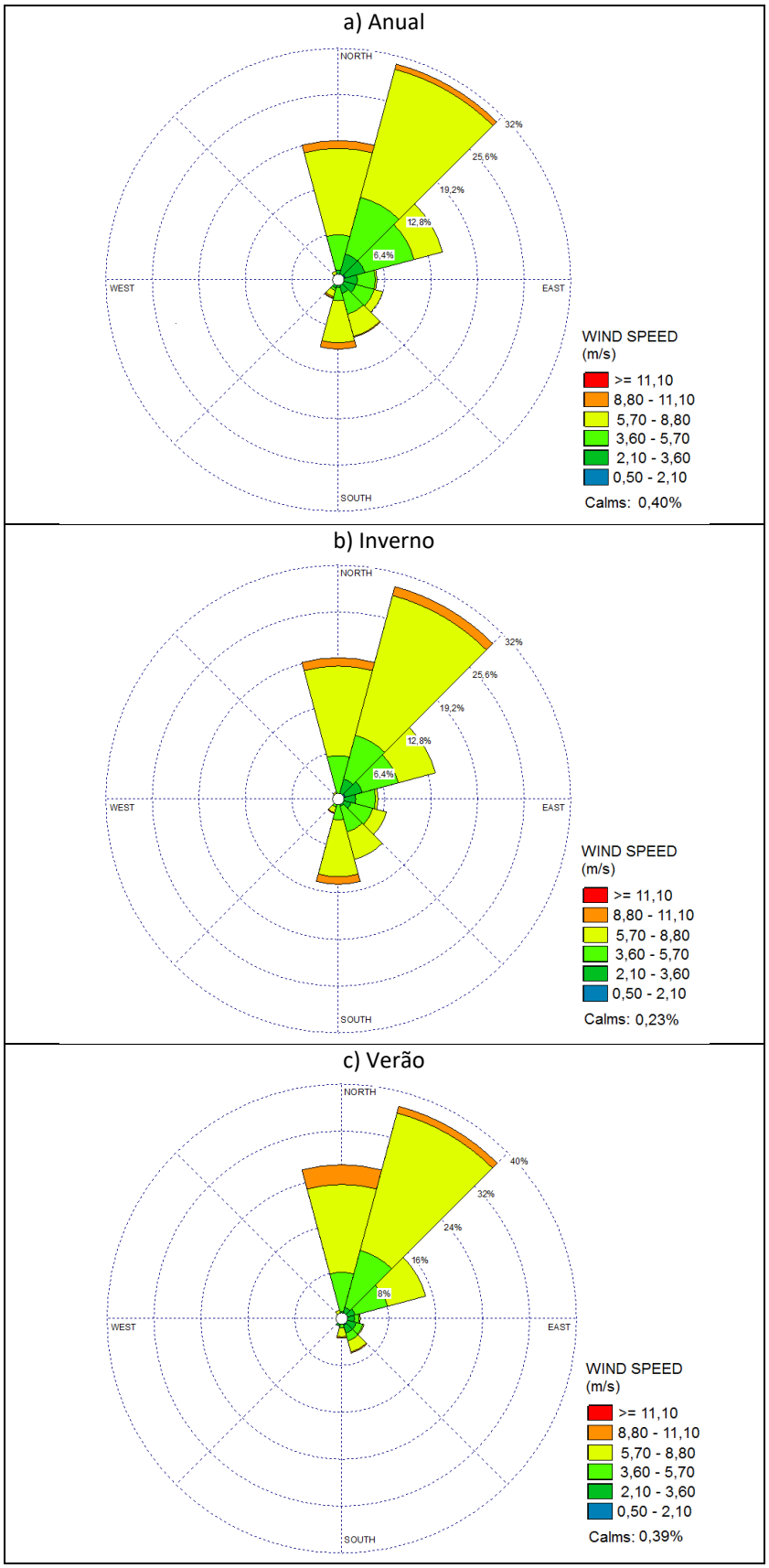


Figura 157 – Rosa dos ventos para a localização 4.



Como dito no item 3.5.2.11, temperatura, salinidade e pressão são importantes parâmetros para formar a base da descrição dos oceanos. A massa de água conhecida como água Central do Atlântico Sul, que compõe parte do fluxo da corrente do Brasil, se caracteriza por temperaturas entre 6 °C e 20 °C e salinidades entre 34,6 e 36. Essa maior variação do campo de temperatura produz uma dependência natural da densidade em relação à temperatura.

A batimetria da área costeira está disponível em forma de cartas náuticas. Por meio dessas informações pode ser gerado o MDT consolidado do fundo do mar. As cartas náuticas obtidas do Centro de Hidrografia da Marinha (BRASIL, 2017) foram:

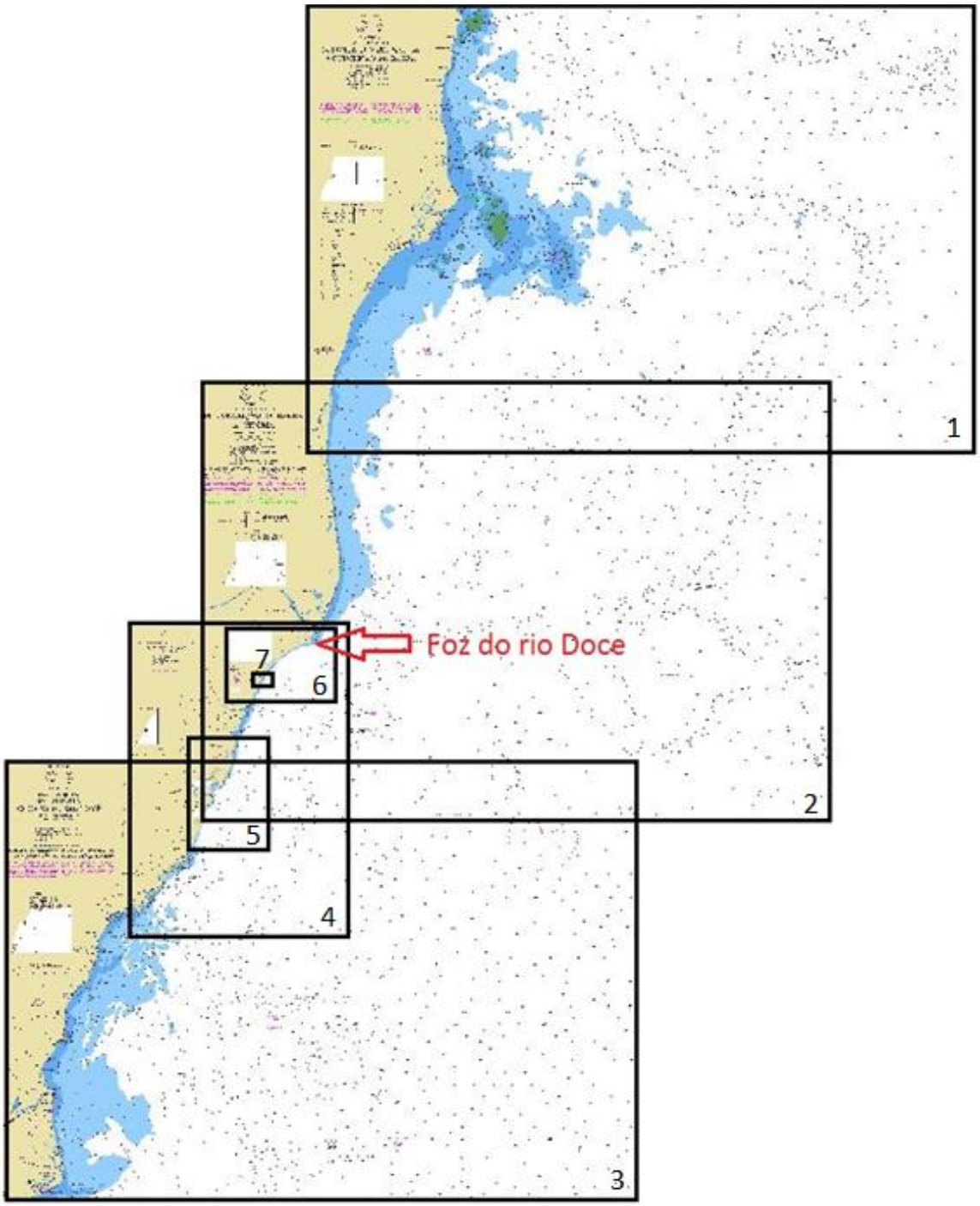
- 142001 – Proximidades da Barra do Riacho (escala 1:50.000);
- 142002 – Terminal Barra do Riacho (escala 1:15.000);
- 1402 – Do Pontal da Regência a Ponta do UBU (escala 1:150.000);
- 22700 – Da Ponta Cumuruxatiba a Conceição da Barra (escala 1:300.000);
- 22800 – Da Conceição da Barra a Vitória (escala 1:300.000);
- 22900 – De Vitória ao cabo São Tomé (escala 1:300.000);
- 1410 – Proximidade do Porto de Vitória e Tubarão (escala 1:150.000).

A Figura 158 apresenta a articulação dessas cartas náuticas e a localização da foz do rio Doce. A Figura 159 apresenta o detalhe da carta náutica nas proximidades da foz do rio Doce (142001 – Proximidades da Barra do Riacho).

A batimetria da região estuarina (rio Doce próximo à foz com influência das marés) antes do desastre será obtida do estudo denominado “Modelagem Computacional da Captação de Água e Descarte de Efluentes do Complexo Gás-Químico UFN-IV no Rio Doce (ES)”. Esses dados já foram solicitados para a UFES, entretanto, até o fechamento deste relatório, estes ainda não tinham sido disponibilizados. Esses dados batimétricos foram levantados em junho de 2011 segundo COPPE (2017).

O processamento dos dados das cartas náuticas, que possibilitará a geração da batimetria em informação digitalizada, será realizado em etapa posterior. Para a presente fase é possível caracterizar tridimensionalmente o fundo da área costeira através do trabalho apresentado por CPRM/ANP (2013). O referido estudo apresenta as imagens da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) realizada pela NASA no ano de 2000. As imagens de SRTM utilizadas neste estudo têm uma resolução de 900 m x 900 m (30 arcos de segundo) para cada pixel. A Figura 160 apresenta a batimetria apresentada em CPRM/ANP (2013).

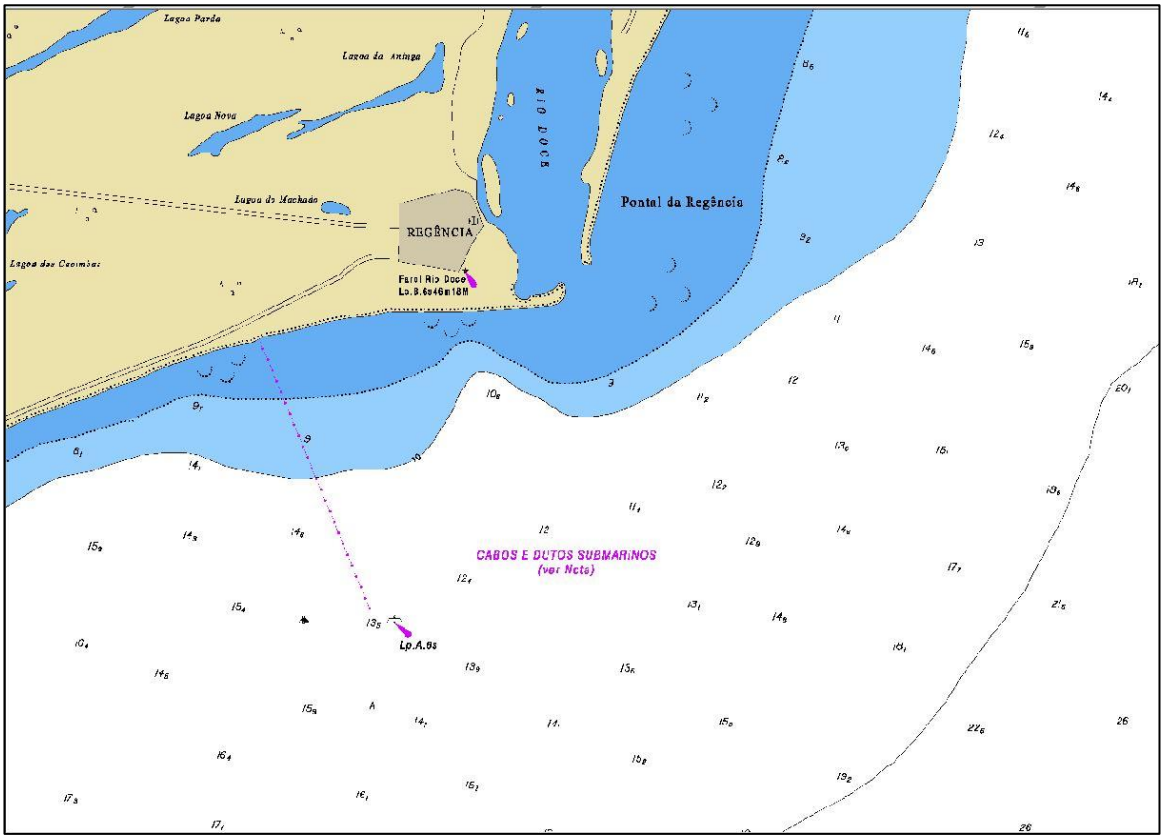
Figura 158 – Articulação das cartas náuticas que representam a batimetria da área costeira.



Legenda:
1 - 22700 – Da Ponta Cumuruxatiba a Conceição da Barra
2 - 22800 – Da Conceição da Barra a Vitória
3 - 22900 – De Vitória ao cabo São Tomé
4 - 1402 – Do Pontal da Regência a Ponta do UBU
5 - 1410 – Proximidade do Porto de Vitória e Tubarão
6 - 142001 – Proximidades da Barra do Riacho
7 - 142002 – Terminal Barra do Riacho

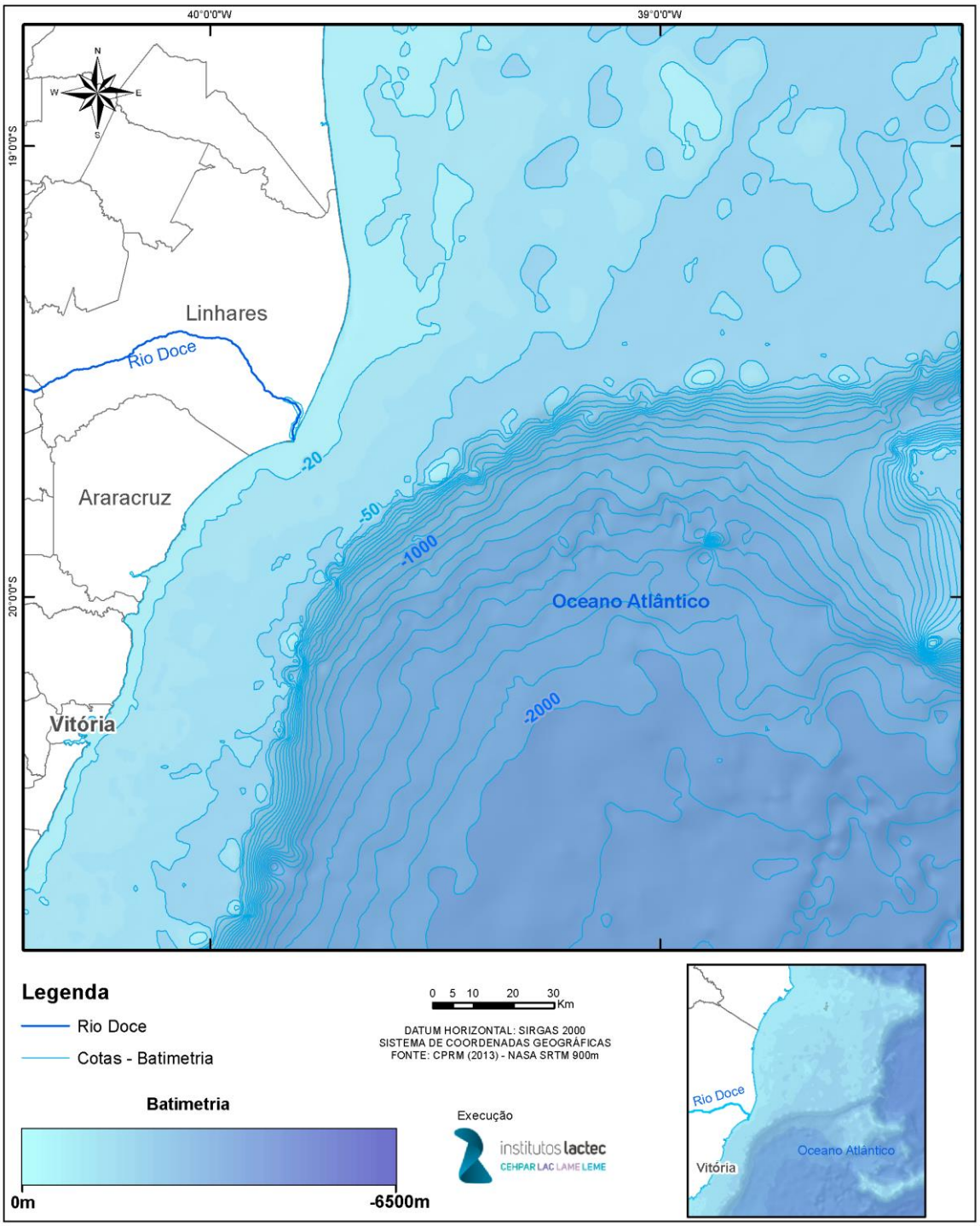
Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Figura 159 – Batimetria do oceano junto à foz do rio Doce (parte da carta náutica "Proximidades da Barra do Riacho").



Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Figura 160 – Batimetria da área costeira obtida das imagens da missão SRTM.



Para o estudo do diagnóstico das alterações morfológicas dos corpos d'água afetados pelo rompimento, a definição de linha-base será norteada pela realização de simulações dos ambientes para períodos predefinidos, através de cenários que considerem a não ocorrência do desastre. Ressalta-se que devido à tendência natural de alteração da morfologia do fundo, a linha-base relativa à batimetria é variável no tempo. Os mesmos períodos serão simulados em cenários que considerem a ocorrência do rompimento, cujos resultados, aliados às medições já obtidas após a ruptura, servirão de comparação com a linha-base para avaliar a

influência do desastre na morfologia do fundo do mar e disponibilidade de material para ressuspensão. Essas simulações dependem de muitos dados ainda não disponíveis e/ou não consolidados, bem como de elevado tempo de configuração dos modelos a serem utilizados, e, portanto, serão apresentadas em etapa posterior.

3.5.5 Considerações finais

São observadas diferenciações significativas em termos de disponibilidade hídrica ao longo da bacia. No entanto, verificou-se que as estações do rio Doce possuem um comportamento relativamente homogêneo e decrescente ao longo do curso d'água, diferenciando-se das estações das sub-bacias as quais possuem comportamento bem variável.

A bacia hidrográfica do rio Doce é uma das mais prolíficas no país em termos de produção de sedimentos, dadas as condições climáticas da bacia, associadas às características de relevo/solo, proporcionarem maior velocidade de decomposição sofrida pelos minerais constituintes do material de origem.

Os processos de erosão são potencializados pelos usos do solo e inadequados manejos do solo (extensas áreas descobertas, ausência de mata ciliar, pisoteio do gado sobre solo desnudo). Foram também notificados locais com plantação de eucalipto. Costa (2000 apud COELHO, 2007) constatou que os efeitos da monocultura do eucalipto provocam alterações sobre o meio físico (fauna, flora, solos etc.), reduzindo sensivelmente a disponibilidade da água de subsuperfície e secando inúmeros corpos d´água.

Os efeitos da urbanização e do desmatamento produzem, normalmente, o aumento da velocidade das águas superficiais (pluviais) que eram antes interceptadas pelas matas, permitindo que boa parte fosse absorvida pelo solo. Como lembrado por Coelho (2007; 2008), todos esses fatores têm uma relação direta com o material particulado transportado via fluvial, o qual se torna fonte para processos de assoreamento nos cursos d'água, causando a ocorrência de cheias mais frequentes no rio.

De forma similar ao comportamento fluviométrico, a distribuição do transporte de sedimentos se apresentou similar para as estações localizadas ao longo do rio Doce, e bastante variável para as estações das sub-bacias representadas pelos afluentes, as quais também possuem menores áreas de drenagem.

Portanto, a linha-base em termos hidrológicos são as características das vazões nos rios em questão que são representadas pelos seus valores médios, mínimos e máximos e curvas de permanência, bem como pelas características do transporte de sedimentos representadas pelas curvas-chave sólidas e pelas séries de vazões sólidas (produção de sedimentos).

Quanto ao assoreamento dos reservatórios, os dados referentes à linha-base são as batimetrias (ou MDT), obtidas nos reservatórios antes do desastre da barragem de Fundão. Esses dados já foram solicitados para as proprietárias das usinas hidrelétricas e ainda não foram fornecidos aos Institutos Lactec. Na presente etapa foi possível apenas inferir, com base em informações encontradas na literatura, uma análise preliminar do estágio de assoreamento para dois dos quatro reservatórios situados no rio Doce.

Para a UHE Mascarenhas foi possível avaliar que, na época do estudo mais recente disponível para pesquisa (2001), o reservatório se encontrava em avançado estágio de

assoreamento, com frequente exigência de dragagem. Para a UHE Risoleta Neves, o levantamento batimétrico do reservatório realizado em 2014 apontou para uma vida útil deste em 180 anos, com processo de assoreamento ainda incipiente e com evidências de que a taxa de assoreamento vinha diminuindo, justificado em parte pelo controle dos focos erosivos no entorno do reservatório, bem como pela revegetação da APP do empreendimento. Os estudos disponíveis para os outros reservatórios (UHEs Aimorés e Baguari) não permitiram a avaliação do estágio de assoreamento destes.

Em relação à morfologia do canal e planícies de inundação do rio Doce e da área oceânica afetada, terão suas respectivas informações de linha-base complementadas por meio de cenários simulados em modelagens hidrodinâmicas a serem realizadas em etapa posterior e que demandarão a coleta e processamento de diversos dados ainda a serem coletados.

A avaliação apresentada neste relatório será utilizada para comparar com a caracterização fluviométrica e hidrossedimentométrica, ou seja, relacionado aos aspectos de quantidade hídrica e de sedimentos dos recursos hídricos superficiais, obtida para o período após o rompimento.

Como o período pós-rompimento é de curta extensão, esta análise será complementada com modelagens hidrodinâmicas e morfológicas. Essas modelagens, a serem realizadas com modelos matemáticos, permitirão que, além da situação atual (aporte de rejeitos no rio Doce), seja também simulado o cenário que represente a hidrodinâmica e morfologia do rio sem o aporte desses rejeitos (sem rompimento). Além disso, as modelagens permitirão avaliar a ressuspensão dos sedimentos, deposição e dispersão de sua pluma considerando diversos ciclos hidrológicos futuros. Entretanto, dada a complexidade desse tipo de modelagem e a exigência de extenso conjunto de dados de entrada que ainda deverão ser coletados na área de estudo, esta análise está prevista para futuras etapas do projeto.

3.6 Sedimentos

Sedimento é definido como todo material não consolidado, constituído por partículas de diferentes tamanhos, formas e composição química, transportadas por água, ar ou gelo, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante dos processos de intemperismo e erosão (MOREIRA; BOAVENTURA, 2003 apud MARTINS, 2008).

Uma razão para a diferença observada entre solos e sedimentos é o envolvimento íntimo destes com a água, salgada ou doce. Essa água pode ser considerada intersticial (contida entre as partículas por forças de tensão), contendo altas concentrações de íons metálicos, em comparação com as soluções de solo (FERGUSSON, 1982 apud SANTOLIN, 2015).

Normalmente, os sedimentos são constituídos por três componentes principais:

1) matéria orgânica, em vários estados de decomposição;

2) partículas minerais, incluindo argilas, carbonatos e silicatos não argilosos (características do solo);

3) um componente inorgânico de origem biogênica, como certas formas de carbonato de cálcio.

Quanto aos tipos, para fins de análise de qualidade, os sedimentos podem ser classificados basicamente em: sedimentos em suspensão e sedimentos de fundo ou de corrente (LICHT, 1998). Os sedimentos em suspensão são aqueles correspondentes à fração mais fina, que, pelo seu pequeno tamanho e pouca massa, tendem a ficar suspensos na coluna d'água. Aqueles com tamanhos de partícula maiores e mais densos costumam sedimentar, permanecendo no fundo.

Esta seção deste relatório tem como objetivo avaliar a qualidade dos sedimentos de fundo da área impactada pela lama proveniente do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), com base em dados de literatura existentes das regiões dos rios afetados na bacia do rio Doce.

3.6.1 Principais parâmetros para avaliação da qualidade dos sedimentos

Aqui, serão descritos os principais parâmetros utilizados para a avaliação da qualidade dos sedimentos.

3.6.1.1 Granulometria

É o parâmetro que define o tamanho dos grãos do sedimento. Quanto menor for a partícula, maior será a capacidade de absorção das substâncias, como também sua tendência de ficar em suspensão ou ser dissolvidas.

Os sedimentos são classificados com base no tamanho da partícula (BRASIL, 2012). A Tabela 39 apresenta a classificação granulométrica do sedimento, de acordo com o tamanho da partícula.

Tabela 39 – Classificação granulométrica de sedimento, de acordo com o tamanho da partícula.

Classificação	Tamanho (mm)
Areia muito grossa	2 a 1
Areia grossa	1 a 0,5
Areia média	0,5 a 0,25
Areia fina	0,25 a 0,125
Areia muito fina	0,125 a 0,062
Silte	0,062 a 0,00394
Argila	0,00394 a 0,0002

Fonte: Brasil (2012).

Sedimentos provenientes do intemperismo de rochas e solos são basicamente compostos por argila, silte, areia, matéria orgânica e outras substâncias, em menores proporções, sendo depositados no fundo dos oceanos, rios, lagos e estuários. As partículas menores, como argilas, podem permanecer em suspensão por meses, dependendo das condições de corrente e turbulência da água. Elas são mais rapidamente depositadas em águas salgadas do que doces, devido a fenômenos de superfície. As partículas de argila podem estar

negativamente carregadas na superfície, o que mantém outras partículas afastadas. Em águas salgadas, em presença de íons dissolvidos, cátions são adsorvidos na superfície das argilas, neutralizando a carga da partícula. Há, então, a desestabilização do coloide, permitindo sua coagulação (FERGUSSON, 1982 apud SANTOLIN, 2015).

3.6.1.2 Metais e semimetais

Os metais em sedimentos são provenientes do intemperismo de rochas e solos, deposições atmosféricas e despejos de origem antropogênica. Pela capacidade de retenção dos sedimentos, os metais podem ficar acumulados, podendo ser remobilizados mediante sistemas cíclicos complexos, que envolvem fatores químicos, biológicos e hidrodinâmicos (RAMIRO PASTORINHO et al., 2012 apud SANTOLIN, 2015).

As pesquisas que priorizam as investigações sobre metais presentes em sedimentos consideram-nos um compartimento aquático ativo e determinante na redistribuição dessas espécies nesse meio (COTTA; REZENDE; PIOVANI, 2006 apud SANTOLIN, 2015). Por não possuírem um caráter de biodegradação, eles permanecem em ciclos biogeoquímicos globais, podendo ocorrer acumulação em algum compartimento ambiental e, dessa forma, oferecer danos a organismos vivos. Como se apresentam de diversas formas nos sistemas aquáticos (solúveis, complexados pela matéria orgânica, associados a particulados em suspensão ou precipitados), podem migrar de um compartimento a outro, mediante processos de adsorção, complexação, precipitação e, ainda, assimilação biológica.

Certos metais fazem parte da composição dos seres vivos, servindo como nutrientes. Alguns são considerados macronutrientes, como, por exemplo, o cálcio e o magnésio, enquanto outros, micronutrientes, ou seja, devem estar presentes em pequenas concentrações na alimentação; acima da concentração ideal, esses elementos podem causar algum dano à saúde. Já os elementos classificados como tóxicos podem causar efeitos nocivos mesmo em concentrações muito baixas. A Tabela 40 apresenta a classificação dos elementos químicos, com base nos efeitos à biota. Neste relatório, será dada prioridade para os resultados dos elementos tóxicos.

Tabela 40 – Classificação dos elementos químicos, com base nos efeitos à biota.

Elementos essenciais		**Elementos tóxicos**
Macronutrientes	**Micronutrientes**	
C, Ca, K, N, Na, Mg, O, P, S	B, Co, Cr, Cr^{3+}, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Ni, Se, Zn	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Cr^{6+}, Hg, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V

Fonte: Fergusson (1982 apud SANTOLIN, 2015) e Poleto (2008 apud SANTOLIN, 2015).

3.6.1.3 Macroinvertebrados bentônicos

Os macroinvertebrados bentônicos são invertebrados que habitam os substratos de fundo de ambientes aquáticos, em pelo menos parte de seu ciclo de vida, ficam retidos em redes com abertura de malha entre 200 e 500 µm (ROSENBERG; RESH, 1993), são visíveis a

olho nu. De forma geral, contemplam indivíduos com tamanho superior a 1,0 mm (NYBAKKEN, 2001).

Em ambiente límnico, apresentam grande diversidade de organismos, compreendendo espécies de Insecta, Annelida, Nemertinea, Crustacea, Mollusca, Turbellaria e Bryozoa, com diversas formas e modos de vida, habitando os diferentes substratos e *habitats* do rio (SILVEIRA, 2004). Em ambiente estuarino e marinho, os grupos mais expressivos com relação ao número de táxons são os cnidários, poliquetas, moluscos e crustáceos (NYBAKKEN, 2001).

Quanto ao *habitat*, esta comunidade pode ser encontrada em ambientes considerados semiterrestres até as grandes profundidades, sempre apresentando alguma relação com o fundo. Podem se fixar no substrato de fundo (organismos sésseis), escavar e/ou caminhar sobre a superfície do substrato de fundo (epifaunais), nadar próximo ao fundo (nectônicos) ou mesmo alojar-se nele (infaunais) (VÉLEZ, 1971).

As comunidades de organismos bênticos marinhos e estuarinos podem ser divididas levando em consideração o tipo de substrato explorado pelos animais. Os organismos bênticos de fundos não consolidados são animais que podem ser encontrados em ambientes costeiros, como estuários, manguezais, marismas, bancos não vegetados e praias, e em regiões marinhas mais profundas, compostas basicamente por sedimentos que podem ser carregados pela ação da energia local, como areia, silte e argila.

3.6.2 Importância ambiental

Os sedimentos apresentam uma grande interação com o meio aquático, solubilizando ou estocando substâncias, e podem influenciar a qualidade da água e a disponibilização de substâncias para os organismos aquáticos. A enorme capacidade de adsorção de espécies orgânicas e inorgânicas por superfícies minerais faz com que os sedimentos funcionem como repositórios de uma vasta gama de contaminantes, podendo ser tanto fonte quanto destino final de substâncias poluentes (BASÍLIO, 2005).

Vários estudos (ELEUTÉRIO, 1997; LOTTERMOSER, 1997; COSTA, 2001) demonstraram que a contaminação por metais pesados em sedimentos é mais intensa do que em águas, ou seja, eles são mais estáveis como solutos do que como íons dissolvidos na solução. Além disso, na interface água-sedimento, sob condições fortemente redutoras ou em contato com soluções ácidas, os metais tornam-se dissolvidos (BANKS et al., 1980 apud COSTA, 2001). Variações no potencial hialurônico (pH) podem fazer com que metais sejam liberados do sedimento por dissolução de fases minerais (redução de pH) ou por formação de complexos solúveis com complexantes presentes na fase aquosa (ácido fúlvico, ácido húmico, bicarbonatos, cloretos etc.). Sob condições de pH mais elevado, os sedimentos tendem a formar complexos insolúveis que costumam precipitar e se acumular no sedimento de fundo (FRANCISCO; MASINI, 1999 apud COSTA, 2001). Dessa forma, são uma efetiva chave para o entendimento da dinâmica dos metais durante a dispersão fluvial.

Os sedimentos de fundo participam ativamente dos processos biogeoquímicos, desempenhando importante função no comportamento de metais aportados para o sistema hídrico. São importantes depositários de metais poluentes e também atuam como fontes

potenciais de liberação desses metais para o ambiente aquático, tornando-os disponíveis para a incorporação pela biota (COSTA, 2001).

Quando comparados com os resultados da qualidade da água, os de sedimentos são menos limitados, uma vez que não representam somente o momento da amostragem, mas o período de deposição. Por essa razão, os dados obtidos por estudos de sedimentos são mais realistas, pois os contaminantes são muitas vezes retidos no compartimento, sofrendo menos variação ao longo do tempo, em comparação com a água (SANTOLIN, 2015).

Indicadores biológicos também são boas ferramentas para o entendimento da qualidade dos sedimentos. A comunidade dos macroinvertebrados bentônicos apresenta organismos de diversos níveis tróficos, que utilizam diferentes *habitats*, representando a diversidade ecológica do ambiente. São sensíveis aos impactos antrópicos, mas apresentam espécies resistentes, tornando o grupo excelente indicador de qualidade ambiental (CETESB, 2012). Qualquer alteração nas condições do ambiente aquático se refletirá nas estruturas das comunidades que ali habitam. Aliada a análises físico-químicas, a comunidade de macroinvertebrados é capaz de identificar alterações sutis no ambiente, mesmo longe da fonte de poluição (BUSS; BAPTISTA; NESSIMIAN, 2003), com a vantagem de permitir a identificação de alterações presentes, assim como as ocorridas no passado. De fato, os macroinvertebrados são o grupo mais utilizado em biomonitoramento de águas continentais em todo o mundo (BONADA et al., 2006; RESH, 2008).

Entre as vantagens da utilização do grupo em biomonitoramento, estão: facilidade de coleta (sem utilização de equipamentos onerosos); tamanho dos indivíduos (visíveis a olho nu) e geralmente de fácil reconhecimento; presença de grupos com diferentes tolerâncias a alterações ambientais; ciclo de vida relativamente longo, possibilitando a detecção de alterações pontuais ao longo do tempo (GHETTI apud MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010). Conforme citado anteriormente, podem ser encontrados em todos os tipos de ambientes aquáticos (águas doces, salobras e salinas), mas possuem mobilidade limitada, fazendo que sua presença ou ausência esteja intimamente associada às alterações das condições ambientais (BONADA et al., 2006; RESH, 2008). Em especial em águas costeiras e estuarinas, têm sido utilizados como indicadores biológicos de regiões impactadas e algumas espécies recomendadas como "espécie –chave" para avaliação da qualidade das condições das águas em geral (KENNISH, 1986).

No ecossistema aquático, os macroinvertebrados bentônicos são importantes na dinâmica de nutrientes e no fluxo de energia, pois reduzem o tamanho da matéria orgânica, participando do processo de decomposição. Atuam também na liberação de nutrientes do sedimento para a coluna d'água e no transporte de matéria orgânica a jusante. Ainda, são importantes elos da cadeia alimentar, constituindo fonte de alimento para outros macroinvertebrados aquáticos, aves, mamíferos e peixes.

Ressalta-se que algumas espécies bênticas apresentam importância sanitária e comercial, principalmente as estuarinas, como moluscos e crustáceos, que são coletadas *in natura* ou utilizadas para engorda e cultivo, como as ostras de mangue dos gêneros *Ostrea* sp. e *Crassostrea* sp., o berbigão *Anomalocardia brasiliana* e os caranguejos *Ucides cordatus* e *Cardissoma guanhumi* (RODRIGUES et al., 2000; MIRANDA et al., 2005; ALVARENGA; NALESSO, 2006).

3.6.3 Metodologia

Embora a qualidade de sedimentos tenha influência direta na qualidade da água, não existe uma base de dados de monitoramentos contínuos de órgãos ambientais regionais ou deUsinas Hidrelétricas (UHEs) instaladas na bacia, por exemplo, como há para o monitoramentoda qualidade da água. Poucos empreendimentos são obrigados legalmente a conduzir umestudo da qualidade dos sedimentos fluviais e, quando isso eventualmente ocorre, geralmenteo monitoramento é realizado apenas na fase de implantação ou para estudos específicos. Emgeral, esses estudos estão relacionados à dragagem ou problemas de excesso de depósitos sedimentares, que podem afetar a operação do empreendimento. Dessa forma, para o estabelecimento da linha-base descrita neste relatório, foram utilizados documentos produzidos em estudos acadêmicos, bem como no relatório Serviço de levantamento topo-batimétrico e monitoramento sedimentométrico e sedimentológico – 2º Ciclo, da UHE Mascarenhas (FEST, 2014).

Os estudos sobre a qualidade dos sedimentos são mais abundantes na região do Quadrilátero Ferrífero. A Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) é uma das maioresprodutoras deles. Em geral, o estado de Minas Gerais possui mais estudos sobre a qualidade dos sedimentos na bacia do rio Doce. Neste relatório, serão apresentados os resultados dos seguintesestudos: Jordão et al. (1996), Costa (2001, 2007), Basílio (2005), Rhodes (2010), Varejão et al. (2011), Silva et al. (2013), Fundação Espírito-Santense de engenharia (FEST, 2014), Pacheco (2015) e Santolin (2015).

Como os estudos não utilizaram a mesma malha amostral e empregaram metodologias diferentes, os resultados serão apresentados separadamente. As variáveis que continham uma série de dados mais robusta e eram mais representativas no sentido de estarem presentes na lama e no rejeito da Samarco foram agrupadas e avaliadas por trecho afetado, para a análise da distribuição espacial dos dados. A metodologia utilizada para a elaboração da distribuição espacial está apresentada na subseção 0.

Os resultados das análises foram comparados à Resolução CONAMA nº 454/2012, que estabelece valores orientadores para a qualidade do sedimento, representada em função da concentração de contaminantes, com vistas à proteção da vida aquática. Essa qualidade foi baseada nos valores estabelecidos pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) para arsênio, metais pesados e compostos orgânicos. De acordo com a resolução, existem dois níveis de limiares:

Nível 1: limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota.

Nível 2: limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

O trabalho de Santolin (2015) também considerou o Índice de Geoacumulação (Igeo) e o Fator de Enriquecimento (FE) para a avaliação das amostras.

O Igeo estabelece uma razão entre as concentrações locais de metais contidos nos sedimentos e um valor de referência tomado como padrão (ou valor de *background*), de acordo com a seguinte equação:

$$Igeo = log_2 \frac{C_m}{1{,}5 x C_{bg}}$$

Em que:

Cm = concentração medida do metal m no sedimento.

Cbg= concentração assumida como *background* para o metal m.

1,5 = fator que minimiza as possíveis variações dos valores de *background* para determinado metal no ambiente, assim como pequenas influências antropogênicas.

O valor do índice resultante é classificado de acordo com a Tabela 41.

Tabela 41 – Classificação da qualidade do sedimento, de acordo com o Igeo.

Valor do índice	Classe	Qualidade do sedimento
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderada a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Forte a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Müller (1979 apud SANTOLIN, 2015).

O FE quantifica o impacto antropogênico no meio aquático. Geralmente, ele é dividido em duas faixas de valores: a menor relaciona diretamente o metal analisado como sendo de origem natural e a superior estabelece o metal como oriundo de outras fontes, incluindo as antropogênicas. É determinada pela seguinte equação:

$$FE = \frac{M_{sed}}{R_{sed}} / \frac{M_{bg}}{R_{bg}}$$

Em que:

Msed = concentração medida do metal M no sedimento.

Rsed = concentração do elemento normalizador R (usualmente, alumínio) no sedimento.

Mbg = concentração assumida como *background* para o metal M.

Rbg = concentração assumida como *background* do elemento normalizador R.

Por convenção, valores menores que 1,5 são considerados uma indicação de que os metais analisados podem inteiramente ser devidos à composição geológica do material ou à influência de intemperismo. Valores superiores a 1,5 são interpretados como de possível

proveniência de outras fontes, como biota ou contaminação ambiental (ZHANG; LIU, 2002 apud SANTOLIN, 2015; FENG et al., 2004 apud SANTOLIN, 2015; HORTELLANI et al., 2008 apud SANTOLIN, 2015).

3.6.3.1 Distribuição espacial dos dados

Para melhor entendimento dos dados levantados pela bibliografia analisada, foi realizada uma análise de distribuição espacial dos elementos (metais e semimetais) mais abundantes em número de dados e mais representativos quanto à sua presença na região de estudo. Os elementos analisados foram: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn).

Para a avaliação, a área de estudo da região fluvial foi dividida em oito trechos:

Trecho 1: Gualaxo do Norte, da sua nascente até sua foz no rio do Carmo.

Trecho 2: rio do Carmo, até a confluência com o rio Gualaxo do Norte, no município de Barra Longa.

Trecho 3: rio Doce, do final do trecho 2 até a barragem da UHE Candonga.

Trecho 4: rio Piracicaba, da nascente até sua foz no rio Doce.

Trecho 5: rio Doce, da jusante da barragem da UHE Candonga até a confluência com o rio Piracicaba, em Ipatinga.

Trecho 6: rio Doce, do fim do trecho 5 até a ilha dos Araújos, em Governador Valadares.

Trecho 7: rio Doce, do fim do trecho 6 até o limite do estado de Minas Gerais.

Trecho 8: do limite do estado de Minas Gerais até o ponto de amostragem mais próximo da costa do Espírito Santo.

A escolha dos trechos baseou-se em alguns critérios, como a separação em rios, confluências de rios e características geológicas semelhantes. Além disso, foi auxiliada por métodos de agrupamento de dados, os quais buscam captar, de forma conjugada, conjuntos de locais que possuem quantidades parecidas dos elementos analisados. As variáveis agrupadas por trecho foram representadas em gráficos de setores, construídos usando como base as proporções observadas em cada uma das classes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 454/2012: abaixo do nível 1, acima do nível 1 e acima do nível 2. Com a assistência do *software* ArcGIS, os resultados foram apresentados espacialmente em mapas que mostram os rios que formam o rio Doce e os principais afluentes em que foram encontrados dados.

3.6.3.2 Macroinvertebrados bentônicos

Para a definição da linha-base, foi realizado extenso levantamento bibliográfico em trabalhos publicados (artigos científicos, dissertações, teses, capítulos de livros, livros, resumos de congressos) e não publicados (estudos e relatórios de impacto ambiental, relatórios técnicos, dados de monitoramento e documentos em geral), buscando aqueles relacionados aos macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce com data de coleta de dados anterior ao rompimento da barragem.

Para o levantamento de artigos científicos publicados, foi feita busca nas plataformas de artigos científicos Web of Science, Scopus, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico. Os termos utilizados nas buscas foram: rio Doce/*Doce River*, combinados a macroinvertebrado(s)/*macroinvertebrate*(s) ou aos principais grupos de

macroinvertebrados aquáticos límnicos (Insecta, Diptera, chironomidae, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, Hemiptera, Odonata, Collembola, Lepidoptera, Neuroptera, Megaloptera, Annelida, Oligochaeta, Hirudinea, Nemertinea, Crustacea, Mollusca, Turbellaria e Bryozoa), por meio das seguintes palavras: "('rio doce' OR 'doce river') AND (macroinvertebrado* OR macroinvertebrate* OR insecta OR diptera OR chironomidae OR ephemeroptera OR plecoptera OR trichoptera OR coleoptera OR hemiptera OR odonata OR collembola OR lepidoptera OR neuroptera OR megaloptera OR annelida OR oligochaeta OR hirudinea OR nemertinea OR crustacea OR mollusca OR turbellaria OR bryozoa)".

Resumos de congressos, capítulos de livros e livros foram incluídos no levantamento bibliográfico quando estavam nos resultados da busca no Google Acadêmico ou quando citados dentro de outro trabalho e considerados relevantes, assim como eventuais artigos científicos que não foram relacionados nas buscas anteriores. Paralelamente, foi realizado levantamento de trabalhos não publicados realizados na região.

Todos os trabalhos relacionados nos resultados das buscas tiveram seu título e resumo analisados e, quando considerados relevantes, foram analisados na íntegra e tiveram seus dados compilados. Foram entendidos como relevantes todos os trabalhos relacionados (direta ou indiretamente) aos macroinvertebrados aquáticos na bacia do rio Doce.

3.6.3.3 Bentos de fundos não consolidados (ambientes estuarino e costeiro)

Foram reunidas e sintetizadas as informações pertinentes às espécies bênticas de fundos não consolidados do estado do Espírito Santo antes do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), em 2015. A avaliação do estado do conhecimento sobre a diversidade biológica do grupo servirá para identificar o conhecimento existente e dar subsídios de comparação com os dados a ser levantados futuramente neste programa.

Foram realizadas buscas em vários meios de levantamento bibliográfico, visando a subsidiar a confecção das listas de espécies bênticas de fundos não consolidados. Contudo, durante essa recuperação, alguns trabalhos podem não ter sido citados na compilação, podendo ser adicionados em novos estudos da região.

1. Para artigos publicados em revistas científicas, foi utilizado o Google Acadêmico, SciELO, livros e *sites* de revistas regionais, nacionais e internacionais com publicação de artigos em ambientes marinhos e zoologia.

2. Bases de dados de bibliotecas das principais universidades do estado (base de dados do Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Espírito Santo) e base de dados do Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo.

3. Livros científicos e publicações regionais; trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado de cursos de graduação e pós-graduação no estado do Espírito Santo; e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.

4. Sistema de Informação do Projeto Taxonline.

5. Avaliação da produção científica por meio do currículo Lattes dos pesquisadores do Espírito Santo.

6. Relatório técnicos.

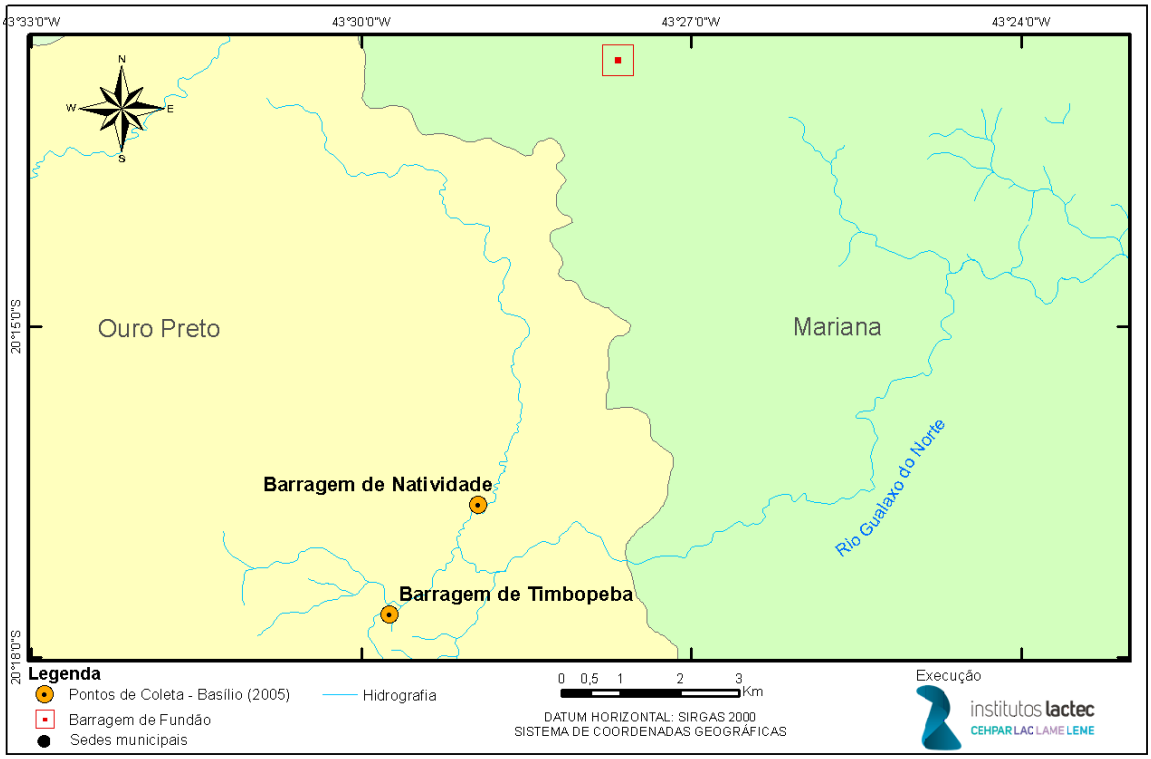
3.6.4 Resultados

Nesta seção, estão apresentados os resultados dos estudos consultados selecionados para este relatório.

3.6.4.1 Resultados de Basílio (2005)

O estudo de Basílio (2005) teve como objetivo avaliar a capacidade de adsorção dos sedimentos ricos em ferro das barragens de contenção de Timbopeba e Natividade para a retenção de metais-traço. Os sedimentos estudados pelo autor eram compostos basicamente por rejeitos do processamento do minério de ferro na mina de Timbopeba, de propriedade da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), localizada na porção leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Ambas as barragens recebem o rejeito da mina de Timbopeba, cuja drenagem ocorre para o rio Gualaxo do Norte, a montante da drenagem da mina da Samarco. Em cada barragem, foi executada uma amostragem sistemática, com 26 pontos de coleta em Timbopeba e 27 pontos em Natividade. A Figura 161 apresenta a localização da área de estudo.

Figura 161 – Localização das estações de amostragem.



Fonte: Basílio (2005).

Os sedimentos foram secados, digeridos parcialmente em água régia e analisados para os elementos minoritários (menos abundantes na crosta terrestre) – zinco, cromo, níquel, cobre, arsênio, cádmio e chumbo – e majoritários (mais abundantes na crosta terrestre) – alumínio, cálcio, ferro, potássio, magnésio, manganês e sódio. Os resultados estão apresentados na Tabela 42 e na Tabela 43.

Tabela 42 – Concentrações dos elementos minoritários e majoritários nos sedimentos da barragem de Timbopeba.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	Cr	Ni	Cu	As	Cd	Pb
	%	%	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
T-1	1,17	4,76	39,6	0,18	1800	0,34	0,11	31,2	19,2	19,3	65,6	27,5	<0,02	7,91
T-3	0,18	2,99	45,7	0,25	1900	0,21	0,1	23	15,1	8,98	66,3	13,2	<0,02	4,17
T-4	0,72	1,78	50,2	0,13	1000	0,28	0,08	21,1	35,1	18,8	43,5	23,5	<0,02	2,9
T-5	0,56	1,85	41	0,13	1200	0,21	0,09	20,5	25	22,3	72,2	33,8	<0,02	8,37
T-6	0,89	2,38	41,7	0,13	1400	0,83	0,09	24,3	25,5	20,7	41,8	21,2	<0,02	9,64
T-8	1,11	2,4	47,4	0,3	2100	0,44	0,11	41,3	28,3	19	47,1	19,6	<0,02	6,96
T-9	0,85	3,65	41,9	0,2	2000	0,32	0,14	36,1	27,1	23,9	55,6	27,2	2,21	30,4
T-10	1,15	3,56	41,5	0,17	1700	0,32	0,1	25,3	23,7	20,3	53,8	31,4	<0,02	7,01
T-11	0,73	2,63	42,6	0,12	1400	0,34	0,08	20,6	20,9	16,8	52	26,3	<0,02	6,43
T-12	8,21	8,96	43,5	0,17	900	0,12	0,12	32,8	10,2	7,19	20,2	6,52	2,71	2,94
T-13	0,65	3,11	42,2	0,13	1600	0,28	0,09	24,7	21	27,3	49,4	21,4	<0,02	6,28
T-14	1,06	3,09	41,2	0,28	1500	0,32	0,12	36,1	25,7	22,1	57,9	35	<0,02	7,97
T-15	0,77	2,39	45,3	0,11	1200	0,34	0,08	20,9	22	18,2	50,2	23,9	<0,02	8,1
T-16	0,34	2,06	45,1	0,22	1900	0,21	0,08	20,7	16,8	14,9	34,3	14,4	<0,02	4,76
T-17	0,51	1,89	49	0,24	2200	0,32	0,15	20	19,9	12,7	32,9	16,2	<0,02	6,81
T-18	0,58	3	45	0,25	1100	0,3	0,08	18,1	21,7	16,9	39,8	24,6	<0,02	8,06

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	Cr	Ni	Cu	As	Cd	Pb
	%	%	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
T-19	0,7	2,65	46,7	0,12	900	0,4	0,08	25,4	25,5	13,3	31,8	20,1	<0,02	7,79
T-20	0,34	2,13	38,8	0,09	800	0,21	0,07	15,3	13,6	12,6	25,2	12,1	<0,02	4,14
T-21	0,64	3,14	51,5	0,11	700	0,14	0,09	19	18,4	10,8	27,7	11,4	<0,02	6,08
T-22	1,91	2,85	50,4	0,1	500	0,11	0,08	15,8	12,3	6,6	16,5	10	<0,02	5,08
T-23	0,47	2,95	46,9	0,11	1000	0,26	0,08	21	28,4	15,6	32	19,8	<0,02	9,5
T-24	0,45	2,72	43,3	0,12	1000	0,25	0,09	22,5	19	15,1	84,4	17,5	<0,02	16,8
T-26	0,3	2,92	49,3	0,15	1000	0,13	0,11	30,8	15,5	7,5	41,4	10,7	<0,02	5,6
T-28	0,58	1,29	41,7	0,08	1000	0,74	0,06	16,1	16,3	13,7	33,4	17,2	<0,02	8,7
T-29	0,56	1,66	45,6	0,2	1700	0,47	0,1	19	19,9	12,6	31,3	17,8	<0,02	7,04
T-30	0,81	2,72	41	0,14	1600	0,38	0,1	25	22,3	14,8	30	20,7	0,02	7,52
Média	1	2,91	44,5	0,16	1300	0,32	0,09	24,1	21,1	15,9	43,7	20,1	0,24	8,01
DP	1,51	1,43	3,6	0,06	500	0,16	0,02	6,77	5,7	5,3	16,6	7,4	0,66	5,22
Nível 1	-	-	-	-	-	-	-	123	37,3	18	35,7	5,9	0,6	35
Nível 2	-	-	-	-	-	-	-	315	90	35,9	197	17	3,5	91,3

Fonte: Adaptado de Basílio (2005).

Tabela 43 – Concentrações dos elementos majoritários e minoritários nos sedimentos da barragem de Natividade.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	Cr	Co	Ni	Cu	As	Cd	Pb
	%	%	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
N-2	3,92	0,73	16,5	0,16	900	1,93	0,07	45,3	44,8	17,1	28,9	32,5	44,7	0,11	20,6
N-3	3,31	3,11	19,1	0,19	3900	1,86	0,11	49,2	45,5	19,2	34,3	33,2	47,3	0,21	19,7
N-4	3,1	2,04	21,4	0,2	1500	1,69	0,1	40,2	58,6	21,2	35,8	30,8	49	0,14	20,3
N-5	3,74	2,49	20	0,19	1300	1,92	0,11	48,3	52,7	21,2	37,5	41,4	61,9	0,1	20,7
N-6	2,93	2,69	17,1	0,21	1200	1,75	0,13	38,5	46,1	18	38,3	32,2	62,6	0,1	21,7
N-7	1,04	2,16	12,8	0,14	700	0,5	0,09	30,2	52,1	11,4	36,5	26,1	67,8	0,11	23,9
N-10	2,6	1,28	14,2	0,15	800	1,24	0,08	25,3	42,8	13,8	34,2	20,9	60,4	<0,02	22,2
N-11	2,41	2,34	13,6	0,19	1000	1,26	0,11	55,3	39,4	14,3	33,8	23,9	63,9	0,17	22,7
N-12	2,89	1,68	16,4	0,15	1000	1,79	0,09	50,7	35,2	15,2	31,7	35,3	56,7	<0,02	21,2
N-13	3,96	2,99	18,8	0,19	1400	1,99	0,11	39,9	36	18,6	35,6	30,1	60,9	0,12	21,2
N-14	3,35	2,26	16,9	0,16	1100	1,75	0,1	42,5	35,3	15,6	33,2	34,4	60,5	0,12	21,5
N-15	3,46	1,46	17,8	0,13	1000	2,08	0,1	23,9	34	16,5	32,3	29,7	55,8	0,12	21,7
N-16	4,24	2,27	19,2	0,18	1200	2,92	0,1	60,4	42,8	20,9	39,9	61,8	60,9	0,13	21,4
N-17	1,38	1,49	13	0,13	600	0,75	0,1	32,5	61,7	12,5	37,2	14,3	52,4	<0,02	17,7
N-18	3,3	3,16	17	0,18	1400	2,16	0,11	41,3	51,1	18,7	42,3	35,6	62,2	0,31	21,3
N-19	3,11	1,34	19,1	0,1	900	2,31	0,1	70,4	63,8	20,3	49,4	33,4	65,8	0,13	38,3
N-20	3,59	2,91	18,9	0,19	1400	2,45	0,11	48,5	44,1	21,5	41	41,8	62,2	1,55	33,2
N-21	4,8	2,36	20,6	0,18	1300	2,3	0,1	60,8	46,4	22,4	43,1	57,5	64,3	0,11	21,6
N-22	4,51	3,14	21,2	0,21	1500	2,51	0,11	56,7	47,7	21,5	44,3	60,5	69,8	0,14	22,3
N-23	4,99	2,77	20,8	0,18	1200	1,62	0,1	45,7	55,1	20,6	44,3	37,5	65,9	0,11	23,8
N-24	3,45	2,13	23,1	0,16	1000	1,89	0,09	37,4	52,2	18,3	42,3	33,7	63,2	0,11	21,9
N-25	0,59	0,29	11,5	0,01	200	0,23	0,08	43,3	54,8	9,76	36,7	18,1	57,5	<0,02	17,7
N-31	1,02	0,11	41	0,02	100	0,43	0,19	45,2	91,5	10	32,2	13,6	62,3	<0,02	22,2
N-32	3,34	0,08	11,5	0,05	400	1,28	0,1	62,3	36,7	15,5	29,3	44,2	54	0,13	22,1
N-33	2,25	0,33	17,9	0,03	300	1,05	0,11	57,6	55,4	14,7	34,7	50,5	52,6	<0,02	23,7
N-34	2,77	0,35	24,6	0,02	800	1,39	0,1	56	44,5	18,1	31,5	30,8	57,3	0,1	16,1
N-35	2,69	0,31	23,7	0,04	700	1,78	0,07	46,5	32,6	18,3	25,5	46,5	42,3	<0,02	17,9
Media	3,06	1,79	18,8	0,13	1100	1,66	0,1	46,4	48,3	17,2	36,5	35,2	58,7	0,17	22,2
DP	1,11	1,04	5,6	0,06	0,07	0,65	0,03	11,3	12,2	3,63	5,49	12,6	7	0,28	4,4
Nível 1	-	-	-	-	-	-	-	123	37,3	-	18	35,7	5,9	0,6	35
Nível 2	-	-	-	-	-	-	-	315	90	-	35,9	197	17	3,5	91,3

Fonte: Adaptado de Basílio (2005).

Quando comparado com os níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, o elemento arsênio apresentou concentrações acima dos níveis 1 e na barragem de Timbopeba e acima do nível 2 na barragem de Natividade. Os elementos níquel e cobre revelaram concentrações acima do nível 1 na barragem de Timbopeba e acima do nível 2 na barragem de Natividade. Já o elemento cromo possuía concentrações acima dos níveis 1 e 2 apenas na barragem de Natividade.

Em geral, os resultados obtidos pelo autor mostraram que as concentrações de metais-traço nos sedimentos da barragem de Natividade foram mais elevadas que as observadas na barragem de Timbopeba.

3.6.4.2 Resultados de Costa (2001)

Costa (2001), em sua dissertação de mestrado, estudou a água e os sedimentos na bacia do rio Gualaxo do Norte, com foco no complexo industrial de Timbopeba, em região muito próxima às minas exploradas pela Samarco Mineração S.A. De acordo com o autor, o rio Gualaxo do Norte, situado na região Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, recebe os efluentes das minas de ferro de Timbopeba, Capanema, Samarco e Samitri e de garimpos. Estes vêm explorando de maneira rudimentar os depósitos auríferos da região ao longo de quase três séculos.

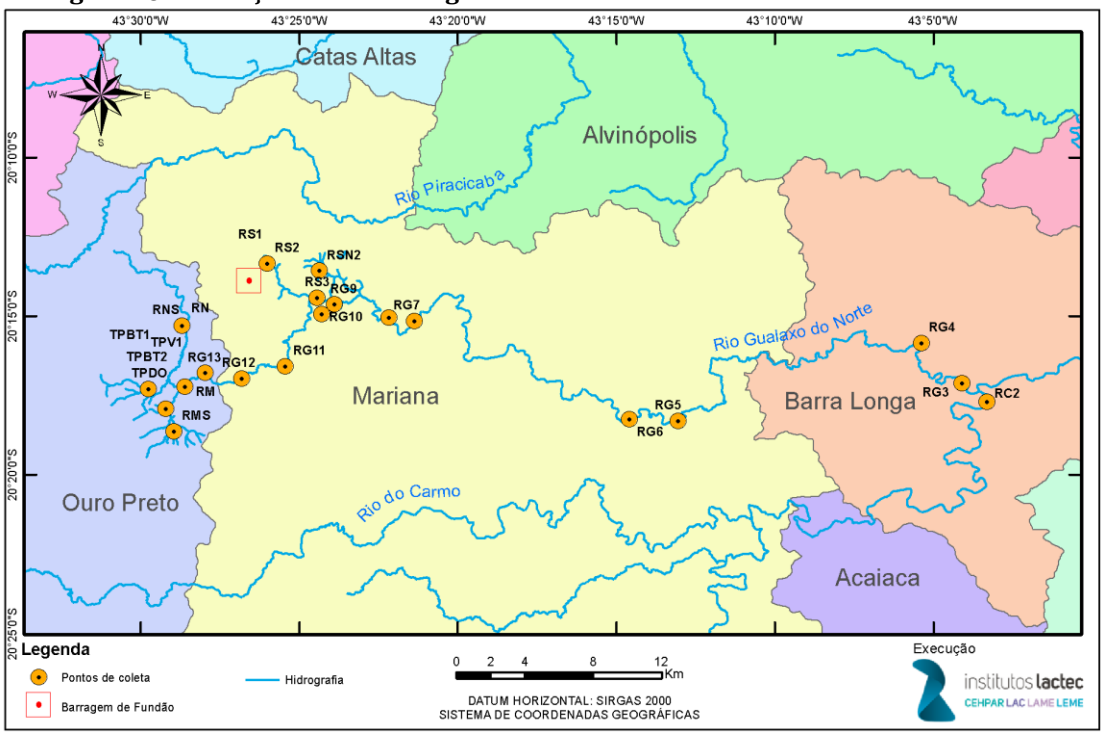
O complexo industrial de Timbopeba, de propriedade da CVRD, explora o minério de ferro, na região, desde 1984. A reserva foi estimada em 213 milhões de toneladas de hematita, com vida útil prevista para 35 anos – relatório final da pesquisa da jazida de Timbopeba (ENDO, 1988 apud COSTA, 2001).

A Samarco vem explorando minério de ferro na região desde 1973, lavrando o minério da mina de Germano, cujas reservas esgotaram-se no ano de 1995, passando, então, a explorar o minério itabirítico do complexo de Alegria. Estima-se que esse complexo possua reservas lavráveis da ordem de 160 milhões de toneladas (MATSUMURA, 1999 apud COSTA, 2001). Em sua dissertação, o autor informa que a CVRD possui o controle acionário tanto da Samitri quanto da Samarco, sendo que parte do minério lavrado pela Samitri era processado pela usina de beneficiamento da Samarco, cuja lama residual dirige-se para a barragem Germano, posteriormente sendo vertida para a barragem Santarém.

Costa (2001) realizou três campanhas de amostragem de águas e sedimentos. A primeira foi concentrada na cabeceira do rio Gualaxo do Norte, com ênfase no interior do complexo de Timbopeba, durante o inverno de 1999 (estação seca). Nesta subseção, serão apresentados apenas os resultados obtidos pela análise das amostras de sedimentos coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte.

As estações de amostragem localizadas na bacia do rio Gualaxo do Norte estão apresentadas na Figura 162.

Figura 162 – Estações de amostragem localizadas no rio Gualaxo do Norte.



Fonte: Costa (2001).

Na segunda e terceira campanhas de amostragem, foram realizadas as coletas de amostras de águas e sedimentos em toda a extensão do rio Gualaxo do Norte, durante os meses de janeiro (período chuvoso) e junho de 2000 (período seco), respectivamente.

Foram coletados os sedimentos relativos à camada superficial de sedimentação (primeiros 30 cm de profundidade). Para tanto, foram utilizados pegadores de plástico com sacos plásticos de boca larga, imediatamente selados após a coleta.

Foram coletadas oito amostras de sedimentos na primeira campanha de amostragem (período seco de 1999) e 22 amostras na segunda campanha (período chuvoso de 2000), sempre coincidentes com os pontos de coleta das amostras de água. Os resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos estão apresentados na Tabela 44 e na Tabela 45.

Tabela 44 – Média dos resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos para os elementos majoritários.

Ponto	Local	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
NÍVEL1	-	-	-	-	-	-	-	-
NÍVEL2	-	-	-	-	-	-	-	-
RNS	Rio Natividade	49	<200	91	53	1340	501	1960
TPDO	Rio Doutor (CVltD)	<10	291	100	224	3630	326	23400
TPDOS		12	398	50	264	3340	271	13100
RM	Rio Manso - Antônio Pereira	16	468	5230	3160	9150	402	8360
RMS		25	896	499	697	19300	234	13800
RG14	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	17	392	540	465	6830	484	9170
RG13	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	55	2010	1160	1390	30100	320	18000

Ponto	Local	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
NÍVEL1	-	-	-	-	-	-	-	-
NÍVEL2	-	-	-	-	-	-	-	-
RG12	Rio Gualaxo - estrada Bento Rodrigues	20	826	369	507	10700	376	10400
RG11	Rio Gualaxo - ponte fazenda Gualaxo	27	1090	655	700	14300	372	13000
RG10	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	<10	299	370	313	4530	230	6950
RSN2	Rio Santarém (jusante mina de ouro)	190	2280	384	1510	26200	163	1050
RS2	Rio Santarém - Bento Rodrigues	207	2830	1110	498	44500	149	3550
RS3	Rio Santarém - Bento Rodrigues	396	6380	528	704	47300	137	839
RG9	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	99	1050	1200	2510	29900	288	5800
RG8	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	<10	378	456	421	6660	407	8420
RG7	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	14	222	276	106	4100	427	5900
RG6	Rio Gualaxo - Paracatú de Baixo	19	388	313	265	7860	389	4590
RG5	Rio Gualaxo - Paracatú de Cima	28	401	276	357	12100	326	4960
RG4	Rio Gualaxo - Gesteira	14	257	173	249	8200	447	2630
RG3	Rio Gualaxo - Montante Barra Longa	38	965	504	915	40400	234	3810
RC2	Rio do Carmo - Barra Longa	81	563	837	888	15700	220	1280

Fonte: Adaptado de Costa (2001).

Tabela 45 – Média dos resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos para os metais pesados.

Ponto	Local	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb(mg/kg)	Zn (mg/kg)
NÍVEL1	-	5,9	0,6	-	37,3	35,7	18	35	123
NÍVEL2	-	17	3,5	-	90	197	35,9	91,3	315
RNS	Rio Natividade	18	0,66	47	3735	74	2380	4	17
TPDO	Rio Doutor (CVltD)	190	0,32	24	36	63	95	19	67
TPDOS		58	0,11	13	13,3	21	29	5	24
RM	Rio Manso - Antônio Pereira	113	0,06	16	103	30	49	10	29
RMS		234	0,14	22	61	35	48	16	39
RG14	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	85	0,13	18	121	27	78	10	27
RG13	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	130	0,17	20	93	67	51	19	50
RG12	Rio Gualaxo - estrada Bento Rodrigues	89	0,14	18	95	33	57	12	34
RG11	Rio Gualaxo - ponte fazenda Gualaxo	110	0,18	22	100	44	74	16	50
RG10	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	65	0,11	11	45	20	33	18	21

Ponto	Local	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb(mg/kg)	Zn (mg/kg)
NÍVEL1	-	5,9	0,6	-	37,3	35,7	18	35	123
NÍVEL2	-	17	3,5	-	90	197	35,9	91,3	315
RSN2	Rio Santarém (jusante mina de ouro)	64	0,17	25	552	267	265	63	100
RS2	Rio Santarém - Bento Rodrigues	12	0,13	32	208	51	82	24	63
RS3	Rio Santarém - Bento Rodrigues	19	0,11	13	169	37	50	23	43
RG9	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	62	0,12	30	255	52	89	22	45
RG8	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	73	0,12	16	85	24	50	11	29
RG7	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	49	0,05	12	65	16	37	7	19
RG6	Rio Gualaxo - Paracatú de Baixo	51	0,06	9	67	14	29	6	24
RG5	Rio Gualaxo - Paracatú de Cima	69	0,31	16	922	48	426	17	29
RG4	Rio Gualaxo - Gesteira	38	0,03	8	68	12	23	5	23
RG3	Rio Gualaxo - Montante Barra Longa	37	0,05	10	62	18	31	13	36
RC2	Rio do Carmo - Barra Longa	179	0,04	9	84	18	31	8	31

Fonte: Adaptado de Costa (2001).

Os elementos sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro e manganês não apresentaram limite na Resolução CONAMA nº 454/2012. Como pode ser observado na Tabela 44, os sedimentos analisados revelaram concentrações mais elevadas dos elementos manganês, ferro e alumínio.

Quanto aos metais pesados, os elementos que apresentaram as maiores concentrações foram arsênio, cromo, níquel e cobre, com concentrações acima do nível 2. Os elementos cádmio e chumbo possuíam concentrações acima do nível 1 apenas em um ponto de coleta (rio Natividade e rio Santarém, a jusante da mina de ouro, respectivamente).

O rio Natividade apresentou as maiores concentrações dos elementos cobre e níquel. Nesse rio, o elemento cromo revelou concentração 149 vezes acima do limite estabelecido pela legislação. A concentração de níquel encontrada foi 20 vezes superior ao *background* desse elemento associado às rochas do Grupo Itacolomi (DNPM, 1993 apud COSTA, 2001).

Nas análises realizadas em água, em geral, o pH das amostras estudadas situou-se próximo ao neutro. No rio Gualaxo do Norte, o pH variou de 6,1 a 7,6 (média de 7,2). Sendo assim, a variável apresentou pouca influência nos estados precipitado e dissolvido dos metais.

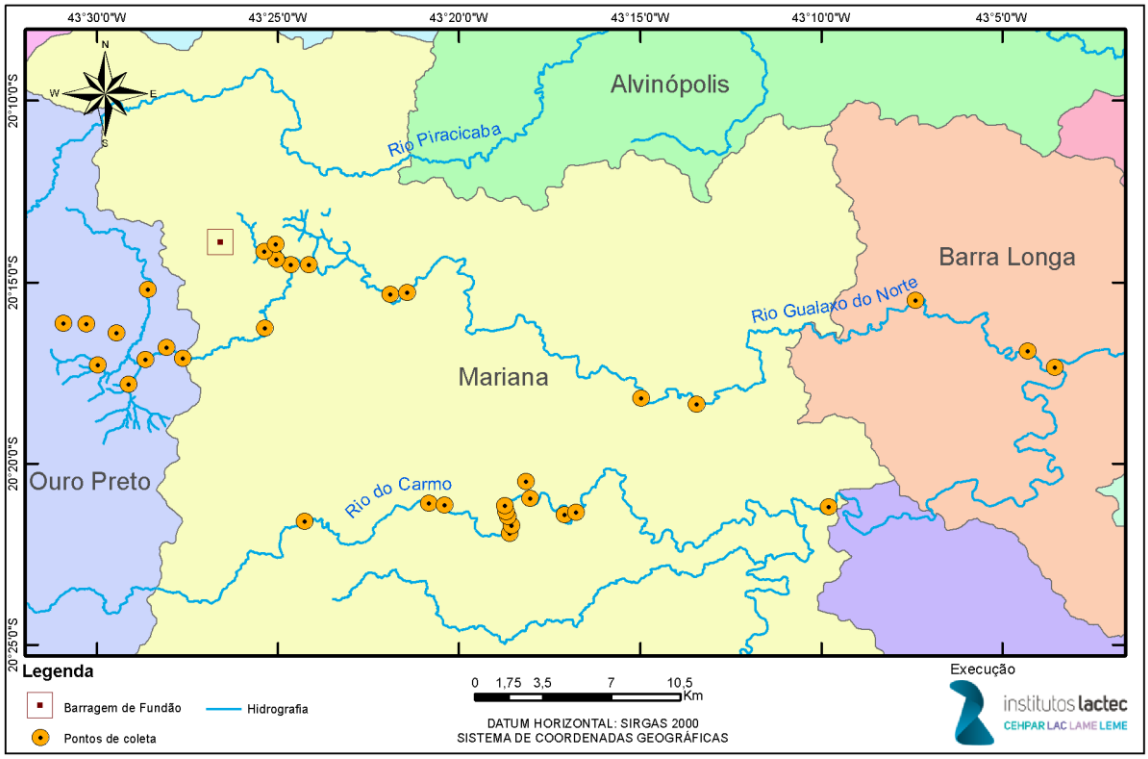
3.6.4.3 Resultados de Costa (2007)

Costa (2007) estudou a bacia do rio do Carmo, com ênfase no rio Gualaxo do Norte e no próprio rio do Carmo. Essa bacia foi historicamente bastante explorada pela mineração de

ouro. Oficialmente, 35 toneladas de ouro foram extraídas na mina da Passagem desde 1817, ano de sua criação como a primeira empresa de mineração de ouro no Brasil. Os rejeitos enriquecidos com metais-traço de elevada toxicidade, como arsênio, cádmio, chumbo, zinco e cobre, dessa mina foram lançados diretamente no ribeirão do Carmo. O autor estima que, durante 284 anos de exploração, cerca de 10.500 toneladas de arsênio tenham sido disponibilizadas para o meio ambiente. O objetivo principal do trabalho foi a caracterização da influência da exploração aurífera (proveniente da mineração e de garimpos) nas planícies de inundação e terraços aluviais do ribeirão do Carmo (alto rio Doce), considerados ambientes acumuladores de metais potencialmente tóxicos. O trabalho ainda propôs valores de referência.

Foram coletadas 130 amostras de sedimentos, em fácies sedimentares distintas, localizadas em dois perfis de planícies de inundação, sete perfis de cortes de bancos do canal (*cutbank*) e quatro perfis de terraços aluviais. A Figura 163 apresenta a localização dos pontos amostrais.

Figura 163 – Localização dos pontos amostrais de Costa (2007).



Fonte: Costa (2007).

As amostras foram coletadas com um testemunhador e separadas em profundidades, de acordo com sua profundidade total. A Tabela 46 apresenta os resultados obtidos em porcentagem de ocorrência de cada elemento em comparação com os valores estabelecidos para os níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012.

Tabela 46 – Porcentagem de ocorrência de cada elemento em comparação com os valores estabelecidos para os níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012.

	As	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd
Abaixo do nível 1	24,2%	21,8%	87,9%	33,9%	21,8%	3,2%
Nível 1	2,4%	68,5%	8,1%	24,2%	57,3%	1,6%
Nível 2	73,4%	9,7%	4,0%	41,9%	21,0%	95,2%

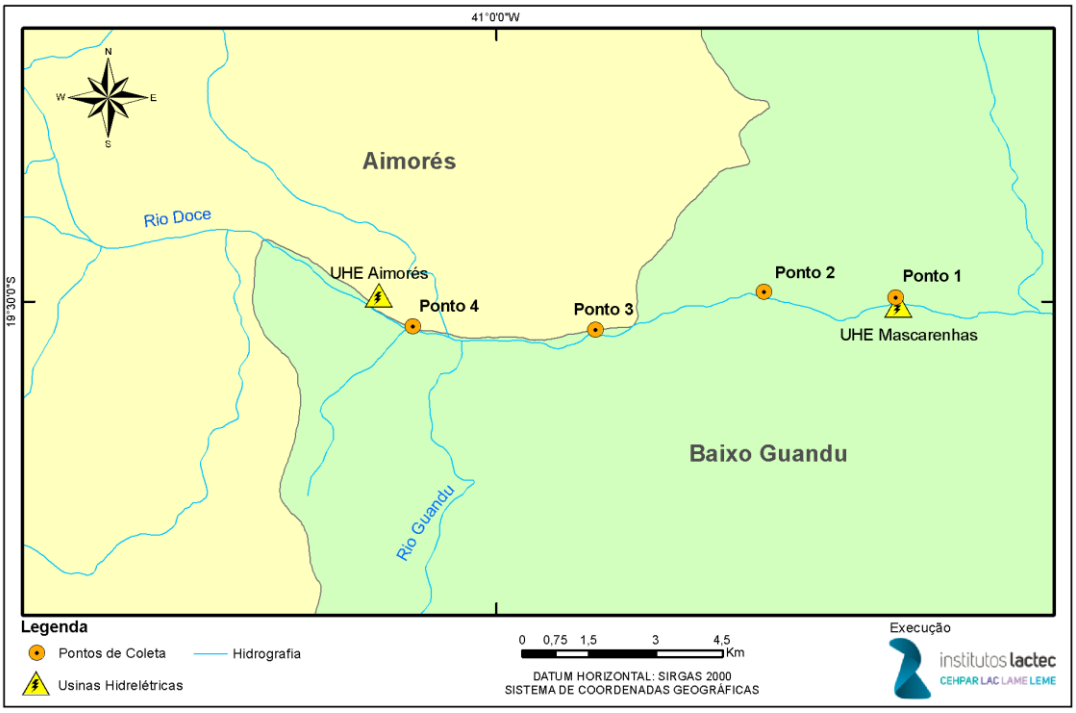
Fonte: Adaptado de Costa (2007).

Como se pode observar, o arsênio e o cádmio revelaram as maiores porcentagens de ocorrência acima do nível 2 (73,4% e 95,2%, respectivamente). O cobre apresentou 68,5% das concentrações acima do nível 1 e 21,8% dos resultados abaixo desse nível. Menos de 10,0% dos resultados ficaram acima do nível 2 para esse elemento. O elemento zinco possuía a maioria dos resultados abaixo do nível 1. O níquel indicou valores distribuídos entre o nível 2 (41,9%), o nível 1 (24,2%) e abaixo deste (33,9%).

3.6.4.4 Resultados de FEST (2014)

O relatório apresenta resultados de uma coleta de amostras de sedimento superficial realizada em junho de 2014, em quatro pontos amostrais. A localização destes está apresentada na Figura 164.

Figura 164 – Localização dos pontos amostrais de FEST (2014).



Fonte: FEST (2014).

O autor realizou análise de metais, parâmetros indicadores de matéria orgânica e granulométrica dos sedimentos. Nesta subseção, serão apresentados apenas os valores da concentração de metais no sedimento, cujos resultados estão apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 – Resultados da concentração de metais nos sedimentos.

	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Níquel	Zinco
Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P1	<1	< 0,1	7,3	20,2	208	<0,05	21,7	42,3
P2	<1	< 0,1	17,3	16,3	48,4	0,074	11,7	64,4
P3	<1	< 0,1	9	9,7	22,4	<0,05	7,8	43,1
P4	<1	< 0,1	<1	<1	3,58	<0,05	<1	12,7
Nível 1	5,9	0,6	35	35,7	37,3	0,17	18	123
Nível 2	17	3,5	91,3	197	90	0,486	35,9	315

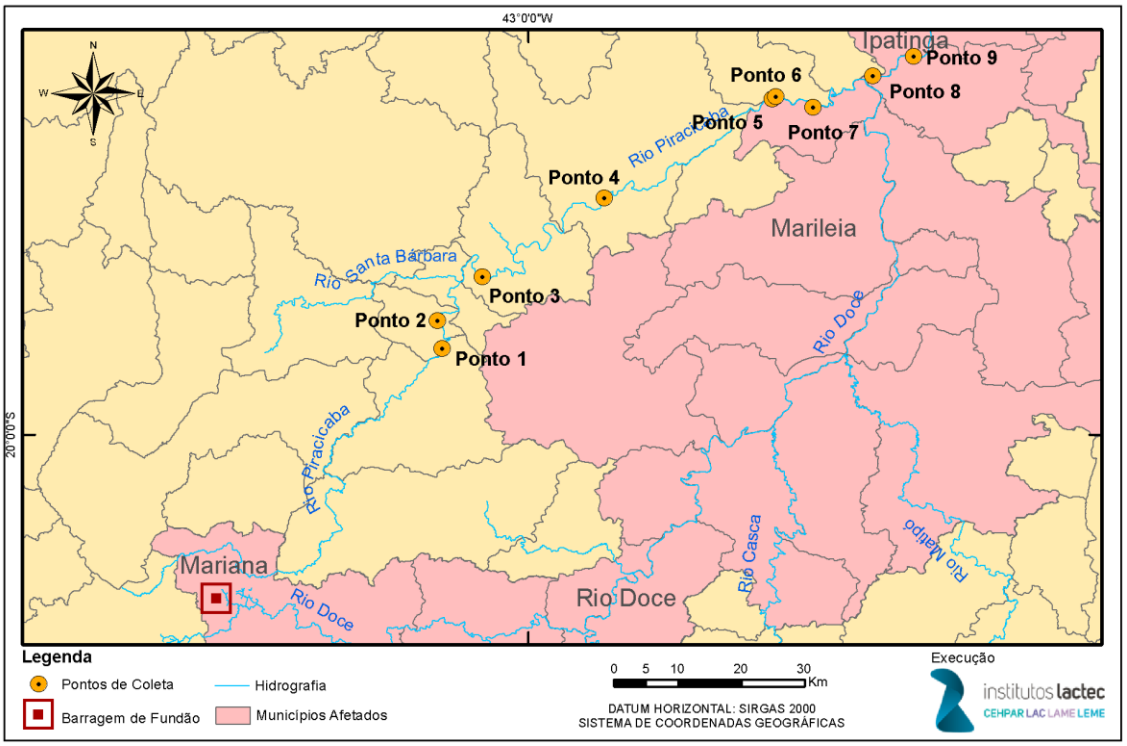
Fonte: Adaptado de FEST (2014).

O metal que apresentou concentração acima do nível 2 foi o cromo, apenas no ponto P1. O mesmo metal teve concentração acima do nível 1 no ponto amostral P2. Os valores de concentração dos metais arsênio e cádmio estiveram abaixo dos respectivos limites de detecção adotados pelo laboratório, em todos os pontos amostrados. O metal mercúrio apresentou valor acima do correspondente limite de detecção somente no ponto P2 (0,074 mg/kg). Os resultados analíticos para os metais chumbo, cobre e zinco foram inferiores aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 454/2012 para água doce. O ponto P1 também apresentou concentração de níquel acima do limite máximo estabelecido pela referida resolução para o nível 1.

3.6.4.5 Resultados de Jordão et al. (1996)

Jordão et al. (1996) realizaram coletas de amostras de água, sedimentos, plantas e peixes em nove pontos, a montante e a jusante dos empreendimentos de fundição mais representativos da região do vale do Aço. A Figura 165 apresenta a localização dos pontos amostrais; oito dos nove estavam situados no rio Piracicaba e um, no rio Doce. Nesta subseção, serão considerados apenas os resultados de sedimentos.

Figura 165 – Localização dos pontos amostrais de Jordão et al. (1996).



Fonte: Jordão et al. (1996).

A maior parte das plantas de metalurgia está localizada próxima aos municípios de João Monlevade, Timóteo e lpatinga, em um trecho de aproximadamente 120 km de extensão. As amostras foram coletadas nas estações seca e chuvosa e analisadas quanto à concentração de metais. Também foram analisadas amostras de uma fonte de metais e de um reservatório, para obter valores de *background*. O ponto 7 foi amostrado apenas na estação chuvosa. A Tabela 48 e a Tabela 49 apresentam as concentrações de metais obtidas nas amostras de sedimentos.

Tabela 48 – Concentrações dos sedimentos analisados no período chuvoso.

Pontos Chuvoso	Mn (µg/kg)	Pb (µg/kg)	Cu (µg/kg)	Zn (µg/kg)	Co (µg/kg)	Ni (µg/kg)	Cr (µg/kg)
Dados Referência	**104**	**8**	**10**	**29**	**0,6**	**15**	**27**
1	541	-	16,4	23,6	16,4	52,9	110
2	162	55,7	8,2	23,5	21,1	26,1	42,7
2a*	3826	73,9	36,1	71,1	22,8	36,3	56,8
3	330	-	14	36,2	16,3	12,7	53,9
4	1684	32,9	32,6	50,2	27,6	23,3	69
5	333	15,4	16,2	64,5	16,1	20,5	45,2
6	235	27,4	22,1	51,3	25,7	43,8	40,3
7	344	13,8	17	43,4	17,2	18,6	38,7
8	654	17,2	34,3	87,7	21,6	52,7	107
9	803	-	9,9	15,5	12,3	13,8	23,3
Nível 1	-	35	35,7	123	-	18	37,3
Nível 2	-	91,3	197	315	-	35,9	90

Nota: * Material dragado do rio Piracicaba.
Fonte: Adaptado de Jordão et al. (1996).

Tabela 49 – Concentrações dos sedimentos analisados no período seco.

Pontos Seco	Mn (µg/kg)	Pb (µg/kg)	Cu (µg/kg)	Zn (µg/kg)	Cd (µg/kg)	Ni (µg/kg)	Cr (µg/kg)	Fe (%)
Dados Referência	**104**	**8**	**10**	**29**	**0,2**	**15**	**27**	**1,57**
1	467	19,4	13,4	62,4	1,7	72,8	97,4	0,14
2	1151	105	19,2	179	2,2	105	174	0,14
3	515	25,4	14,8	47,4	4,2	44,4	76,4	0,14
4	880	39,8	21,7	115	1,6	60,1	110	0,13
5	536	31,8	9	69,6	1,5	28,7	684	0,14
6	2540	84,1	32,6	157	1,9	31,2	83,4	0,14
8	1021	98,6	31	285	2,1	142	789	0,14
9	398	19,1	12,7	69,1	0,8	64,8	92,4	0,12
Nível 1	-	35	35,7	123	0,6	18	37,3	-
Nível 2	-	91,3	197	315	3,5	35,9	90	-

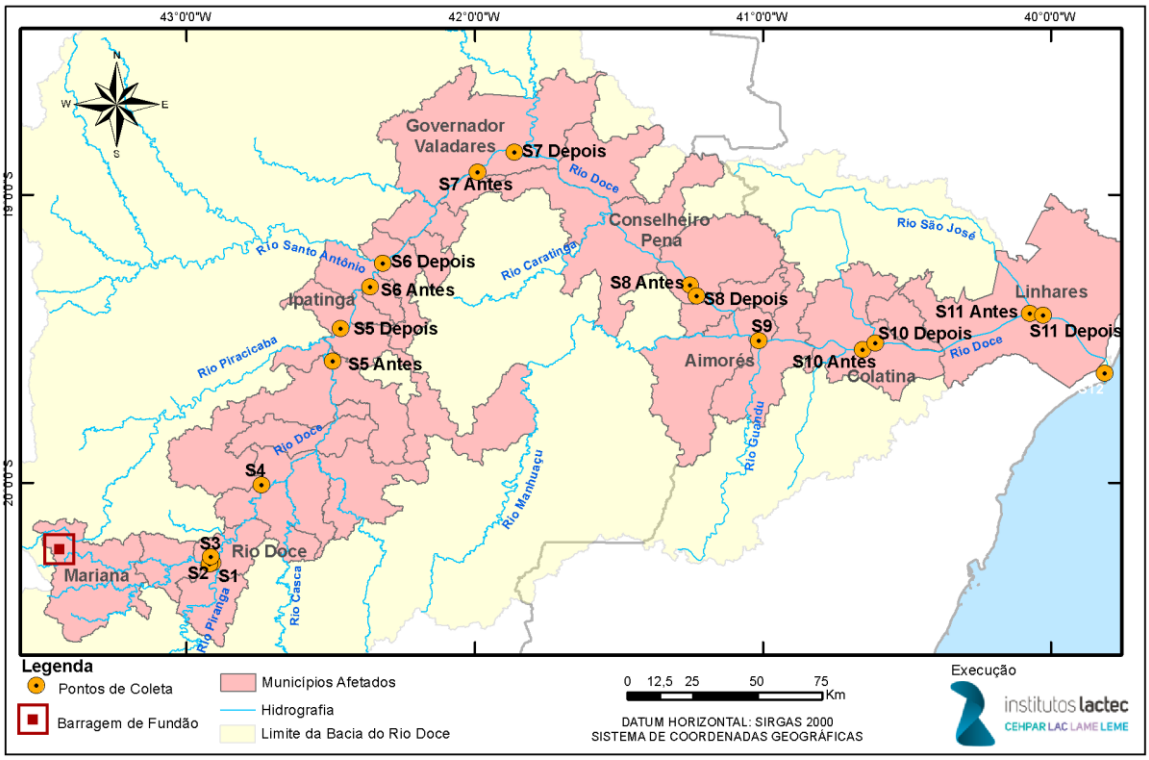
Fonte: Jordão et al. (1996).

Quando comparados com os valores de níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012, os sedimentos apresentaram valores superiores ao nível 1 para a variável cádmio nas amostras coletadas na estação chuvosa e acima dos níveis 1 e 2 nas amostras coletadas no período seco. A variável cobre revelou apenas um resultado acima do nível 1, no ponto amostral 2a (sedimento dragado do rio Piracicaba, no ponto 2). O elemento zinco teve valores acima do nível 1 apenas na coleta realizada no período seco. As variáveis níquel e cromo apresentaram concentrações acima dos níveis 1 e 2 em ambos os períodos. Em geral, a maior contaminação foi registrada no período seco, provavelmente como uma consequência do fato de o menor volume de água obviamente tender a exibir concentrações mais elevadas de poluentes. Quando comparados com os valores de referência, todos os resultados estiveram acima deles.

3.6.4.6 Resultados de Pacheco (2015)

Pacheco (2015) coletou amostras em 18 locais na calha do rio Doce, incluindo uma amostra de sedimento na calha do rio Piranga. Para cada ponto, foram coletadas duas amostras de sedimento no perfil transversal do rio (margens esquerda e direita). Alguns locais selecionados para a coleta de sedimentos (as principais cidades e a foz de alguns dos afluentes do rio Doce ao longo de sua calha principal) foram amostrados e antes e depois dos municípios, totalizando 33 amostras. A localização dos pontos está apresentada na Figura 166.

Figura 166 – Localização dos pontos amostrais de Pacheco (2015).



Fonte: Pacheco (2015).

Para os sedimentos fluviais, foi utilizado um coletor de testemunho cilíndrico de PVC com ajuste de 1 a 10 m de profundidade. Na sequência, essas amostras foram seccionadas de 10 em 10 cm ou seguindo uma diferenciação de textura em profundidade. Para fins de comparação com os demais estudos, nesta subseção, serão apresentados apenas os resultados das concentrações de metais quantificados na camada mais superficial de cada amostra. Os resultados das concentrações de metais estão apresentados na Tabela 50.

Tabela 50 – Concentrações de metais das amostras analisadas.

	Prof (cm)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)	Pb (µg/g)
S1	**0-10**	82,5	58,1	20,1	54	n.d	2,6	n.d	19,9
S2	**0-10**	91,4	39,3	11,4	33,6	51	1,6	n.d	14,5
S3	**0-10**	85,8	46,3	19,8	37,3	85,3	1,9	n.d	16,5
S3 margem direita	**0-10**	73,3	51,7	18,3	41,8	18,4	2,2	n.d	13,9
S4 - margem direita (antes)	**0-10**	118,5	73,9	36,5	71,3	37,6	3,2	n.d	31,2
S5 - margem direita (antes)	**0-10**	105,6	64,1	26	63,8	13,9	2,2	n.d	22,8
S5 - margem esquerda(depois)	**0-13**	192,9	89,3	42,8	117,1	18,3	2,4	n.d	39,9
S5 - margem direita (depois)	**0-15**	133,9	70,5	29,7	86,4	15	2,7	n.d	28,6
S6 - margem esquerda (antes)	**0-10**	78,1	49,9	22,6	60,1	9,8	2,4	n.d	24,1
S6 - margem direita (antes)	**0-12**	169,5	88,3	38,3	126,8	18,8	2,8	n.d	41,1
S6 - margem esquerda(depois)	**0-12**	61,9	47	16,1	62,5	3,4	2,4	n.d	33,2
S6 - margem direita (depois)	**0-10**	89,3	55,4	22	67,3	10,1	2,8	n.d	23,5
S7 - margem esquerda (antes)	**0-10**	40,35	22	4,9	20,1	4,2	2,4	n.d	9,5

	Prof (cm)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)	Pb (µg/g)
S7 - margem direita (antes)	**0-15**	110,9	74	36,3	109,7	10,2	2,6	n.d	43,4
S7 - margem esquerda(depois)	**0-12**	43,7	32,9	8,9	39,2	6	2	n.d	16,2
S7 - margem direita (depois)	**0-10**	38,1	37,7	13,9	52,8	1,3	2,4	n.d	70,1
S8 - margem esquerda (antes)	**0-13**	55,3	29,3	9,8	45	3,6	2,3	n.d	22,4
S8 - margem direita (antes)	**0-12**	59,4	40,4	13,2	50,3	2,1	2,3	n.d	18,7
S8 - margem esquerda(depois)	**0-17**	63,5	42,1	15,1	57,9	7,1	2,1	n.d	24,9
S8 - margem direita (depois)	**0-10**	74,2	57,3	22,4	72	1,3	2,7	n.d	35,7
S9 - margem esquerda(depois)	**0-11**	46,4	33	14,1	36,4	2,4	2,2	n.d	22
S9 - margem direita (depois)	**0-15**	37,1	27	5,8	35,1	n.d	2,8	n.d	18,8
S10 - margem esquerda(antes)	**0-15**	85,7	52,7	18,6	69,2	7,2	2,9	n.d	31,6
S10 - margem direita (antes)	**0-15**	113,9	71,3	36,2	106,2	5,9	2,7	n.d	40,5
S10 - margem esquerda (depois)	**0-30**	89,2	56,1	20,5	82,8	4,1	2,5	n.d	34
S10 - margem direita (depois)	**0-15**	20,3	17,6	1,3	12,1	7,5	2,8	n.d	11,1
S11 - margem esquerda(antes)	**0-30**	33,2	23,8	6,1	23,9	3,1	2,9	n.d	22,9
S11 - margem direita (antes)	**0-17**	31,5	24,3	5,5	28,9	4,5	2,5	n.d	10,8
S11 - margem esquerda (depois)	**0-14**	63,8	40,3	11,7	44,9	4,9	2,4	n.d	21,8
S11 - margem direita (depois)	**0-17**	61,4	41,7	15,5	53,3	1,5	2,2	n.d	27,6
S12 - margem esquerda (depois)	**0-22**	65,8	46,2	17,4	67,1	4,9	2,7	n.d	31,4
S12 - margem direita (depois)	**0-19**	62,6	38,3	17,1	41,9	6	3	n.d	24,9
Nível 1	-	37,3	18	35,7	123	5,9	0,6	0,17	35
Nível 2	-	90	35,9	197	315	17	3,5	0,486	91,3
n.d. = não detectado									

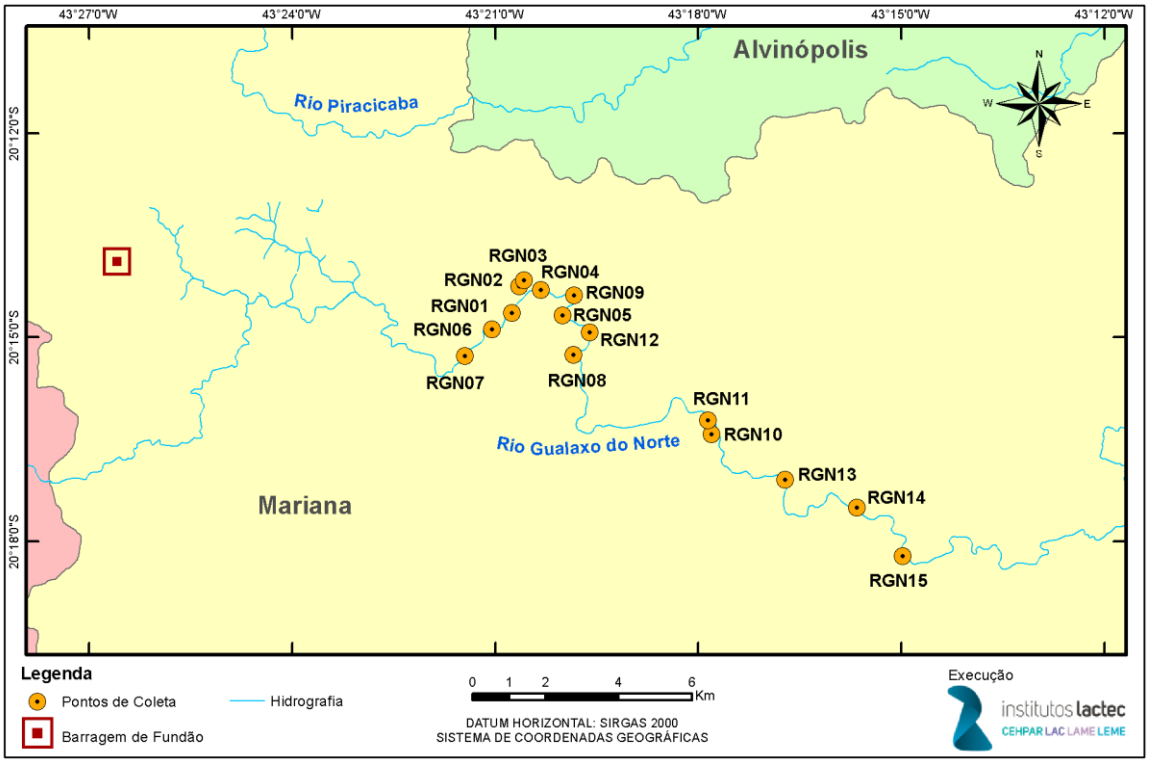
Fonte: Adaptado de Pacheco (2015).

Quando comparados com os níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, os resultados da variável cromo apresentaram 20 valores de um total de 32 acima do nível 1 e oito valores acima do nível 2. Apenas os valores dos pontos S9 margem direita depois, S10 margem direita depois e S11 antes tiveram valores abaixo do nível 1. As variáveis cobre, zinco e chumbo revelaram menos de seis valores acima do nível 1. A variável níquel foi a que apresentou mais valores acima do nível 2 (24 dos 32) e sete valores acima do nível 1. O arsênio teve dez resultados acima do nível 1 e seis acima do nível 2, de um total de 32 resultados. A variável mercúrio não foi detectada em nenhuma das amostras analisadas. De acordo com o autor, a não detecção de mercúrio pela fluorescência de raios X não foi uma limitação da técnica, mas, sim, possivelmente um fator de diluição natural que ocorreu após esse elemento entrar no curso do rio Doce.

3.6.4.7 Resultados de Rhodes (2010)

Rhodes (2010) realizou, durante a elaboração de sua dissertação de mestrado, duas campanhas de amostragem, uma no período seco (agosto de 2008) e uma no período chuvoso (abril de 2009), no rio Gualaxo do Norte e em alguns de seus tributários. A localização das estações de amostragem está apresentada na Figura 167.

Figura 167 – Localização das estações de amostragem de Rhodes (2010).



Fonte: Rhodes (2010).

Foram realizadas análises de metais nos sedimentos com granulometria menor que 63 µm. Os resultados estão apresentados na Tabela 51. O ponto de amostragem RGN-07 foi amostrado apenas em agosto de 2008 e RGN12, RGN13, RGN14 e RGN15, apenas em abril de 2009.

Tabela 51 – Resultados das análises de metais em sedimentos.

AMOSTRA	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb(mg/kg)	Zn (mg/kg)
RGN01 - ago/08	3,15	29,02	82,4	5,8	35,6	0,26	4259	23,3	82,4	6,3
RGN01 - abr/09	4,07	62,0	110,3	27,9	28,61	0,53	9802	41,4	41,5	59,0
RGN02 - ago/08	13,97	<LQ	16,9	51,5	3,8	0,08	482	10,9	<LQ	92,9
RGN02 - abr/09	16,73	<LQ	19,8	4,9	3,4	0,09	372	11,4	<LQ	79,1
RGN04 - ago/08	7,65	<LQ	55,4	10,7	21,4	0,13	2612	21,3	236,5	68,0
RG-04 - abr/09	4,52	51,8	105,6	22,9	29,67	0,37	8386	39,6	43,4	56,1
RGN05 - ago/08	6,86	57,6	90,8	8,7	16,8	0,23	5522	30,9	37,9	56,7
RGN05 - abr/09	4,38	53,1	100,6	20,4	31,48	0,30	7705	38,9	43,8	58,1
RGN06 - ago/08	5,63	68,6	105,9	15,2	0,023	0,37	5910	38,7	60,7	65,2
RGN06 - abr/09	5,51	58,7	106,3	27,6	25,47	0,36	8508	43,5	40,6	58,1
RGN07 – ago/08	3,54	37,2	100,2	11,4	0,037	0,40	6429	32,5	68,2	61,8
RGN08 - ago/08	4,01	51,5	98,6	12,1	0,04	0,31	7697	38,8	65,3	58,2
RGN08 - abr/09	1,79	39,7	90,6	7,6	39,28	0,29	5988	30,6	56,4	55,5
RGN09 - ago/08	5,29	79,7	119,7	14,0	0,031	0,28	5646	39,8	52,3	58,9
RGN09 - abr/09	3,03	30,7	88,6	5,6	36,73	0,18	5303	26,2	50,3	55,6
RGN10 - ago/08	16,33	<LQ	40,3	14,2	0,028	<LQ	548	13,0	<LQ	59,6
RGN10 - abr/09	19,15	<LQ	74,7	14,2	5,14	0,10	230	19,4	<LQ	56,0
RGN11 - go/08	7,9	82,4	108,0	18,2	0,004	0,35	6271	46,2	36,7	64,6
RGN11 - abr/09	6,33	48,9	93,5	18,8	21,84	0,33	6098	38,2	28,5	54,8

AMOSTRA	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb(mg/kg)	Zn (mg/kg)
RGN12 – abr/09	5,1	53,1	101,4	20,6	29,26	0,42	7497	38,9	39,4	58,3
RGN13 – abr/09	6,5	57,5	100,4	21,6	26,36	0,30	7439	40,3	32,8	63,0
RGN-4 – abr/09	6,52	49,7	94,9	19,1	19,94	0,26	6172	39,0	23,6	52,8
RGN15 – abr/09	5,92	44,7	100,6	14,7	25,28	0,21	5445	37,0	32,0	56,7
Nível1	-	5,9	37,3	35,7	-	0,17	-	18	35	123
Nível2	-	17	90	197	-	0,486	-	35,9	91,3	315

<LQ = inferior ao Limite de Quantificação

Fonte: Adaptado de Rhodes (2010).

Os resultados obtidos para os elementos arsênio, cromo e níquel foram os que mais ultrapassaram o nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Os elementos alumínio, ferro e manganês não apresentaram os limites estabelecidos na resolução citada. O mercúrio e o chumbo tiveram resultados acima do nível 1 e apenas um resultado acima do nível 2. O cobre apresentou apenas um resultado acima do nível 1.

3.6.4.8 Resultados de Silva et al. (2013)

O objetivo do estudo de Silva et al. (2013) foi verificar a composição geoquímica de amostras de sedimentos (fundo e margem) dos seguintes elementos: alumínio, arsênio, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, níquel e zinco, derivados da exploração aurífera que ocorreu na área de estudo (municípios de Ouro Preto e Mariana).

Foram realizadas coletas em quatro pontos amostrais: um em Tripuí (Tri), localizado em uma unidade de conservação de mesmo nome, Passagem (PAS), Prainha (Pra) e Colina (Col) (Figura 168). Essas três últimas estão localizadas em áreas urbanas com alta densidade populacional. De acordo com o estudo, esses locais não possuem coleta de esgoto e de resíduos sólidos. As coletas foram realizadas nos meses de junho de 2010 (seca) e março de 2011 (chuvosa).

Figura 168 – Localização dos pontos amostrais de Silva et al. (2013).



Fonte: Silva et al. (2013).

Foram realizados três tipos de análise: granulométrica, mineralógica por difratometria de raios X e geoquímica por espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES), tendo sido utilizada, para as duas últimas, somente a fração de silte/argila (< 0,062 mm). Os resultados foram comparados com os seguintes valores de referência: valores de referência local (COSTA et al., 2010 apud SILVA et al., 2013), valores de referência de qualidade (SÃO PAULO, 2005 apud SILVA et al., 2013) e concentração de efeitos limiares (TEC) e de efeito provável (PEC) (MAC DONALD et al., 2000 apud SILVA et al., 2013). Os valores de TEC e PEC são similares àqueles estabelecidos para *Threshold Effect Level* (TEL) e *Probable Effect Level* (PEL) descritos na Resolução CONAMA nº 454/2012. Os resultados das análises nas amostras de sedimentos estão apresentados na Tabela 52.

Tabela 52 – Resultados das análises nas amostras de sedimentos.

Pontos	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	-	5,9	0,6	37,3	35,7	-	-	18	123
Nível 2	-	17	3,5	90	197	-	-	35,9	315
Tripuí	3.810	<Q.L.[1]	<Q.L.	61,8	14,0	253.448	2.106	21,7	42,6
Passagem	8.534	16,5	1.406	47,7	21,2	195.748	4.499	22,4	51,8
Prainha	5.636	328,9	6,7	49,6	29,0	180.935	4.460	34,7	57,6
Colina	10.005	391,3	7,7	81,0	32,8	259.184	5.802	39,7	63,8
Tripuí	5.489	<Q.L.	1,0	64,6	41,0	259.064	3.059	29,5	52,6
Passagem	17.977	58,4	2.716	62,9	66,7	174.132	11.724	42,6	114,5
Prainha	13.016	510,0	9,3	75,4	110,1	202.605	12.136	64,8	110,8
Colina	11.062	602,0	10,7	61,5	36,5	234.214	6.705	32,6	87,9
Tripuí	3.307	<Q.L.	0,7	36,0	13,5	216.719	2.199	17,4	42,2
Passagem	13.020	52,5	1.494	76,9	33,6	158.516	3.836	26,5	52,6

Pontos	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Prainha	5.740	75,1	1.797	82,5	29,1	139.811	4.814	56,8	59,2
Colina	3.636	286,3	4.056	55,0	11,3	236.981	3.453	28,0	45,6
Tripuí	3.447	<Q.L.	0,5	36,6	22,1	197.371	2.694	23,0	48,1
Passagem	9.350	53,8	1.659	55,8	31,0	146.815	6.777	26,5	57,1
Prainha	3.634	140,2	2.015	96,7	17,5	220.408	4.857	42,3	54,1
Colina	3.177	268,8	4.185	43,0	9,5	227.198	2.924	23,6	42,2
Q.L.[1]	3,3	2,0	0,5	0,3	0,4	1,1	0	0,8	0,1
L.R.V.[2]	3,8	35,3	14,1	111,0	135,1	9,9	190	53,1	124,0
Q.R.V.[3]	3,84	3,5	<0,5	40,0	35,0	9,9	190	13,0	60,0
TEC[4]	N.A.	9,8	1,0	43,4	31,6	N.A.	N.A.	22,7	121,0
PEC[5]	N.A.	33,0	5,0	111,0	149,0	N.A.	N.A.	48,6	459,0

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2013).

Os elementos que apresentaram concentrações acima do nível 2 foram: arsênio, cádmio, cromo e níquel. As concentrações de arsênio no ponto localizado em Colina foram 18 vezes mais elevadas do que o valor de referência local (3,84 mg/kg). O cádmio revelou concentrações bem acima daquelas estabelecidas pelo valor de referência de qualidade (0,5 mg/kg) e PEC (4,98 mg/kg) em quase todos os pontos amostrados, independentemente da sazonalidade. Entre os elementos considerados mais tóxicos à biota, arsênio e cádmio excederam seus respectivos valores de referência na área estudada. Em geral, as concentrações encontradas no leito do rio foram levemente mais altas do que as das amostras coletadas nas margens. Ainda, o maior número de concentrações acima do nível 2 foi observado no período seco.

De acordo com os resultados, a área de estudo, com exceção do ponto Tripuí, encontra-se impactada pela exploração histórica do ouro na região, como também pela crescente urbanização.

3.6.4.9 Resultados de Santolin (2015)

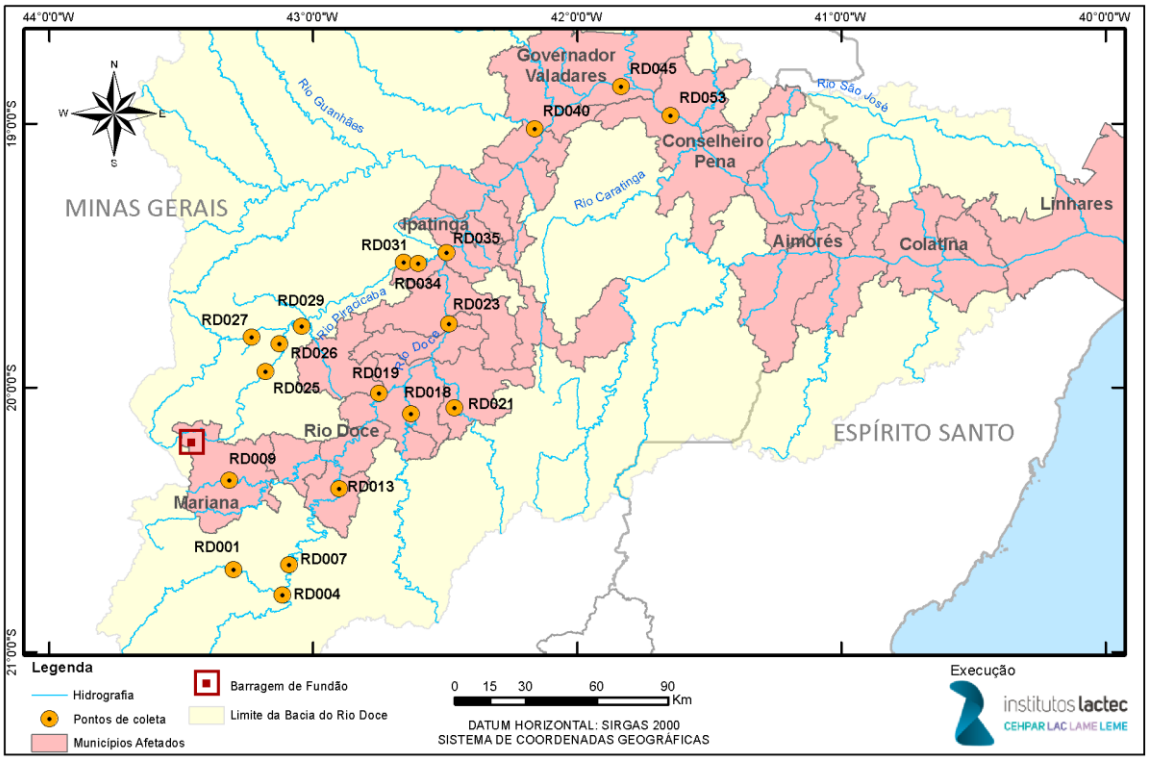
Santolin (2015) estudou, em sua tese de doutorado, a contaminação por metais e arsênio (semimetal) em sedimento, em 19 pontos coincidentes com o monitoramento de qualidade da água realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Foram realizadas três coletas: no período chuvoso (outubro de 2011), no período intermediário (abril de 2012) e no período seco (julho de 2012). O autor procedeu a análises quantitativas dos metais mercúrio, arsênio, alumínio, cromo, cobre, ferro, manganês, níquel e zinco, como também avaliou a concentração de matéria orgânica e a granulometria das amostras. Além das análises com as amostras brutas, foram realizados ensaios de extração parcial com ácido clorídrico 1 mol/L a frio para identificação da disponibilidade ambiental dos elementos.

Os resultados foram comparados com a Resolução CONAMA nº 454/2012 e valores de *background* da região da sub-bacia do rio Gualaxo do Norte. Também foi realizado o cálculo do Igeo e do FE.

A Figura 169 apresenta a localização dos pontos amostrais.

Figura 169 – Localização dos pontos amostrais de Santolin (2015).



Fonte: Santolin (2015).

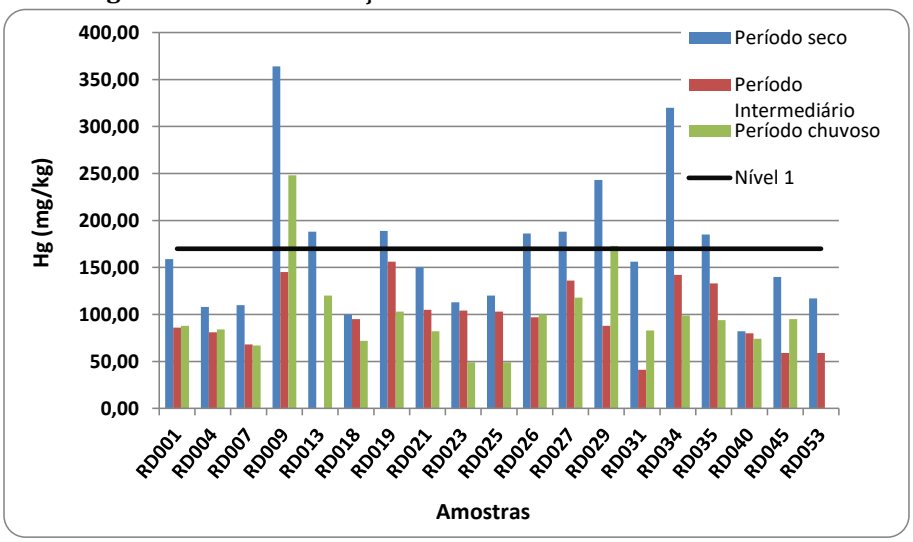
Metais e arsênio

Nesta subseção, serão apresentados os resultados dos metais e do arsênio (semimetal)) analisados em cada estação e em cada período de coleta.

Mercúrio

A Figura 170 apresenta a concentração de mercúrio nos sedimentos analisados. Conforme pode ser observado, o elemento revelou concentrações apenas acima do nível 1. As maiores concentrações foram encontradas nos pontos: RD009 (próximo a Mariana), RD019 (rio Doce, a montante da foz do rio Casca), RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade), RD027 (rio Santa Bárbara, em Santa Rita das Pacas), RD029 (rio Piracicaba, em Nova Era), RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD035 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano), nos sedimentos coletados no período seco.

Figura 170 – Concentração de mercúrio nos sedimentos analisados.

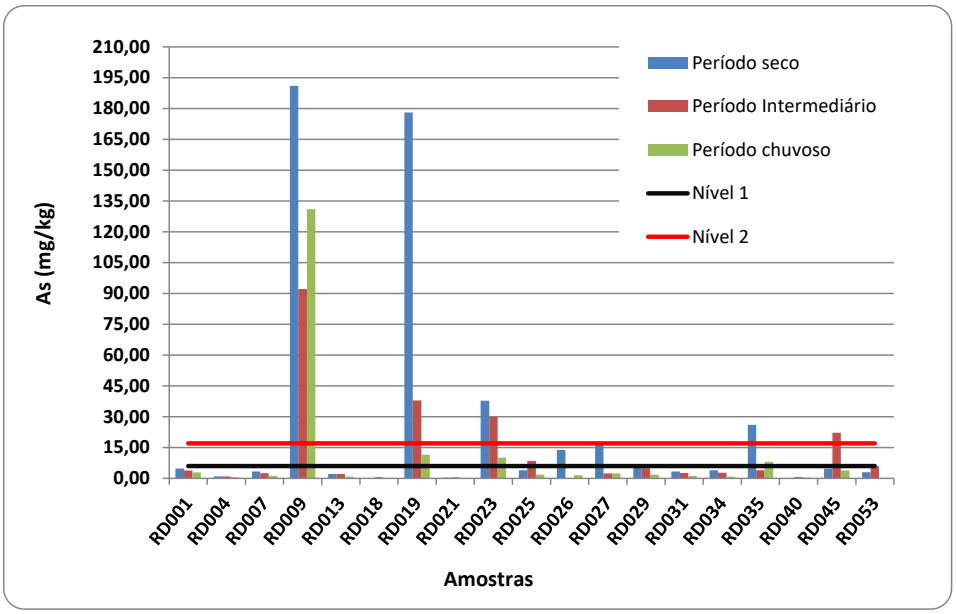


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Arsênio

A concentração de arsênio nos sedimentos analisados, apresentada na Figura 171, ultrapassou o nível 2 nos pontos: RD009 (próximo a Mariana), RD019 (rio Doce, a montante da foz do rio Casca), RD023 (rio Doce, a montante de Cachoeira dos Óculos), RD027 (rio Santa Bárbara, em Santa Rita das Pacas), RD035 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD045 (rio Doce, a jusante de Governador Valadares). O nível 1 foi ultrapassado nas estações RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade) e RD029 (rio Piracicaba, em Nova Era).

Figura 171 – Concentração de arsênio nos sedimentos analisados.

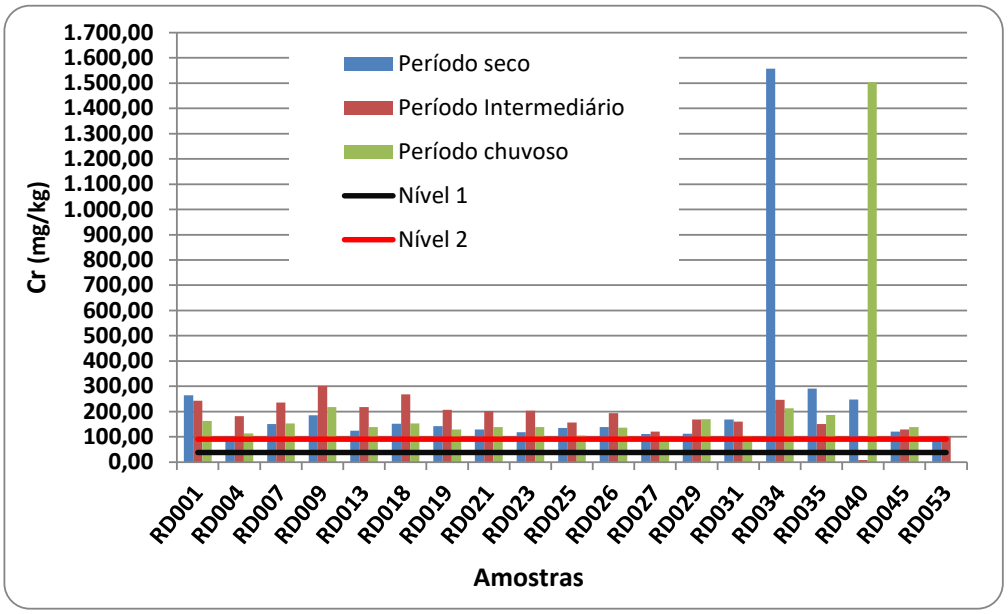


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Cromo

O cromo apresentou concentrações acima do nível 2 em praticamente todos os pontos (Figura 172), em qualquer período. Em RD034 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD040 (rio Corrente Grande, próximo à foz no rio Doce), foram observadas concentrações até 140 vezes acima do nível 2.

Figura 172 – Concentração de cromo nos sedimentos analisados.

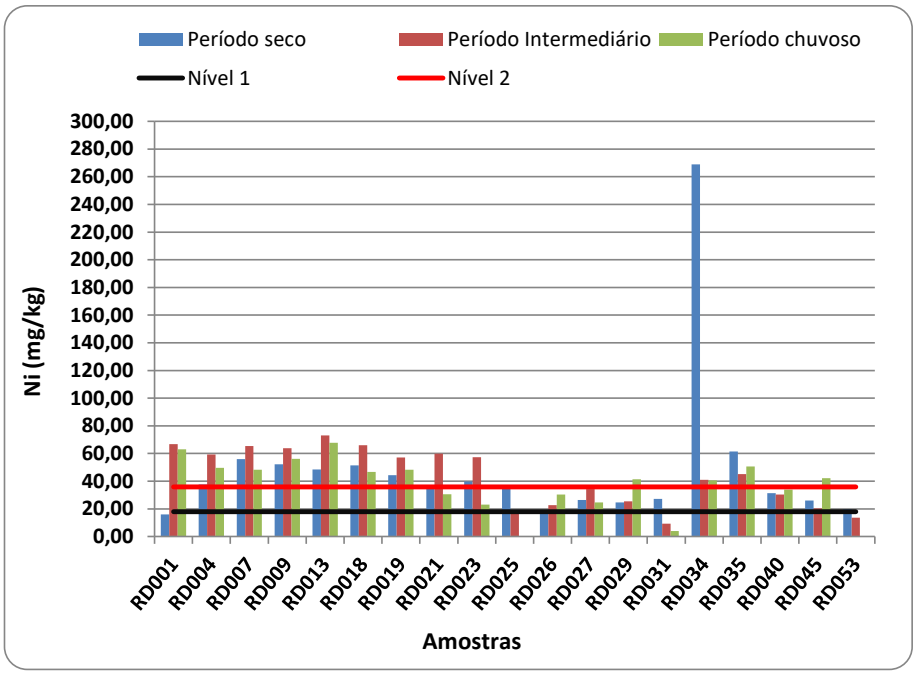


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Níquel

O níquel também apresentou concentrações acima do nível 2 em diversas estações de amostragem (Figura 173), sendo as maiores nas regiões a montante de Ipatinga. O nível 1 foi ultrapassado em todas as estações de amostragem.

Figura 173 – Concentração de níquel nos sedimentos analisados.

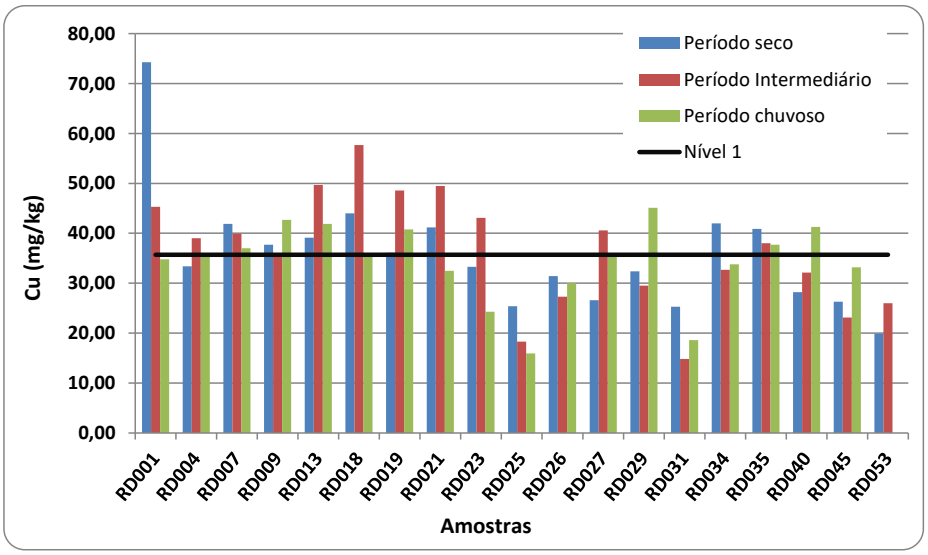


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Cobre

A Figura 174 apresenta a concentração de cobre nos sedimentos analisados. Foram observadas apenas concentrações acima do nível 1, em praticamente todas as estações, com exceção de RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba), RD031 (rio Piracicaba, em Timóteo, a montante da Estação de Tratamento de Água – ETA – Acesita), RD045 (rio Doce, a jusante da cidade de Governador Valadares) e RD053 (rio Doce, a jusante do rio Suaçuí Grande, em Tumiritinga). Em geral, as maiores concentrações ocorreram nos pontos a montante de Ipatinga.

Figura 174 – Concentração de cobre nos sedimentos analisados.

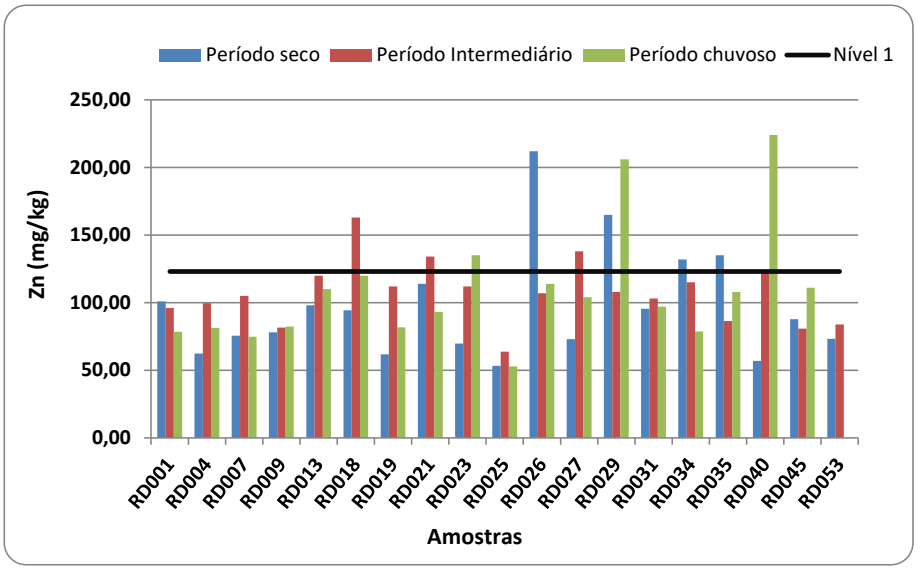


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Zinco

A concentração de zinco nos sedimentos amostrados é apresentada na Figura 175. As concentrações observadas ultrapassaram o nível 1 apenas em algumas estações de amostragem: RD018 (rio Casca, no distrito de Águas Férreas), RD021 (rio Matipó, a jusante da cidade de Raul Soares), RD023 (rio Doce, a montante da comunidade de Cachoeira dos Óculos), RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade), RD027 (rio Santa Bárbara, na localidade de Santa Rita das Pacas), RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano), RD035 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD040 (rio Corrente Grande, próximo à sua foz no rio Doce).

Figura 175 – Concentração de zinco nos sedimentos analisados.

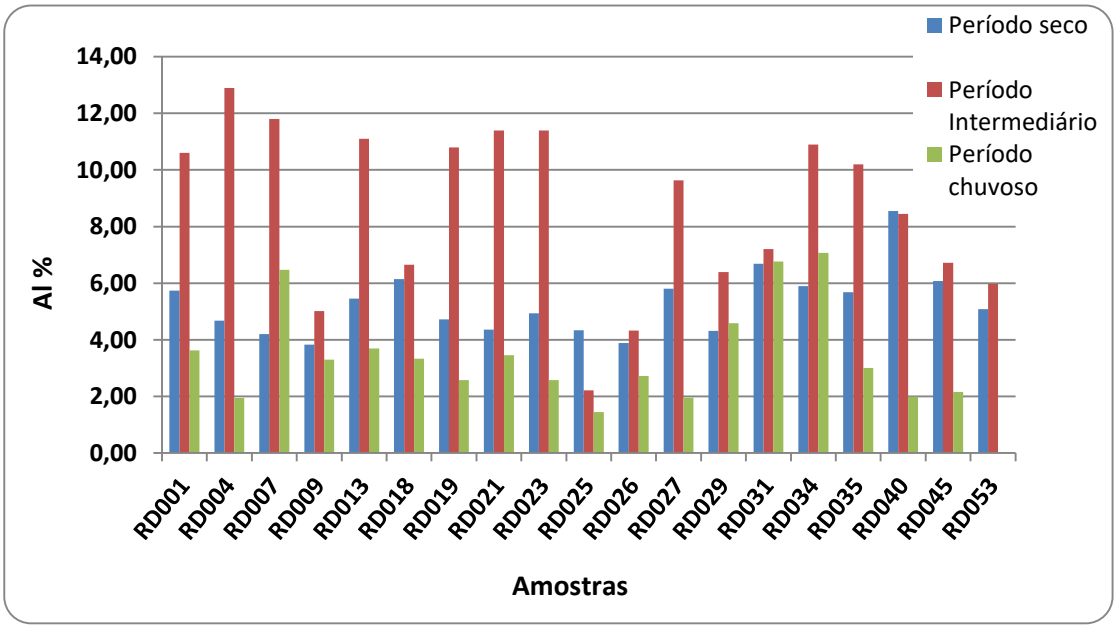


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Alumínio

A Figura 176 apresenta a concentração de alumínio nos sedimentos coletados. Destaca-se que não existem limites definidos para este elemento na Resolução CONAMA nº 454/2012. As maiores concentrações foram observadas no período intermediário (abril de 2012) e as menores, nos pontos RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba) e RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade) – ambas próximas a Itabira.

Figura 176 – Concentração de alumínio nos sedimentos analisados.

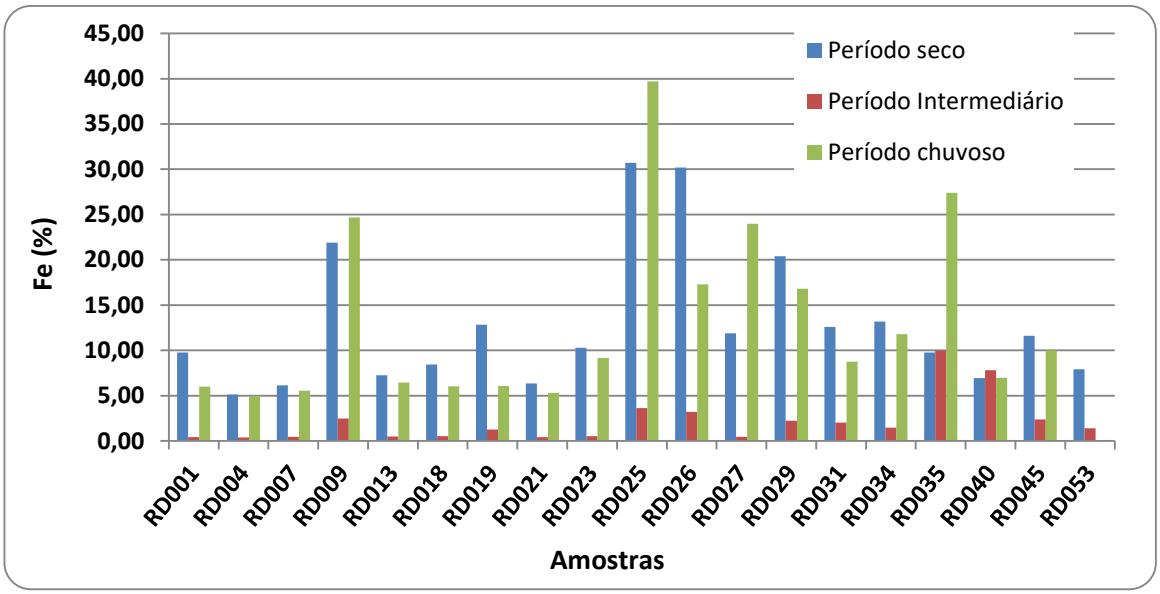


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Ferro

A concentração de ferro nos sedimentos amostrados está apresentada na Figura 177. Frisa-se que não existem limites para este elemento na Resolução CONAMA nº 454/2012. As maiores concentrações foram observadas nos períodos chuvoso e seco e as menores, nos pontos RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba) e RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade) – ambas próximas a Itabira e nos pontos a jusante de Ipatinga.

Figura 177 – Concentração de ferro nos sedimentos analisados.

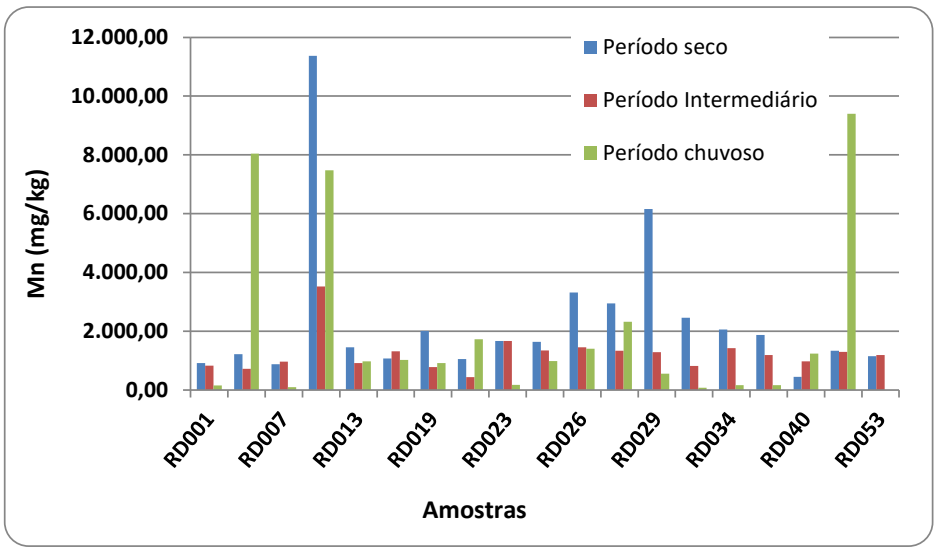


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Manganês

A Figura 178 apresenta a concentração de manganês nos sedimentos analisados, sendo que, para este elemento, também não existem limites na Resolução CONAMA nº 454/2012. As menores concentrações foram observadas nos pontos RD004 (rio Xopotó, próximo à foz no rio Piranga) e RD009 (próximo a Mariana) e a jusante de Ipatinga.

Figura 178 – Concentração de manganês nos sedimentos analisados.



Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Igeo

O Igeo calculado está apresentado na Tabela 53, Tabela 54 e na Tabela 55.

Tabela 53 – Igeo para os elementos arsênio, cromo e cobre.

Amostras	As			Cr			Cu		
	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período Seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco
RD001	--	-1,81	-2,20	2,65	2,53	1,95	2,63	1,92	1,54
RD004	-3,84	-3,89	-4,61	1,26	2,11	1,42	1,48	1,70	1,58
RD007	-2,01	-2,38	-3,45	1,84	2,48	1,87	1,80	1,73	1,62
RD009	3,85	2,80	3,32	2,14	2,85	2,38	1,65	1,57	1,83
RD013	-2,65	-2,61	-4,12	1,56	2,37	1,72	1,70	2,05	1,80
RD018	--	-4,70	-10,01	1,85	2,68	1,87	1,87	2,27	1,57
RD019	2,95	1,52	-0,21	1,76	2,30	1,62	1,59	2,02	1,77
RD021	-6,13	-4,81	--	1,62	2,27	1,72	1,78	2,05	1,44
RD023	0,81	1,18	-0,39	1,49	2,27	1,73	1,47	1,84	1,02
RD025	-1,76	-0,64	-2,87	1,69	1,90	1,32	1,08	0,61	0,41
RD026	0,07	--	-3,15	1,72	2,21	1,69	1,39	1,19	1,32
RD027	1,52	-2,46	-2,48	1,41	1,52	1,09	1,15	1,76	1,58
RD029	-1,07	-1,42	-2,93	1,42	2,01	2,01	1,43	1,30	1,91
RD031	-2,00	-2,32	-3,49	2,01	1,93	1,28	1,08	0,30	0,63
RD034	-2,00	-2,27	-3,99	5,21	2,55	2,34	1,81	1,45	1,49
RD035	-1,73	-1,76	-0,72	2,79	1,84	2,14	1,77	1,66	1,65
RD040	0,57	-4,49	-5,40	2,56	-2,39	5,19	1,24	1,42	1,78
RD045	--	0,74	-1,79	1,51	1,61	1,73	1,13	0,94	1,47
RD053	-1,50	-1,18	--	1,15	1,27	--	0,73	1,12	--
Background	8,8 µg/g			28 µg/g			8 µg/g		

Valor do Índice	Classe	Qualidade do sedimento
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderadamente a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Fortemente a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

A qualidade do sedimento quanto ao elemento arsênio foi classificada, na maioria dos resultados, como "não poluído". Exceções foram encontradas nos pontos RD009 (rio do Carmo, em Monsenhor Horta), classificado como "fortemente poluído" e "moderada a fortemente poluído"; RD019 (rio Doce, a montante da foz do rio Casca), classificado como "moderada a fortemente poluído" e "moderadamente poluído" em duas coletas; RD023 (rio Doce, a montante da comunidade de Cachoeira dos Óculos); RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade), classificado como "não poluído a moderadamente poluído") em apenas uma das coletas; RD027 (rio Santa Bárbara, na localidade de Santa Rita das Pacas), RD040 (rio Corrente Grande, próximo à sua foz no Rio Doce) e RD045 (rio Doce, a jusante da cidade de Governador Valadares), classificados como "não poluído a moderadamente poluído" em apenas uma das coletas.

Quanto ao elemento cromo, o sedimento foi classificado como "moderadamente poluído" e "moderada a fortemente poluído" na maioria das amostras, registrando também

dois valores de “extremamente poluído”, nos pontos RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD040 (rio Corrente Grande, próximo à sua foz no Rio Doce).

Em relação ao cobre, o sedimento foi classificado como “moderadamente poluído” na maioria dos resultados. Também foram registradas as classes “moderada a fortemente poluído” e “não poluído a moderadamente poluído” nas estações RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba), RD031 (rio Piracicaba, em Timóteo, a montante da ETA Acesita), RD045 (rio Doce, a jusante da cidade de Governador Valadares) e RD053 (rio Doce, a jusante do rio Suaçuí Grande, em Tumiritinga).

Tabela 54 – Igeo para os elementos mercúrio, níquel e zinco.

Amostras	**Hg**			**Ni**			**Zn**		
	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período Seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco
RD001	-0,84	-1,73	-1,70	0,41	2,47	2,40	2,17	2,09	1,80
RD004	-1,40	-1,81	-1,77	1,65	2,30	2,05	1,47	2,15	1,85
RD007	-1,38	-2,08	-2,09	2,22	2,44	2,00	1,75	2,22	1,73
RD009	0,35	-0,98	-0,20	2,12	2,41	2,22	1,79	1,86	1,87
RD013	-0,60	--	-1,25	2,01	2,61	2,50	2,12	2,41	2,28
RD018	-1,51	-1,58	-1,99	2,10	2,46	1,96	2,07	2,86	2,41
RD019	-0,59	-0,87	-1,47	1,89	2,25	2,01	1,46	2,32	1,86
RD021	-0,92	-1,44	-1,80	1,55	2,32	1,35	2,34	2,57	2,05
RD023	-1,33	-1,46	-2,54	1,73	2,26	0,94	1,63	2,32	2,59
RD025	-1,25	-1,47	-2,55	1,57	0,59	--	1,24	1,50	1,23
RD026	-0,61	-1,55	-1,51	0,63	0,92	1,34	3,24	2,25	2,34
RD027	-0,60	-1,07	-1,27	1,14	1,51	1,04	1,70	2,62	2,21
RD029	-0,23	-1,69	-0,72	1,04	1,08	1,78	2,87	2,27	3,19
RD031	-0,86	-1,00	-1,78	1,18	-0,38	-1,63	2,09	2,20	2,11
RD034	0,17	-1,00	-1,52	4,49	1,77	1,76	2,55	2,36	1,81
RD035	-0,62	-1,09	-1,60	2,36	1,91	2,08	2,59	1,94	2,26
RD040	-1,80	-1,83	-1,96	1,38	1,33	1,49	1,34	2,44	3,31
RD045	-1,02	-2,27	-1,59	0,76	0,84	1,81	1,96	1,84	2,31
RD053	-1,29	-2,28	--	0,72	0,10	--	1,70	1,90	--
Background	0,19 µg/g			8 µg/g			15 µg/g		

Valor do Índice	**Classe**	**Qualidade do sedimento**
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderadamente a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Fortemente a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Na Tabela 54, pode-se observar que o sedimento foi classificado, quanto ao elemento mercúrio, como “não poluído” na grande maioria das análises, com exceção apenas das estações RD009 (rio do Carmo, em Monsenhor Horta) e RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano), classificadas como “não poluído a moderadamente poluído”. Em relação ao níquel, a maioria dos sedimentos analisados foi classificada como “moderada a fortemente poluído”, “moderadamente poluído” e “não poluído a moderadamente poluído”. O zinco

classificou o sedimento como “moderada a fortemente poluído” na maioria das estações, com algumas classificadas como “moderadamente poluído” e “fortemente poluído”.

Tabela 55 – Igeo para os elementos alumínio, ferro e manganês.

Amostras	Al			Fe			Mn		
	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período Seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco
RD001	1,09	1,98	0,43	-0,59	-1,81	-1,29	-4,40	-4,55	-6,98
RD004	0,79	2,26	-0,48	-1,52	-1,84	-1,57	-3,98	-4,74	-1,27
RD007	0,64	2,12	1,26	-1,25	-1,72	-1,41	-4,46	-4,33	-7,68
RD009	0,50	0,89	0,29	0,58	0,75	0,75	-0,77	-2,46	-1,37
RD013	1,01	2,04	0,45	-1,02	-1,59	-1,19	-3,73	-4,39	-4,30
RD018	1,19	1,30	0,30	-0,80	-1,49	-1,28	-4,18	-3,88	-4,24
RD019	0,81	1,99*	-0,07	-0,20	-0,23	-1,28	-3,27	-4,63	-4,40
RD021	0,69	2,08	0,36	-1,21	-1,76	-1,47	-4,20	-5,47	-3,49
RD023	0,87	2,07	-0,06	-0,51	-1,43	-0,68	-3,54	-3,54	-6,82
RD025	0,68	-0,29	-0,90	1,06	1,30	1,43	-3,56	-3,85	-4,29
RD026	0,52	0,68	0,01	1,04	1,14	0,23	-2,55	-3,73	-3,79
RD027	1,11	1,83	-0,47	-0,30	-1,69	0,71	-2,71	-3,85	-3,06
RD029	0,67	1,24	0,76	0,47	0,60	0,19	-1,65	-3,91	-5,13
RD031	1,31	1,42	1,39	-0,22	0,47	-0,75	-2,97	-4,56	-7,99
RD034	1,13	2,01	1,39	-0,16	0,47	-0,32	-3,23	-4,56	-6,85
RD035	1,07	1,92	0,15	-0,59	0,00	0,90	-3,37	-3,76	-6,84
RD040	1,66	1,65	-0,44	-1,08	2,76	-1,07	-5,42	-4,02	-3,97
RD045	1,17	1,32	-0,32	-0,34	2,41	-0,56	-3,86	-4,31	-1,04
RD053	0,91		--	-0,89	0,69	--	-4,07	-3,90	--
Background	1800 µg/g			9800 µg/g*			12900 µg/g		

*Valor retirado do trabalho de Turekian et al, 1969

Valor do Índice	Classe	Qualidade do sedimento
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderadamente a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Fortemente a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

De acordo com a Tabela 55, o Igeo apontou, para o elemento alumínio, as classes “não poluído a moderadamente poluído” e “moderadamente poluído” na maioria das estações analisadas. Foram registradas também as classes “moderada a fortemente poluído” e “não poluído”. O ferro classificou o sedimento como “não poluído” na maioria das amostras. Os sedimentos das estações R009 e R029 foram classificados como “não poluído a moderadamente poluído”. Na estação R025, os sedimentos foram classificados como “moderadamente poluído”, enquanto nas estações RD040 e RD045, “moderada a fortemente poluído”, na coleta realizada na estação intermediária. Quanto ao manganês, os sedimentos foram classificados como “não poluído” em todas as amostras.

FE

O FE calculado está apresentado na Tabela 56 e na Tabela 57.

Tabela 56 – FE para os elementos arsênio, cromo, cobre e mercúrio.

Amostras	As			Cr			Cu			Hg		
	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS
RD001	0,00	0,07	0,16	2,96	1,47	2,88	2,91	0,96	2,16	0,26	0,08	0,23
RD004	0,04	0,01	0,06	1,38	0,91	3,73	1,61	0,68	4,15	0,22	0,06	0,41
RD007	0,16	0,04	0,04	2,30	1,28	1,52	2,24	0,76	1,29	0,25	0,05	0,10
RD009	10,19	3,76	8,16	3,10	3,88	4,25	2,22	1,61	2,91	0,90	0,27	0,71
RD013	0,08	0,04	0,04	1,46	1,25	2,41	1,61	1,00	2,56	0,33	0,00	0,31
RD018	--	0,02	0,00	1,59	2,59	2,95	1,61	1,95	2,41	0,15	0,14	0,20
RD019	4,41	0,72	0,91	1,93	1,24	3,24	1,72	1,02	3,57	0,38	0,14	0,38
RD021	0,01	0,01	--	1,90	1,14	2,57	2,12	0,98	2,11	0,33	0,09	0,22
RD023	0,96	0,54	0,80	1,54	1,15	3,46	1,52	0,85	2,11	0,22	0,09	0,18
RD025	0,18	0,78	0,26	2,00	4,55	4,67	1,32	1,86	2,48	0,26	0,44	0,32
RD026	0,73	0,00	0,11	2,29	2,89	3,21	1,82	1,42	2,48	0,45	0,21	0,35
RD027	1,33	0,05	0,25	1,23	0,81	2,95	1,03	0,95	4,14	0,31	0,13	0,58
RD029	0,30	0,16	0,08	1,67	1,70	2,38	1,69	1,04	2,21	0,54	0,13	0,36
RD031	0,10	0,07	0,04	1,62	1,43	0,97	0,85	0,46	0,62	0,22	0,05	0,12
RD034	0,14	0,05	0,02	16,96	1,46	1,94	1,60	0,68	1,08	0,51	0,12	0,13
RD035	0,71	0,08	0,54	3,30	0,95	3,98	1,62	0,83	2,83	0,31	0,12	0,30
RD040	--	0,01	0,03	1,87	0,06	49,44	0,75	0,86	4,67	0,09	0,09	0,35
RD045	0,16	0,67	0,36	1,26	1,23	4,13	0,97	0,77	3,46	0,22	0,08	0,42
RD053	0,12	0,20	--	1,18	1,09	--	0,88	0,98	--	0,22	0,09	--
Back-ground	8,8 µg/g			28 µg/g			8 µg/g			0,19 µg/g		
	Proveniente de Geologia Local; FE <1,5						Proveniente de outras fontes; FE >1,5					
PC	Período Chuvoso											
PI	Período Intermediário											
PS	Período Seco											

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Tal fator classificou as amostras quanto ao arsênio como "proveniente da geologia local" na maioria das amostras, com exceção apenas das estações RD009 e RD019, classificadas como "proveniente de outras fontes". A estação RD019 obteve essa classificação apenas no período chuvoso.

O elemento cromo foi classificado como "proveniente de outras fontes" em 36 amostras e "proveniente da geologia local" em 20 amostras. As estações RD009, RD018, RD025, RD026 e RD029 foram classificadas como "proveniente de outras fontes" em todas as coletas.

O cobre foi classificado como "proveniente de outras fontes" em 31 amostras e "proveniente da geologia local" em 25 amostras. As estações RD009 e RD018 foram classificadas como "proveniente de outras fontes" em todas as coletas.

O elemento mercúrio foi classificado como "proveniente da geologia local" em todas as amostras analisadas.

Como pode ser observado na Tabela 57, o elemento manganês foi classificado como "proveniente da geologia local" em todas as amostras analisadas e o níquel, "proveniente de outras fontes" em 29 amostras e "proveniente da geologia local" em 26 amostras. Já o ferro foi

classificado como “proveniente de outras fontes” em apenas três amostras, no período seco, nas estações RD025, RD027 e RD035. O zinco, por sua vez, foi classificado como “proveniente de outras fontes” em 42 amostras e como “proveniente da geologia local” em apenas 14 amostras.

Tabela 57 – FE para os elementos manganês, níquel, ferro e zinco.

Amostras	Mn			Ni			Fe			Zn		
	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS
RD001	0,02	0,01	0,01	0,61	1,41	3,92	0,31	0,01	0,30	2,11	1,08	2,60
RD004	0,04	0,01	0,58	1,81	1,03	5,76	0,20	0,01	0,47	1,60	0,93	5,03
RD007	0,03	0,01	0,00	2,99	1,25	1,67	0,27	0,01	0,16	2,16	1,07	1,39
RD009	0,41	0,10	0,32	3,07	2,87	3,83	1,06	0,09	1,38	2,44	1,95	3,00
RD013	0,04	0,01	0,04	2,00	1,48	4,14	0,24	0,01	0,32	2,16	1,29	3,57
RD018	0,02	0,03	0,04	1,89	2,23	3,16	0,25	0,01	0,33	1,84	2,95	4,31
RD019	0,06	0,01	0,05	2,11	1,20	4,22	0,50	0,02	0,43	1,57	1,25	3,82
RD021	0,03	0,01	0,07	1,81	1,18	1,99	0,27	0,01	0,28	3,14	1,41	3,23
RD023	0,05	0,02	0,01	1,82	1,14	2,01	0,38	0,01	0,65	1,70	1,19	6,28
RD025	0,05	0,08	0,10	1,85	1,84	--	1,30	0,30	5,05	1,47	3,46	4,40
RD026	0,12	0,05	0,07	1,08	1,18	2,51	1,43	0,14	1,17	6,57	2,96	5,01
RD027	0,07	0,02	0,17	1,02	0,80	2,85	0,38	0,01	2,26	1,51	1,72	6,41
RD029	0,20	0,03	0,02	1,29	0,90	2,03	0,87	0,06	0,67	4,59	2,04	5,38
RD031	0,05	0,02	0,00	0,92	0,29	0,13	0,35	0,05	0,24	1,71	1,72	1,73
RD034	0,05	0,02	0,00	10,26	0,85	1,29	0,41	0,02	0,31	2,69	1,27	1,34
RD035	0,05	0,02	0,01	2,44	0,99	3,81	0,32	0,17	1,68	2,86	1,01	4,32
RD040	0,01	0,02	0,09	0,82	0,81	3,82	0,15	0,14	0,65	0,80	1,74	13,50
RD045	0,03	0,03	0,61	0,75	0,72	4,38	0,35	0,05	0,85	1,73	1,44	6,18
RD053	0,03	0,03	--	0,88	0,48	--	0,29	0,04	--	1,73	1,68	--
Back-ground*	12900 µg/g			8 µg/g			9800 µg/g*			15 µg/g		
	Proveniente de Geologia Local; FE <1,5						Proveniente de outras fontes; FE >1,5					

*Valor retirado do trabalho de Turekian et al, 1969

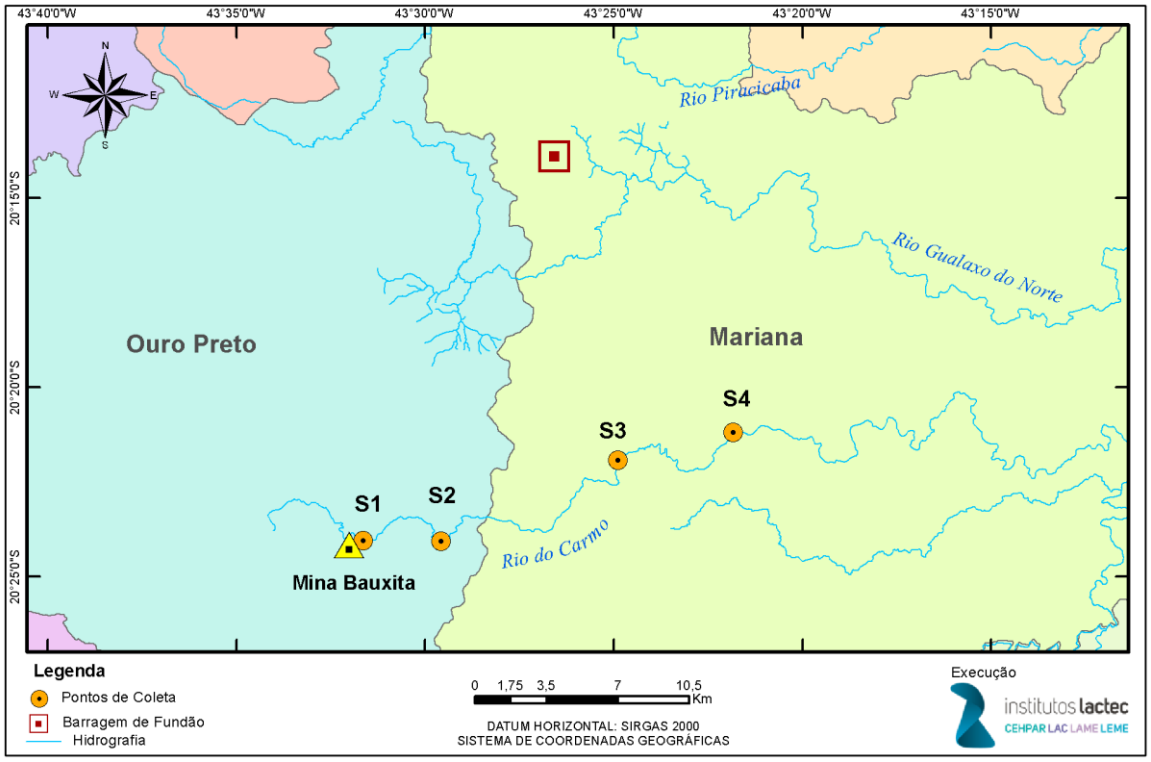
PC	Período Chuvoso
PI	Período Intermediário
PS	Período Seco

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

3.6.4.10 Resultados de Varejão et al. (2011)

Varejão et al. (2011) estudaram o trecho do rio do Carmo entre Ouro Preto e Mariana. Esse rio é formado pela união dos ribeirões Tripui e Funil, no município de Ouro Preto, e tem sido afetado por diversas atividades de mineração de ouro (por exemplo, Mina da Passagem de Mariana, Chico Rei, Sciliar, Quartzjtk e Lajes). De acordo com os autores, estima-se que somente a Mina da Passagem, localizada 7 km a leste de Ouro Preto, produziu pelo menos 60 toneladas de ouro entre o fim do século XVIII e 1954. No estudo, foram realizadas amostragens em quatro pontos no rio do Carmo. A localização dos pontos amostrais está apresentada na Figura 179.

Figura 179 – Localização dos pontos amostrais de Varejão et al. (2011).



Fonte: Varejão et al. (2011).

Os resultados das análises de metais em sedimentos obtidos pelos autores estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58 – Resultados das análises de metais em sedimentos.

Pontos	Elemento	Amostras		
		1	2	3
S1	As	0,19	0,07	0,02
	Cd	1,12	1,97	<LD
	Cr	0,97	2,18	4,15
	Cu	1,89	5,11	<LD
	Ni	<LD	2,96	<LD
	Pb	1,96	7,29	2,53
	Zn	2,94	4,42	1,76
S2	**Elemento**	**1**	**2**	**3**
	As	0,20	0,44	0,32
	Cd	1,24	2,25	<LD
	Cr	<LD	2,09	3,65
	Cu	2,07	5,18	1,82
	Ni	<LD	4,01	4,44
	Pb	4,46	8,73	2,60
	Zn	4,64	7,14	3,71
S3	**Elemento**	**1**	**2**	**3**
	As	0,34	2,65	40,35
	Cd	1,32	2,21	<LD
	Cr	1,04	2,88	5,90
	Cu	1,08	4,61	<LD
	Ni	<LD	2,50	2,65
	Pb	3,13	8,65	3,46
	Zn	3,10	5,34	1,55
S4	**Elemento**	**1**	**2**	**3**
	As	0,52	3,94	40,71
	Cd	1,67	2,39	<LD
	Cr	<LD	2,78	4,68
	Cu	<LD	0,14	<LD
	Ni	<LD	<LD	<LD
	Pb	3,78	4,93	4,35
	Zn	1,79	3,13	1,21
Acima do Nível 1				
Acima do Nível 2				

<LD = Inferior ao Limite de Detecção

Fonte: Adaptado de Varejão et al. (2011).

Apenas o elemento arsênio apresentou resultados acima do nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012, nos pontos amostrais S3 e S4. O elemento cádmio revelou resultados acima do nível 1, também estabelecido pela mesma resolução, em todos os pontos amostrais.

3.6.4.11 Distribuição espacial dos dados dos autores

Conforme citado na subseção 3.6.3.1, para melhor entendimento dos dados levantados pelos autores supracitados, foi realizada uma análise de distribuição espacial da frequência de cada elemento. Os resultados da análise estatística descritiva feita com os dados dos autores e utilizada para a elaboração da distribuição espacial encontram-se no **Apêndice M** e os gráficos de dispersão, no **Apêndice N**. Da Figura 180 à Figura 186, estão apresentadas imagens que contêm as informações citadas.

Como pode ser observado na Figura 180, o elemento arsênio revelou a maior frequência de valores acima do nível 2 no trecho 3 (no rio Doce, entre a confluência do rio do Carmo com o rio Gualaxo do Norte, em Barra Longa, e a barragem da UHE Candonga), com 100% dos resultados. Os trechos 1 e 2 apresentaram porcentagens acima de 69% de frequência de resultados acima do nível 2, havendo tendência de diminuição da concentração desse elemento ao longo da área estudada.

O elemento cádmio apresentou maior frequência de valores acima do nível 2 no trecho 2, no rio do Carmo. No trecho 1, houve predominância de resultados abaixo do nível 1 e, nos demais trechos, dominaram os resultados acima do nível 1.

O chumbo e o zinco tiveram predominância de resultados abaixo do nível 1 em todos os trechos analisados. O cobre também apresentou predominância de resultados abaixo do nível 1 na maioria dos trechos, com exceção dos trechos 2 e 5.

O cromo revelou maior frequência de valores acima do nível 2 nos trechos 4 (68,75%), 5 (95,24%) e 6 (54,55%). Nos demais trechos, a predominância variou entre abaixo e acima do nível 1.

O elemento mercúrio apresentou predominância de valores acima do nível 1 nos trechos 1 e 2. Apenas no trecho 1, foram observados valores acima do nível 2, porém com baixa frequência (4,35% dos dados). Nos demais trechos, predominaram os valores abaixo do nível 1.

Valores acima do nível 2 observados para o elemento níquel foram predominantes nos trechos 2, 3, 5 e 6. Em geral, nos demais trechos, foram verificados valores acima do nível 1 como predominantes.

Figura 180 – Distribuição dos resultados de arsênio por trecho.

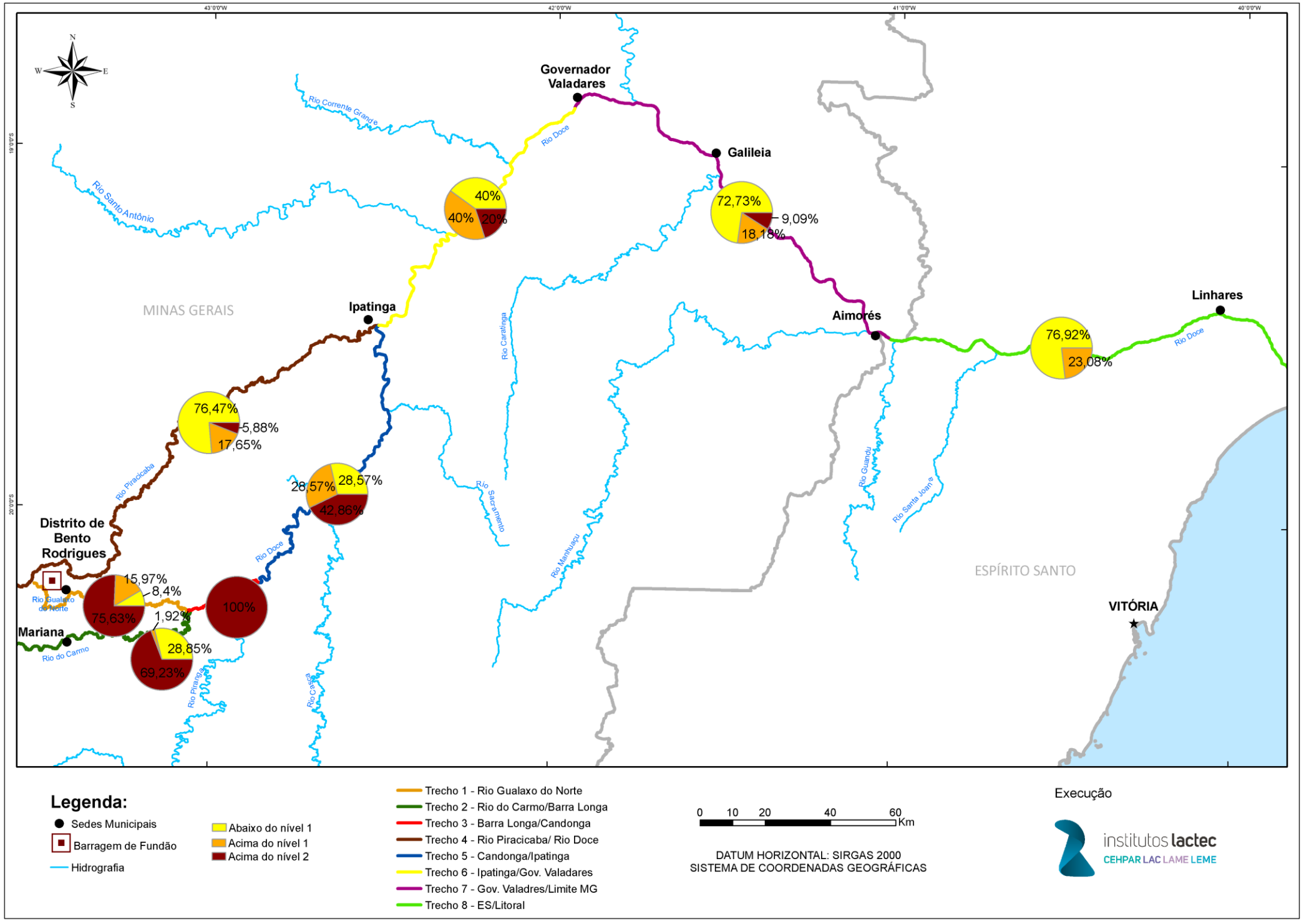


Figura 181 – Distribuição dos resultados de cádmio por trecho.

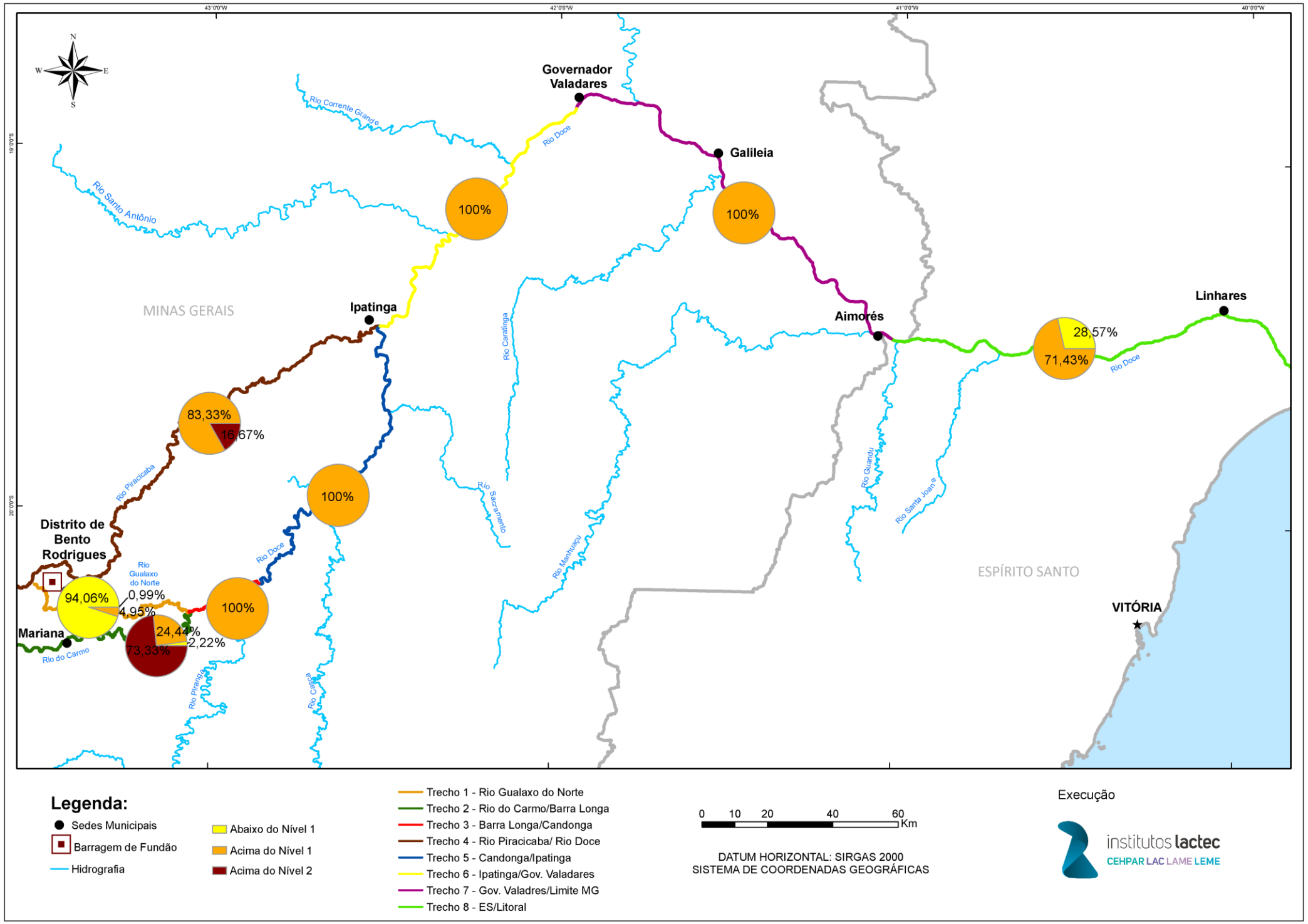


Figura 182 – Distribuição dos resultados de chumbo por trecho.

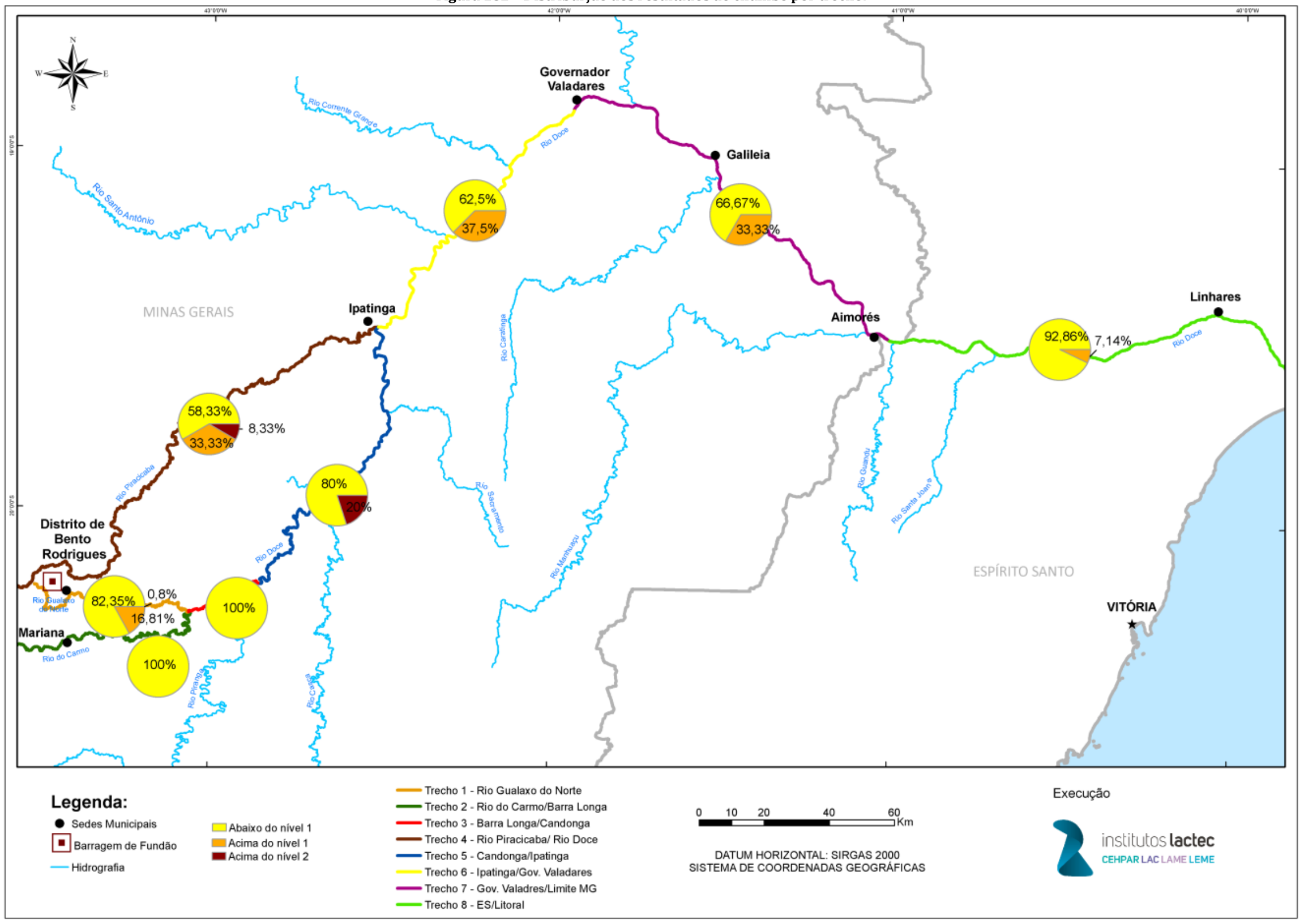


Figura 183 – Distribuição dos resultados de cobre por trecho.

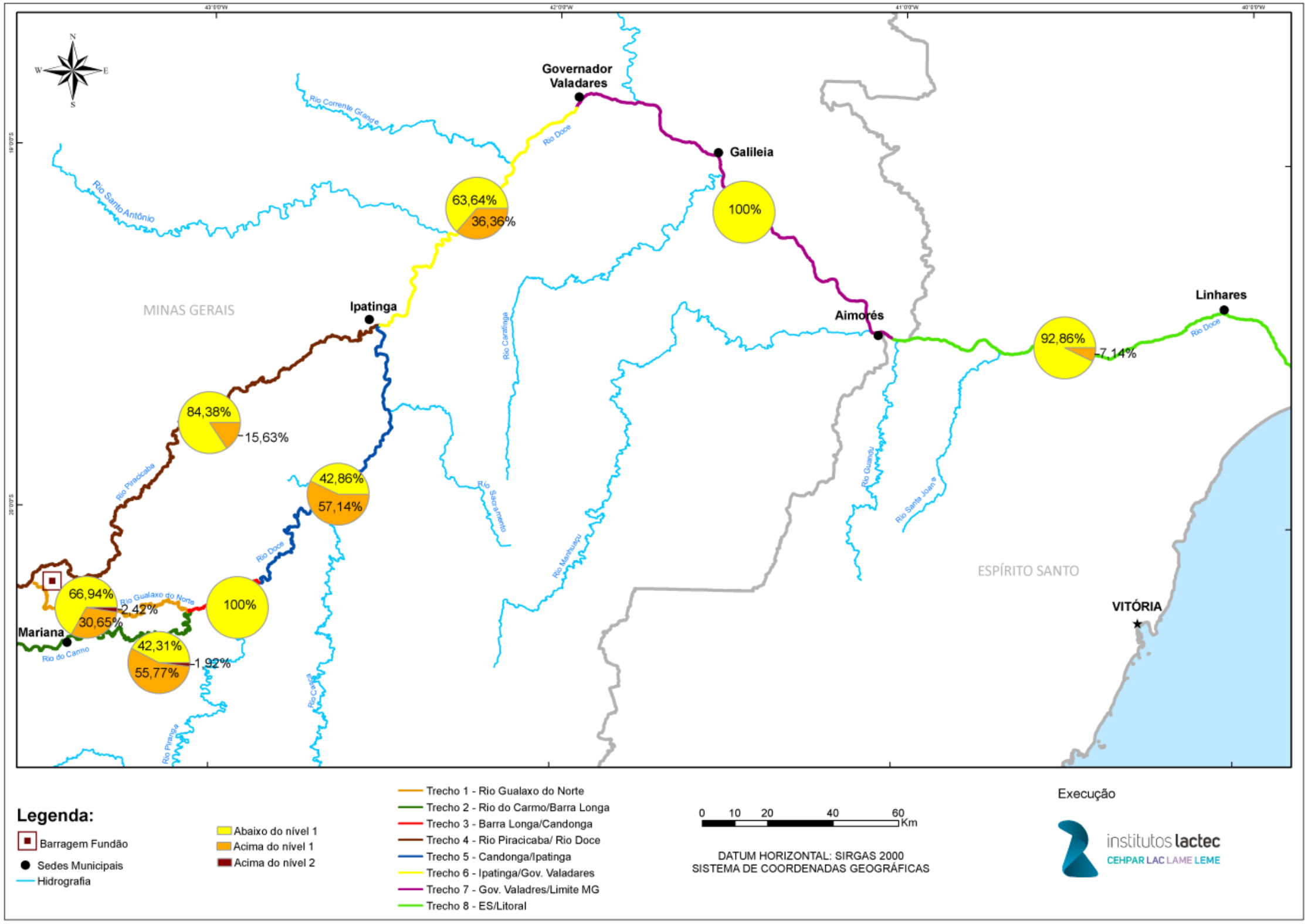


Figura 184 – Distribuição dos resultados de cromo por trecho.

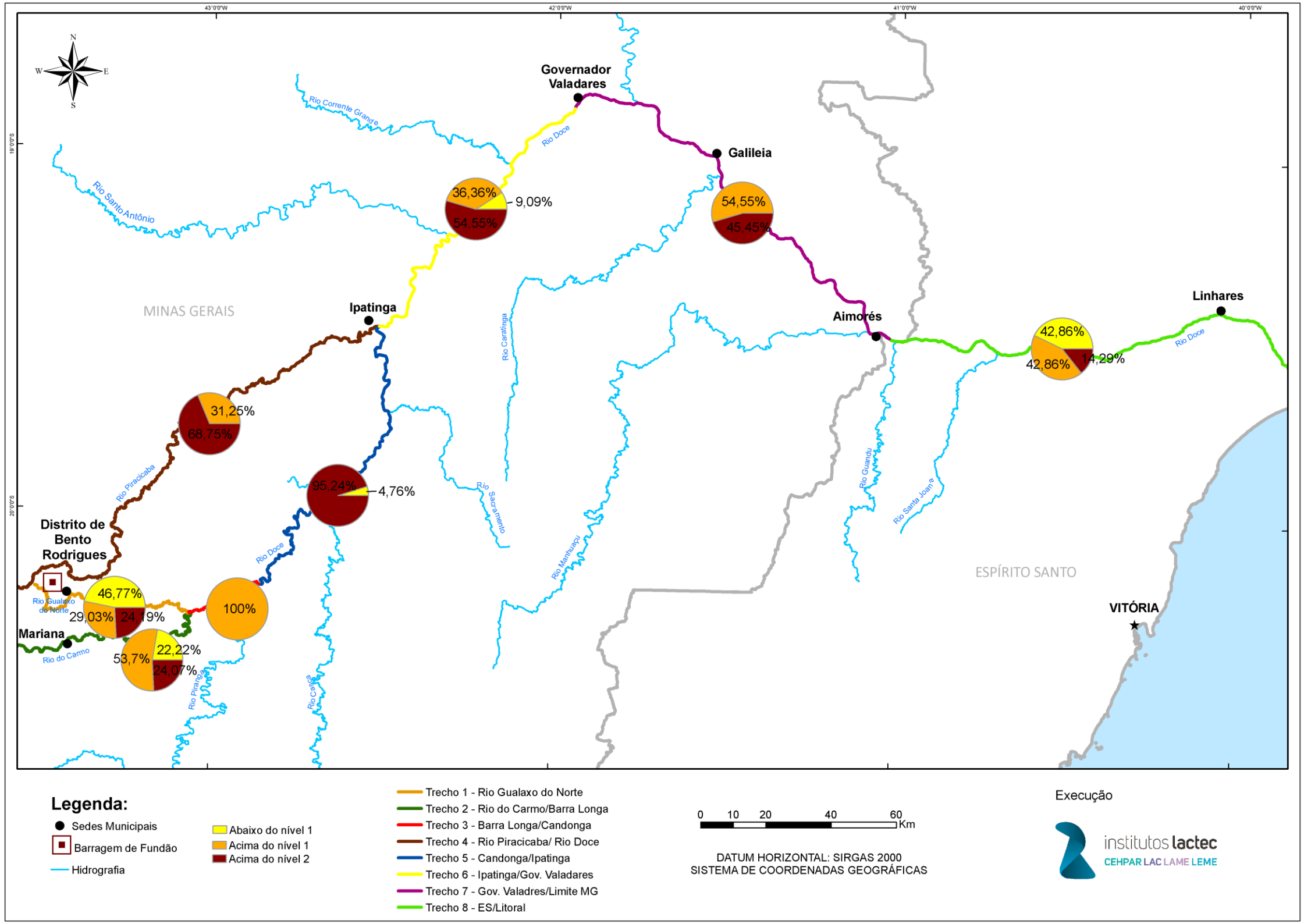


Figura 185 – Distribuição dos resultados de mercúrio por trecho.

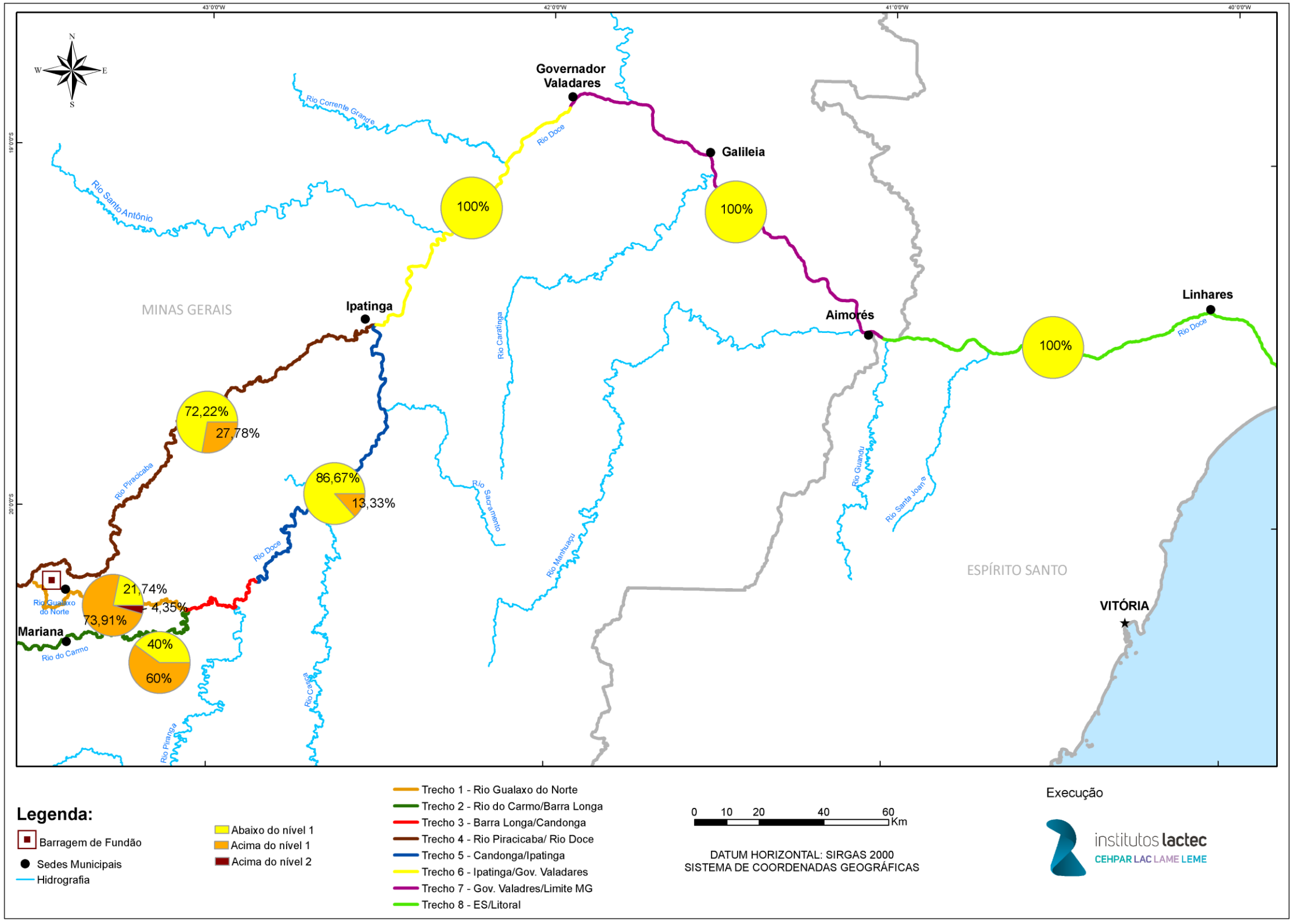
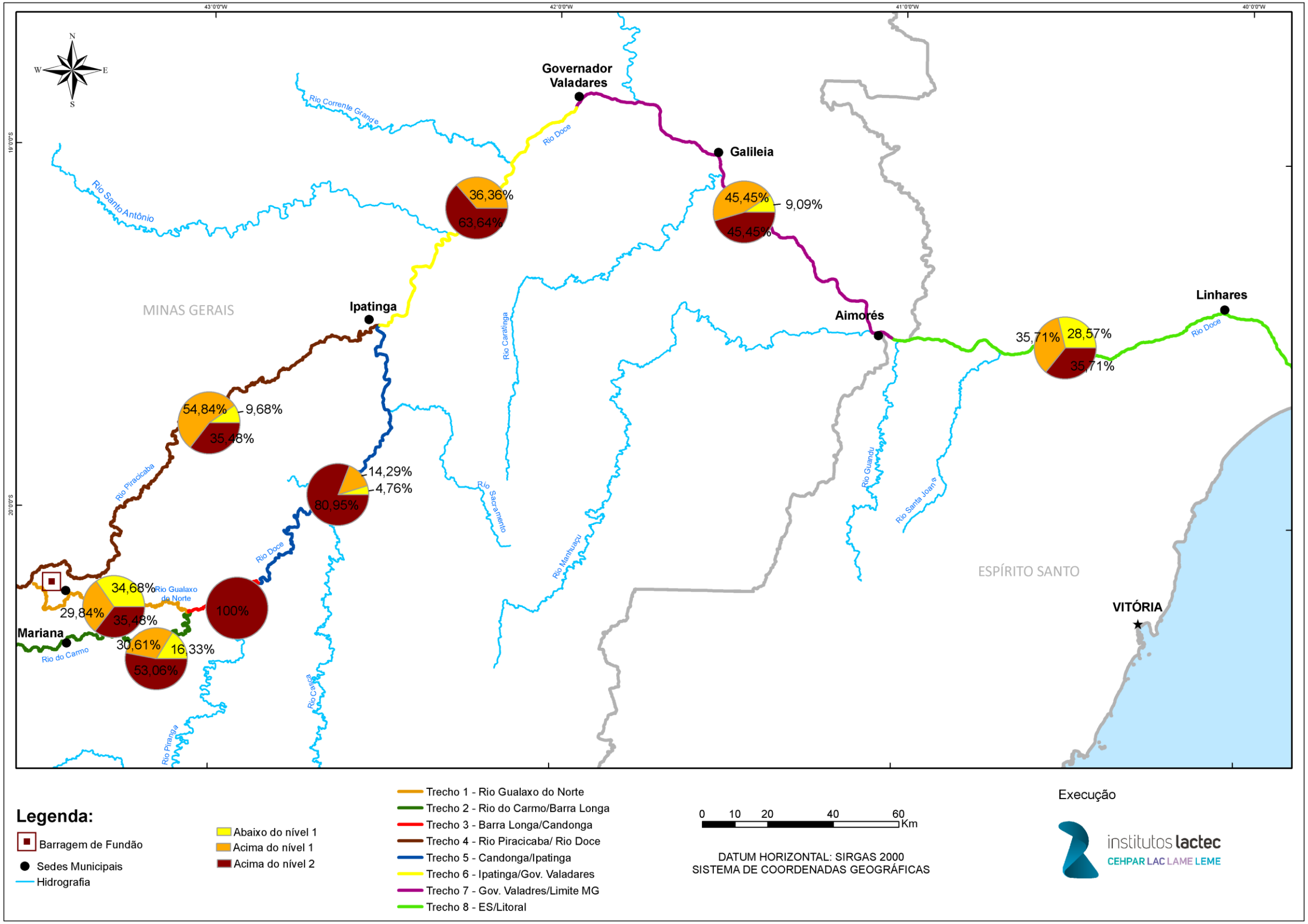


Figura 186 – Distribuição dos resultados de níquel por trecho.



Conforme mencionado na subseção 3.6.3.1, os elementos alumínio, ferro e manganês não apresentam limites ou níveis definidos na Resolução CONAMA nº 454/2012. Assim, para sua avaliação, foram criados intervalos de porcentagem para cada um, de acordo com os resultados obtidos. Esses intervalos foram definidos pela avaliação da dispersão dos dados e consoante a amplitude de cada variável, independentemente do trecho. Os resultados estão apresentados na Figura 187 a. Para esses três elementos, não foram encontrados dados para o trecho 8 (do limite do estado de Minas Gerais até a foz do rio Doce).

Os valores de alumínio e ferro apresentados na Figura 187 e na Figura 188 representam a porcentagem desses elementos em 1 kg de massa seca de amostra. Os valores mais elevados foram observados nos trechos 5, 6 e 7. Nos demais, predominaram concentrações de até 5% desse metal nas amostras.

O ferro apresentou concentrações mais elevadas no trecho 1, com predominância da fração com aproximadamente 39% de ferro na composição da amostra. Os trechos 2 e 4 também revelaram concentrações mais elevadas do elemento nas amostras.

Quanto ao manganês, este foi avaliado conforme sua concentração em mg/kg. A primeira classe de concentração (até 1.000 mg/kg) foi definida a partir do valor máximo encontrado em solos na bacia do rio Doce, de acordo com dados da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM apud SOUZA et al., 2015). As maiores concentrações foram observadas nos trechos 2 e 7; além disso, sua concentração foi superior a 1.000 mg/kg na maioria das amostras analisadas.

Figura 187 – Distribuição dos resultados de alumínio por trecho.

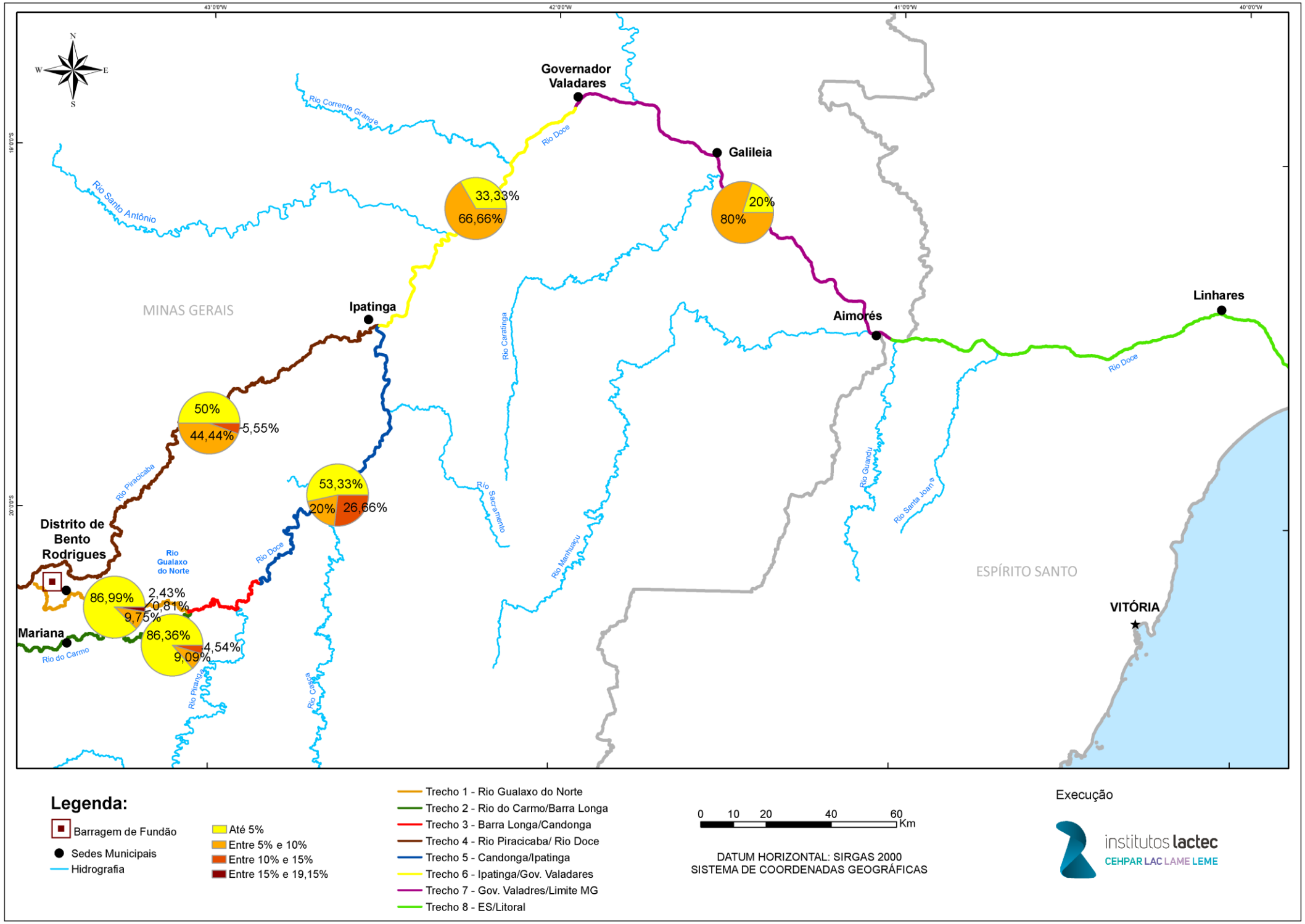


Figura 188 – Distribuição dos resultados de ferro por trecho.

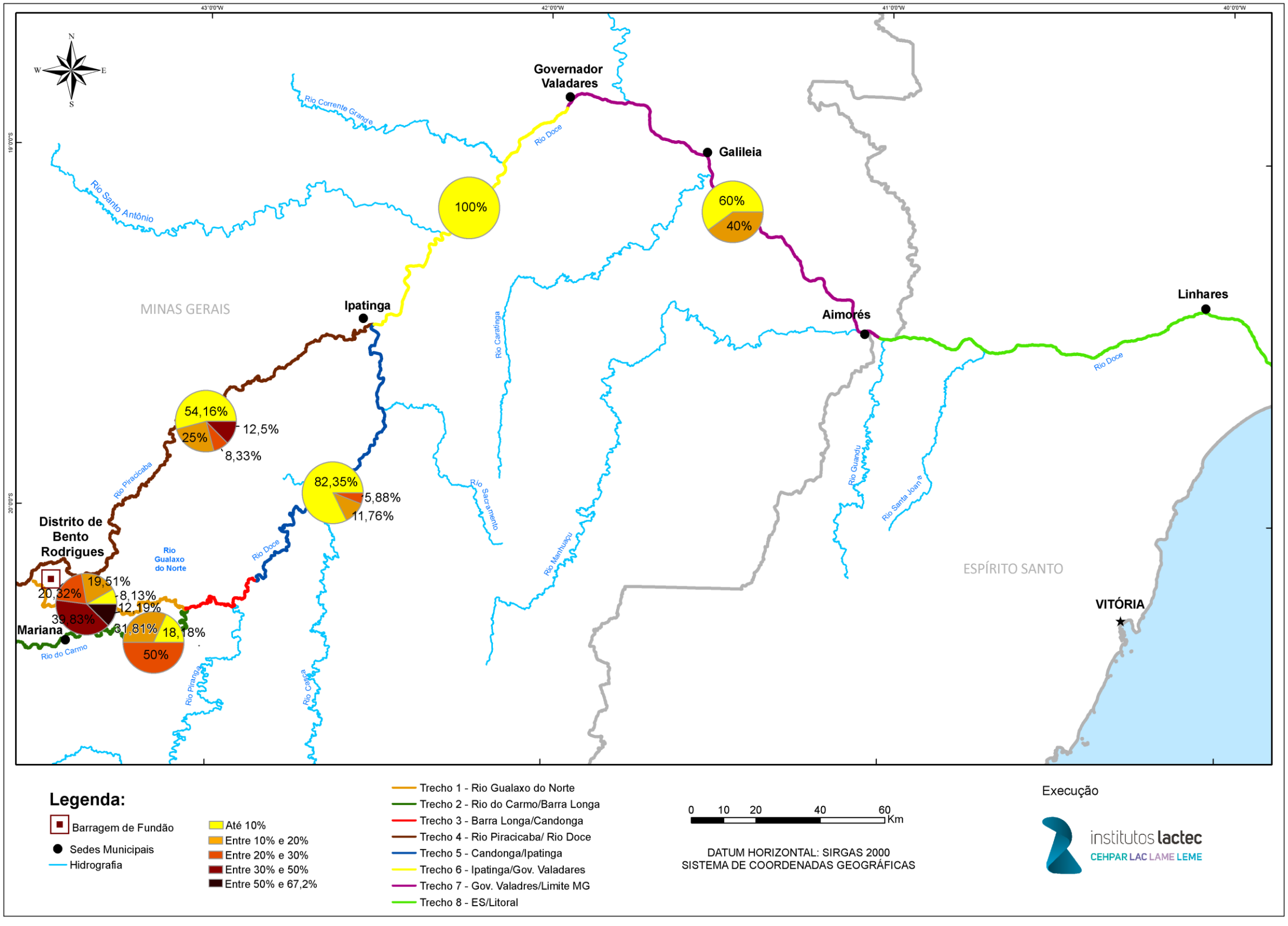
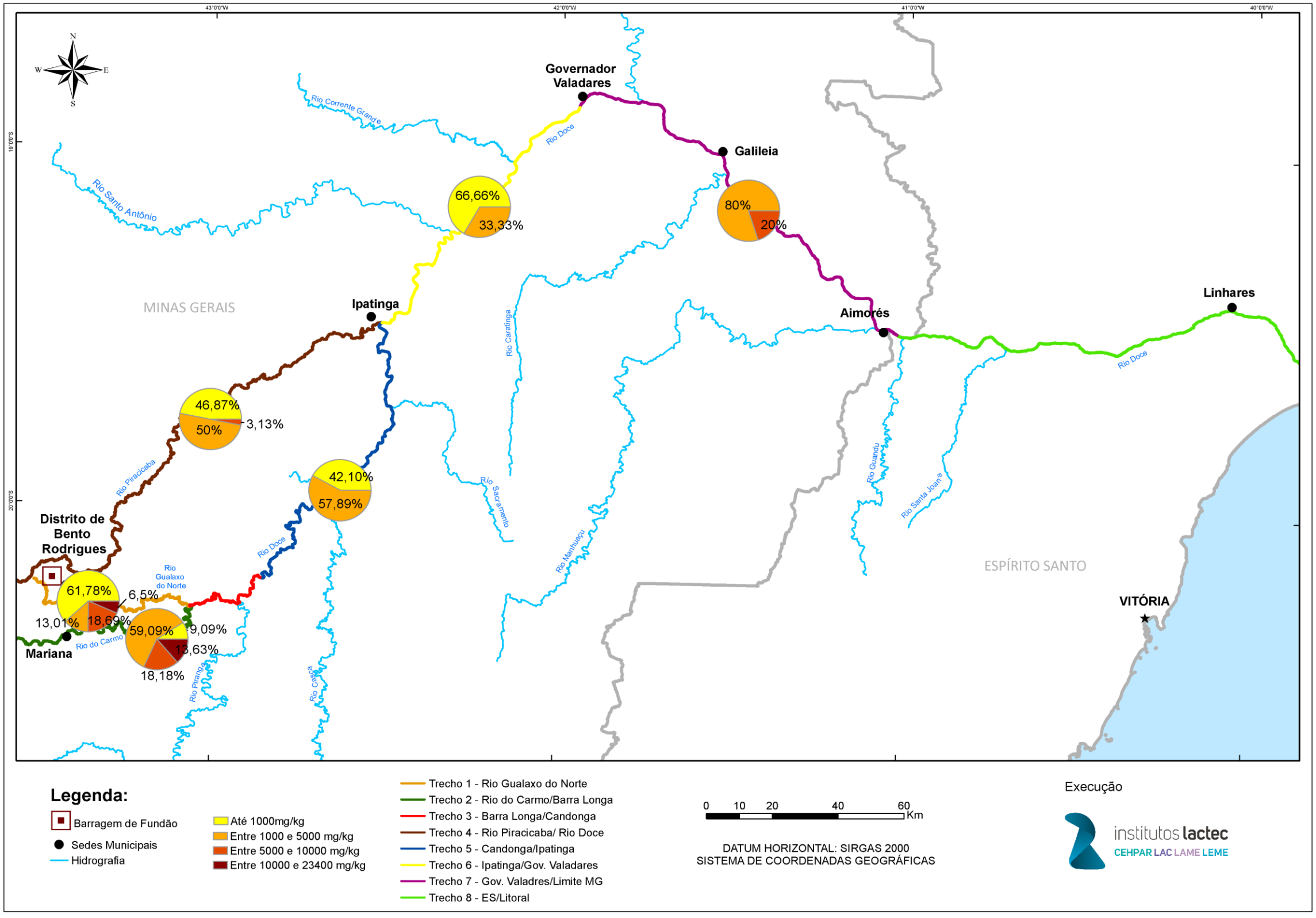


Figura 189 – Distribuição dos resultados de manganês por trecho.



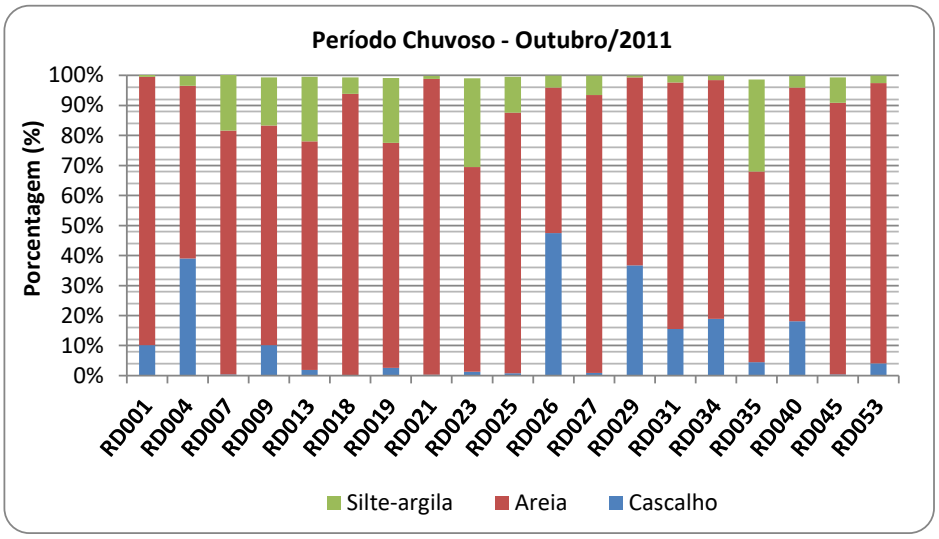
3.6.4.12 Análise granulométrica

A análise das dimensões das partículas é fundamental em estudo sedimentológico com enfoque ambiental. Entre as publicações dos autores analisados, apenas os trabalhos de Jordão et al. (1996), Santolin (2015) e Pacheco (2015) continham dados possíveis de ser analisados, os quais serão apresentados separadamente e, em seguida, espacialmente por trecho. Para a análise espacial, foi possível utilizar apenas os trabalhos de Jordão et al. (1996) e Pacheco (2015).

Dados granulométricos de Santolin (2015)

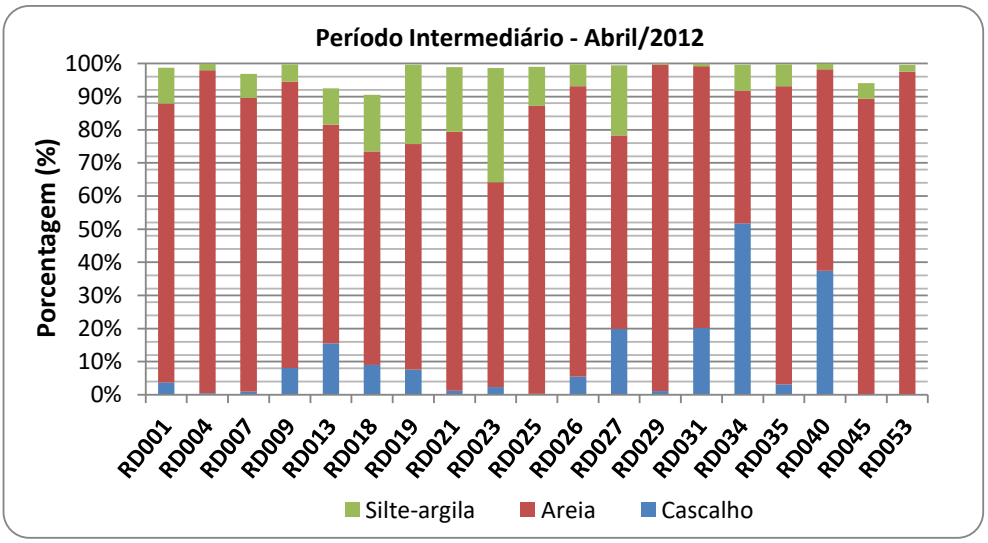
A Figura 190, a Figura 191 e a Figura 192 apresentam os resultados de granulometria apresentados por Santolin (2015), de acordo com os quais se pode observar que a maior parte dos sedimentos era formada por areia, com algumas variações sazonais.

Figura 190 – Granulometria obtida nas amostras no período seco.



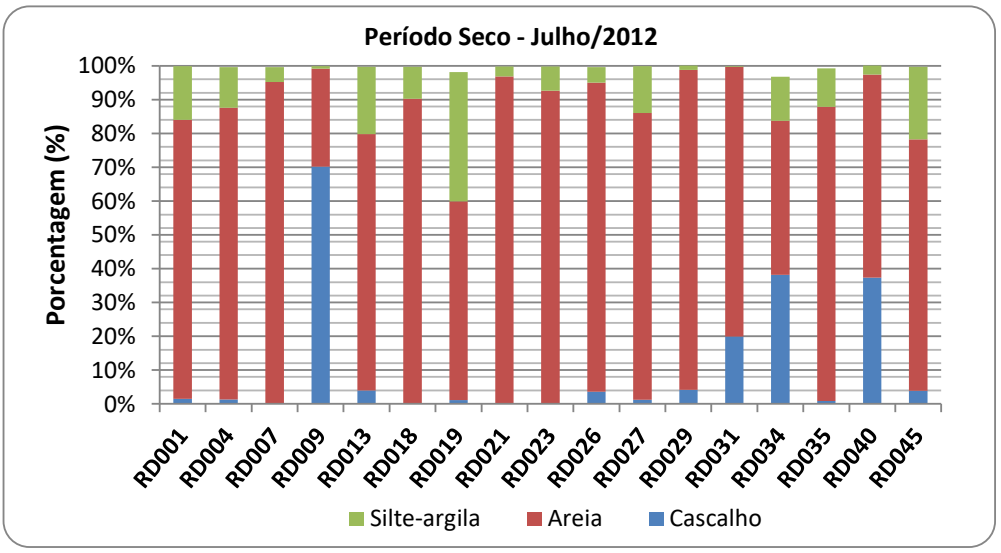
Fonte: Santolin (2015).

Figura 191 – Granulometria obtida nas amostras no período intermediário.



Fonte: Santolin (2015).

Figura 192 – Granulometria obtida nas amostras no período seco.



Fonte: Santolin (2015).

Dados granulométricos de Jordão et al. (1996)

A Tabela 59 apresenta os dados de granulometria das amostras analisadas por Jordão et al. (1996), nos períodos chuvoso e seco. Como pode ser observado, a grande maioria das amostras apresentou a fração de areia como predominante. Vale ressaltar que os pontos amostrais estão localizados no rio Piracicaba.

Tabela 59 – Dados granulométricos das amostras.

Distribuição (%) - Fevereiro (Chuvoso)				Distribuição (%) - Julho (Seco)			
Pontos	**Areia**	**Silte**	**Argila**	**Pontos**	**Areia**	**Silte**	**Argila**
1	51	47	2	1	84	15	1
2	84	15	1	2	91	8,5	0,5
2a	91	8	1	-	-	-	-
3	86	13	1	3	97	2,5	0,5
4	98	1	1	4	39	42	19
5	61	36	3	5	86	11	3
6	56	30	14	6	38	52	10
7	87	12	1	-	-	-	-
8	30	63	7	8	59	40	1
9	89	10	1	9	58	40	2

Fonte: Jordão et al. (1996).

Dados granulométricos de Pacheco (2015)

Os resultados de granulometria das amostras analisadas por Pacheco (2015) foram agrupados por ponto amostral, estando as médias dos valores apresentadas na Tabela 60, em que fica evidenciada a predominância da fração de areia em todos os pontos amostrais.

Tabela 60 – Dados granulométricos das amostras.

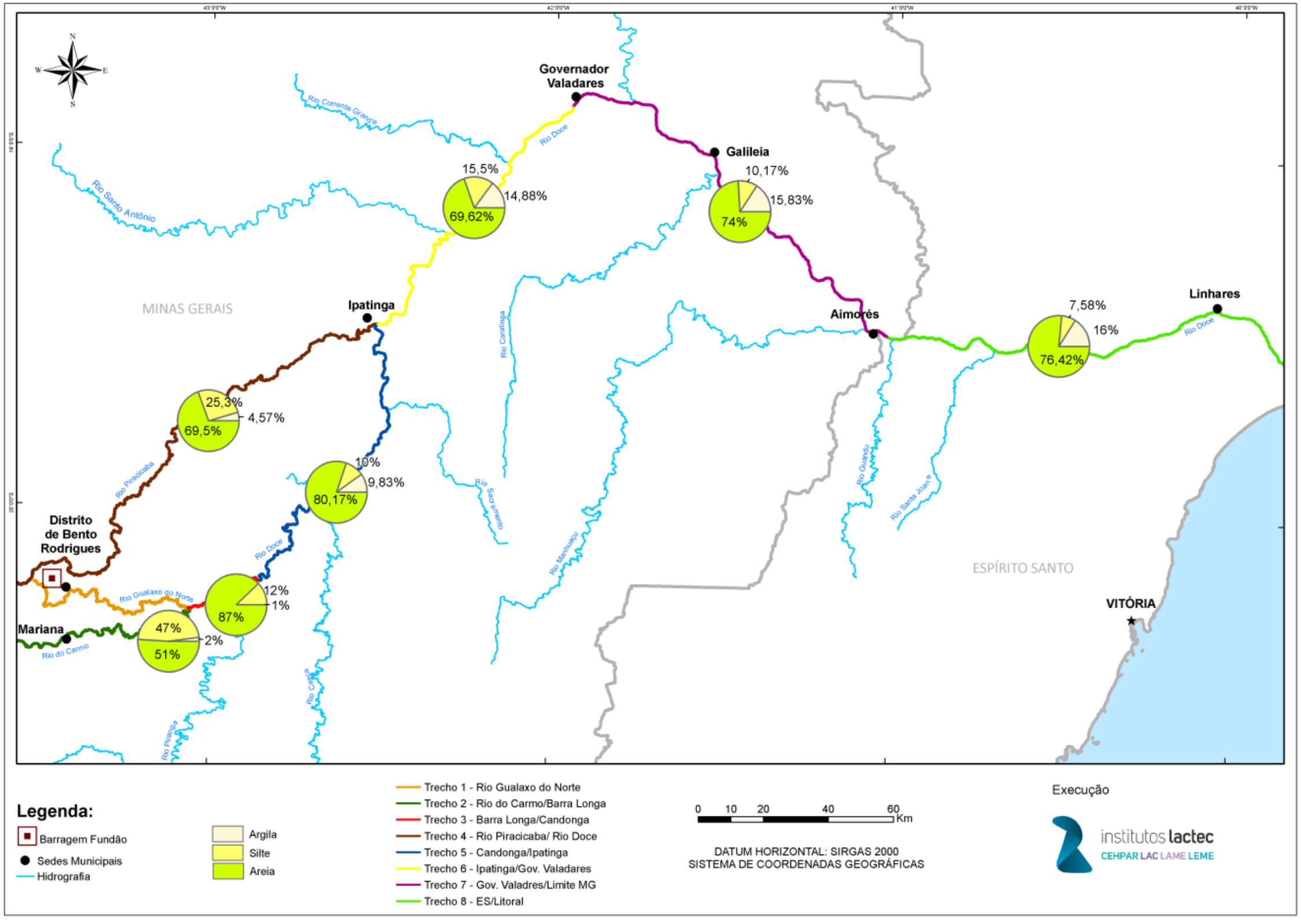
	Areia	**Silte**	**Argila**
S1	87%	4%	9%
S2	94%	4%	2%
S3	87%	7%	6%
S4	60%	20%	20%
S5	59%	21%	20%
S6	77%	12%	12%
S7	72%	12%	16%
S8	74%	11%	15%
S9	86%	8%	6%
S10	65%	12%	23%
S11	85%	3%	13%
S12	76%	7%	17%

Fonte: Pacheco (2015).

Distribuição espacial dos dados granulométricos

A distribuição espacial dos dados de granulometria está apresentada na Figura 193. Conforme pode ser observado, a fração de areia é predominante na grande maioria dos trechos analisados. No trecho 1, não foram encontrados dados passíveis de ser analisados, pela falta de dados brutos. No trecho 2, a fração de silte foi bastante significativa (47%). Durante a vistoria de campo, foi possível verificar, de forma visual e superficial, que, em geral, o tamanho das partículas do solo era menor nas regiões dos rios Gualaxo do Norte, Carmo, Piracicaba e Doce, até o município de Ipatinga. À medida que o rio avança para leste, o tamanho das partículas do solo tende a aumentar e apresentar característica de areia mais grosseira.

Figura 193 – Distribuição espacial dos dados granulométricos.



3.6.4.13 Macroinvertebrados limníticos

A busca resultou em 82 artigos científicos na base de dados da Web of Science, 28 na Scopus e 15 na SciELO, tendo sido um total de 31 artigos selecionado para análise na íntegra (CARVALHO, 1980; MACHADO, 1980; ROCHA et al., 1990; MARCO JR, 1999; MARQUES; FERREIRA; BARBOSA, 1999; MARQUES; BARBOSA; CALLISTO, 1999; CALLISTO; GOULART, 2000; ALEXANDER; FREITAS; QUATE, 2001; BARBOSA; CALLISTO; GALDEAN, 2001; CALLISTO; MORENO; BARNOSA, 2001; MARQUES; BARBOSA, 2001; COTA et al., 2002; FERREIRA-PERUQUETTI; MARCO JR, 2002; MAYRINK et al., 2002; ALENCAR et al., 2004; CALLISTO et al., 2004; GOULART; CALLISTO, 2005; MARCO JR; LATINI; RESENDE, 2005; MORETTI; CALLISTO, 2005; MORETTI; LOYOLA, 2005; VIDIGAL et al., 2005; COSTA; OLIVEIRA; CALLISTO, 2006; FRANÇA; CALLISTO, 2007; NATAL et al., 2007; GIACOMINI; MARCO JR, 2008; RAMOS, 2008; VASCONCELOS; ESPÍRITO-SANTO; BARBOSA, 2009; LIGEIRO et al., 2010; MARQUES et al., 2011; BEZERRA-NETO et al., 2012; MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016).

Outros 16 trabalhos foram selecionados para análise integral como resultado da busca, no Google Acadêmico, por teses e dissertações, trabalhos de monitoramento e citações nos outros trabalhos analisados (BARBOSA et al., 1997; GALDEAN et al., 1999; CALLISTO; MARQUES; BARBOSA, 2000; GALDEAN; CALLISTO; BARBOSA, 2000; BARBOSA; MARTINS, 2001; CALLISTO; MAYRINK; MORETTI, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2002; MARQUES, 2004; RIETZLER; LOBATO; GUIMARÃES, 2004; BARBOSA; MARTINS, 2006; MARQUES, 2006; SOUZA, 2007; DRUMMOND et al., 2009; CALLISTO; GONÇALVES; LIGEIRO, 2016; RODRIGUES; BUENO, 2016). Além desses, diversos outros trabalhos foram analisados, incluindo relatórios de estudo para licenciamento de empreendimentos na área de interesse (como EIA/RIMA), porém não foram selecionados para análise por não conterem dados relevantes para a formação da linha-base.

Levantamento de taxa

Segundo Drummond et al. (2009), existe registro de 122 táxons de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce, de acordo com dados de projetos desenvolvidos em Minas Gerais. Foram encontrados 325 táxons na compilação de dados de estudos anteriores para a definição da linha-base, considerando os diferentes níveis taxonômicos de identificação utilizados nos trabalhos analisados (incluindo estudos que permitiram que as larvas se desenvolvessem em laboratório para identificação do adulto).

Os estudos analisados apresentam em sua maioria dados da parte média da bacia do rio Doce com coletas em sub-bacias do rio Doce. De maneira geral, os trabalhos apresentam maior riqueza de insetos, cerca de 80% (BARBOSA et al., 1997; MAYRINK et al., 2002; CALLISTO et al., 2004; LIGEIRO et al., 2010), como o esperado. Com grande distribuição de Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) na maior parte dos estudos (BARBOSA et al., 1997; MAYRINK et al., 2002; LIGEIRO et al., 2010), os grupos que apresentaram maiores densidades em diferentes estudos foram Chironomidae (Diptera) e Oligochaeta (Annelida), Baetidae (Ephemeroptera), Simuliidae (Diptera) e Leptophlebiidae (Ephemeroptera) (BARBOSA et al.,

1997; MAYRINK et al., 2002; CALLISTO et al., 2004 LIGEIRO et al., 2010). A lista com todos os táxons encontrados no levantamento bibliográfico encontra-se no **Apêndice O**.

Entre os táxons registrados na região ocorrem duas espécies invasoras o caracol asiático ou caramujo-trombeta *Melanoides tuberculata* e bivalve *Corbicula*. Os bivalves exóticos invasores do gênero *Corbicula* são originais da Ásia, introduzidos no Brasil provavelmente através de água de lastro de navios (DARRIGRAN; PASTORINO, 1993), existem registros da espécie nas Américas, África e Europa (ARAUJO; MORENO; RAMOS, 1993). O primeiro registro na América do Sul ocorreu na década de 70 (ITUARTE, 1981), desde então vem aumentando sua distribuição geográfica ocupando todas as bacias hidrográficas do continente (SANTOS et al., 2012). As espécies desse gênero competem com os moluscos bentônicos nativos das famílias Mycetopodidae e Hyriidae levando a diminuição das populações nativas, a densidade do invasor se tornam em poucos anos bem maior que as dos moluscos nativos, alterando o ambiente através da maior filtragem de partículas em suspensão e deposição no sedimento, redução de densidade de fitoplâncton e acúmulo de conchas (SANTOS et al., 2012). Assim como demais moluscos filtradores *Corbicula* podem atuar como bioacumuladores de metais pesados, podendo causar risco a saúde humana ao serem consumidos por peixes que venham a ser posteriormente consumidos pelo homem (SANTOS et al., 2012).

O caracol asiático (*M. tuberculata*) é pertence à família Thiaridae, essa espécie invasora encontra-se amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo. O primeiro registro da espécie no Brasil ocorreu em Santos em 1967 (VAZ et al., 1986), introduzida de forma acidental provavelmente através do comércio aquarista (VAZ et al., 1986). Na bacia do rio Doce, existe registro da espécie no Parque Estadual do Rio Doce, primeiro registro em 1999 na lagoa Dom Helvécio (MARCO JR, 1999). A espécie pode ser hospedeira intermediário de trematódeos que trazem risco a saúde humana como *Paragonimus westermani*, *Clonorchis sinensis*, *Centrocestus formosanus*, *Haplorchis pumilio* e *Philophthalmus gralli*. No Brasil existe registro de duas espécies de trematódeos infectando o caracol asiático (*M. tuberculata*) *Centrocestus formosanus* e *Philophthalmus gralli* ambas com registro no estado de Minas Gerais na represa da Pampulha, Belo Horizonte (PINTO; MELO, 2010a, 2010b).

Além do caracol asiático (*M. tuberculata*), os moluscos do gênero *Biomphalaria*, com registro na região de estudo (MARQUES; FERREIRA; BARBOSA, 1999; VIDIGAL et al. 2005), também podem trazer risco a saúde humana. Os moluscos *Biomphalaria* podem ser hospedeiros intermediários do trematódeo *Schistosoma mansoni* responsável por causar a esquistossomose, a doença é considerada endêmica nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (PORTAL DA SAÚDE, 2017). Embora a propagação da esquistossomose esteja relacionada à falta de saneamento básico, a presença dos moluscos como hospedeiro intermediário é essencial para a propagação da doença.

A família Culicidae (Diptera) apresenta gêneros e espécies de mosquitos que atuam como vetores de doenças, como *Aedes aegypti* (vetor da dengue, Chikungunya e Zika), *Anopheles* (vetor da malária) e espécies dos gêneros *Haemagogus* e *Sabethes (*vetores da febre amarela). As larvas de *Haemagogus* e *Sabethes*, entretanto, não são encontradas em corpos hídricos, não fazendo parte, portanto, da fauna de macroinvertebrados bentônicos. A maior parte dos trabalhos realizados na região identificou as larvas de Culicidae apenas em nível de família;

Natal et al. (2007) confirmaram a presença de espécie de *Anopheles* (vetor da malária) no vale do rio Doce, estado do Espírito Santo.

Entre os estudos analisados, alguns tiveram pelo menos um ponto de coleta no corpo principal do rio Doce (BARBOSA et al., 1997; CALLISTO; MAYRINK; MORETTI, 2001; MARQUES; BARBOSA, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2002; MAYRINK et al., 2002; MORETTI; CALLISTO, 2005; BARBOSA; MARTINS, 2006; SOUZA, 2007), os táxons presentes nesses pontos estão na Tabela 61. Os Chironomidae (Diptera), Gomphidae (Odonata) e Oligochaeta (Annelida) estiveram presentes na maior parte dos estudos nos diferentes períodos amostrados, assim como Bivalvia e o Gastropoda*:* Thiaridae. Elmidae (Coleoptera), Ceratopogonidae (Diptera) e Baetidae (Ephemeroptera) também foram comuns. Chironomidae (Diptera) e Oligochaeta (Annelida) destacaram-se por apresentar grandes densidades em alguns estudos assim como os moluscos invasores Corbiculidae (Bivalvia) e *Melanoides tuberculata* (Gastropoda: Thiaridae), entre outros.

Tabela 61 – Lista de táxons coletados no corpo principal do rio Doce.

Insecta	Linmichidae	Pyralidae
Diptera	Noteridae	**Annelida**
Ceratopogonidae	**Thichoptera**	**Hirudinea**
Chironomidae	Brachycentridae	**Oligochaeta**
Tanypodinae	Glossosomatidae	**Mollusca**
Culicidae	Helichopsychidae	**Bivalvia**
Psychodidae	Hydropsychidae	Corbiculidae
Stratiomyidae	Hydroptilidae	*Corbicula fluminea*
Tipulidae	Leptoceridae	Sphaeriidae
Odonata	**Ephemeroptera**	**Gastropoda**
Calopterygidae	Baetidae	Ampullariidae
Hetaerina sp.	Caenidae	Ancylidae
Coenagrionidae	Ephemeridae	Hydrobiidae
Corduliidae	Leptohyphidae	Lymnaeidae
Gomphidae	Leptophlebiidae	Physidae
Aphylla theodorina	Polymitarcyidae	*Physa* sp.
Progomphus sp.	**Heteroptera**	Planorbidae
Lestidae	Belostomatidae	Thiaridae
Libellulidae	Corixidae	*Melanoides tuberculata*
Protoneuridae	Naucoridae	**Araneae**
Coleoptera	*Limnocoris sp*.	**Hydracarina**
Dryopidae	Nepidae	**Crustacea**
Dytiscidae	Notonectidae	**Decapoda**
Elmidae	Veliidae	**Platyhelminthes**
Hydrophilidae	**Lepidoptera**	**Turbellaria**

Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (1997), Callisto, Mayrink e Moretti (2001), Barbosa e Martins (2002) e Moretti e Callisto (2005), Souza (2007).

Compilação de dados dos principais estudos

Entre os estudos sobre macroinvertebrados aquáticos realizados na bacia do rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão, alguns se destacam. Barbosa et al. (1997) realizaram estudo em 20 pontos amostrais (sendo seis no corpo principal do rio Doce), entre os anos de 1993 e 1995, apresentaram e testaram o índice biológico de qualidade de água, utilizando os macroinvertebrados bentônicos; como resultado, verificaram que o índice

retratou de forma razoavelmente acurada as condições da bacia. No mesmo estudo encontraram 84 táxons de macroinvertebrados bentônicos, sendo 70 de Insecta (83,33%), nove de Mollusca e cinco de outros grupos (**Apêndice O**). Os grupos com ampla distribuição na área de estudo foram os insetos Chironomidae (Diptera), Hydrophilidae (Coleoptera) e Gomphidae (Odonata), os anelídeos Oligochaeta e Hirudinea e os moluscos Physidae e Sphaeriidae; um total de 19 famílias de insetos apresentou distribuição mais restrita. As famílias Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Physidae (Mollusca) revelaram maior número de indivíduos na maioria dos pontos de coleta; a alta densidade dos grupos foi relacionada pelos autores a ambientes poluídos por matéria orgânica.

A região do médio rio Doce faz parte do Programa Ecológico de Longa Duração (PELD), em que foi estudada a diversidade aquática por período prolongado, inclusive, os macroinvertebrados bentônicos. Coletas semestrais destes foram realizadas em sete sub-bacias em ambientes lóticos (córrego Caraça, rio Santa Bárbara, rio Piracicaba, rio Peixe, córrego Severo, rio Ipanema e rio Doce) e quatro lagoas (Dom Helvécio, Amarela, Carioca e Águas Claras); entre os pontos amostrais, um se encontrava no corpo principal do rio Doce (CALLISTO; MAYRINK; MORETTI, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2002; MAYRINK et al., 2002; BARBOSA; MARTINS, 2006).

Dentro do PELD, Mayrink et al. (2002) estudaram a diversidade de macroinvertebrados nas 67 estações de amostragem. Os autores encontraram 28 táxons, sendo 23 de Insecta (82,13%), dois de Annelida e três de outros grupos. Os grupos com ampla distribuição na área de estudo foram os insetos Chironomidae (Diptera), Elmidae (Coleoptera), Baetidae (Ephemeroptera) e Annelida, representados por Oligochaeta e Hirudinea. As maiores densidades encontradas foram de Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Simuliidae (Diptera). Os autores relataram diminuição de densidade e diversidade de organismos, em comparação ao estudo realizado por Barbosa et al. (1997), bem como relacionaram a baixa diversidade à baixa qualidade de água e ao substrato arenoso com muita matéria orgânica de origem antropogênica. Os táxons citados pelos autores no artigo estão listados no **Apêndice O**.

Marques e Barbosa (2001) avaliaram a qualidade da água utilizando os macroinvertebrados bentônicos no médio rio Doce, seguindo parâmetros empregados em regiões temperadas. Entre os 14 pontos amostrados, seis estavam no leito principal do rio Doce. Encontraram 58 famílias de Insecta (85% do total de taxa), oito de Mollusca e duas de Annelida. Os grupos Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Physa (Mollusca) foram considerados dominantes em regiões mais impactadas. Os autores consideraram os parâmetros utilizados em regiões temperadas úteis também para regiões tropicais, classificando a qualidade da água em baixa, alta e intermediária.

Moretti e Callisto (2005) utilizaram a comunidade de macroinvertebrados bentônicos no biomonitoramento da bacia do médio rio Doce, entre 2000 e 2001, avaliando sete ecossistemas lóticos (com um ponto no rio Doce) e quatro lagoas. Encontraram 49 táxons nos ambientes lóticos e 31 nas lagoas (**Apêndice O**). Oligochaeta (Annelida) e Chironomidae (Diptera) foram os grupos mais abundantes. Concluíram que a utilização dos macroinvertebrados como bioindicadores de qualidade da água foi satisfatória.

A utilização dos macroinvertebrados como bioindicadores de qualidade do ambiente aquático em ambiente lótico na bacia do rio Doce também foi realizada aplicando o índice BMWP no alto e médio rio Doce, com melhores resultados em estações de amostragem dentro

do parque nacional da serra do Cipó, enquanto as estações fora do dele apresentam resultados compatíveis com bacias fortemente impactadas (COTA et al., 2002). Barbosa, Callisto e Galdean (2001) amostraram alguns pontos pertencentes à bacia do rio Doce na serra do Cipó, com o objetivo de avaliar a diversidade de macroinvertebrados bentônicos e utilizá-lo como bioindicador. Concluíram que ela pode ser empregada para avaliar a qualidade da água e do ecossistema, pela composição taxonômica da comunidade, função trófica e grupos predominantes. Galdean, Callisto e Barbosa (2000) analisaram os macroinvertebrados na serra do Cipó, com o objetivo de classificar os pontos de acordo com a alteração causada por atividades antrópicas. Entre os pontos analisados, alguns pertenciam à bacia do rio Doce. A Estação de Pesquisa e Desenvolvimento Ambiental de Peti (EPDAP) foi estudada por Rodrigues e Bueno (2016), que avaliaram o impacto da mineração de ferro na diversidade de macroinvertebrabos bentônicos nos córregos Brucutu e Frederico e na junção dos dois, em outubro de 2010. Verificaram redução da diversidade nos córregos afetados, com presença apenas de grupos resistentes à perturbação ambiental (como *Chirinomus*).

Em ambiente o biomonitoramento foi realizado utilizando a composição e a distribuição de macroinvertebrados bentônicos em cinco lagoas do complexo lacustre do médio rio Doce, com objetivo de avaliar a saúde ambiental destas entre dezembro de 2007 e janeiro de 2009 (MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016). Aplicaram três índices (*Biological Monitoring Working Party* – BMWP, *Average Score Per Taxon* – ASPT e Índice Biótico de Família – IBF) e as lagoas analisadas encontravam-se fortemente impactadas (MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016). Marques, Ferreira e Barbosa (1999) estudaram os macroinvertebrados em duas lagoas com diferentes estados de conservação (lagoa da Barra e Carioca), em julho de 1996. A riqueza e número de organismos foram maiores na lagoa com melhor estado de conservação (33 táxons na melhor preservada e 14 na lagoa mais degradada) (**Apêndice O**). Chironomidae (Diptera) foi o táxon com maior densidade nas duas lagoas.

A distribuição e abundância de Chironomidae (Diptera) ao longo do médio rio Doce também foram usadas como bioindicadores (MARQUES; BARBOSA; CALLISTO, 1999), assim como a deformidade em *mentum* de *Chironomus* (CALLISTO; MARQUES; BARBOSA, 2000). Foi encontrada menor riqueza de gêneros de Chironomidae e dominância de *Chironomus* nos pontos com pior qualidade ambiental. *Chironomus*, seguido de *Cricotopus*, foi o gênero mais frequente e abundante; o grupo Tanypodinae foi considerado mais sensível a alterações ambientais (MARQUES; BARBOSA; CALLISTO, 1999). Um total de 3% dos *Chironomus* analisados apresentou deformidade no *mentum* (CALLISTO; MARQUES; BARBOSA, 2000).

As lagoas do sistema lacustre do médio rio Doce em Minas Gerais também foram alvo de outros estudos de macroinvertebrados aquáticos. Ramos (2008) analisou a composição taxonômica e a densidade da comunidade bentônica em 18 lagoas e avaliou a ocorrência de *Melanoides tuberculata* (coletas realizadas em março de 2004 e junho de 2005). O autor encontrou 52 táxons na estação chuvosa e 75 na estação seca, com maior riqueza de Chironomidae (21 táxons na estação chuvosa e 25 na seca) e Oligochaeta (15 classes na estação chuvosa e 21 na seca). A espécie exótica *M. tuberculata* foi a mais abundante na maior parte das lagoas. Os Chironomidae foram os organismos mais abundantes em seis lagoas e, em pelo menos um dos períodos de coleta, em outras seis lagoas. Marques (2006) apresentou riqueza e quantidade de macroinvertebrados bentônicos coletados em cinco lagoas, em 2004

e 2005. Marques et al. (2011) estudaram a riqueza, abundância e composição da fauna de insetos em três lagoas (Dom Helvécio, Carioca e Gambazinho), entre 2000 e 2006, tendo encontrado 31 famílias de insetos, com dominância de larvas de Chironomidae (Diptera) (correspondendo a 71% dos insetos coletados). Marco Jr (1999) registrou a presença do molusco exótico *M. tuberculata* na lagoa Dom Helvécio e Vasconcelos, Espírito Santo e Barbosa (2009) estudaram o efeito da profundidade da lagoa para a espécie.

Outros estudos sobre a fauna aquática de macroinvertebrados foram realizados em trechos da bacia do rio Doce localizados na serra do Cipó. Callisto et al. (2004), por sua vez, analisaram a diversidade dos macroinvertebrados bentônicos em gradiente longitudinal, com pontos de coleta na sub-bacia do rio Indaiá (rios de primeira a quarta ordem) e na sub-bacia do rio Peixe (rios de quinta e sexta ordem). Encontraram 60 táxons de macroinvertebrados, sendo 50 de Insecta (83,33%), com grupos dominantes de raspadores e coletores – Chironomidae (Diptera) e Baetidae (Ephemeroptera) – e, em alguns pontos, no período chuvoso, de filtradores – Simuliidae (Diptera) e Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Os táxons encontrados pelos autores estão listados no **Apêndice O**. Callisto, Moreno e Barbosa (2001) estudaram a diversidade de *habitats* e os grupos funcionais de macroinvertebrados na serra do Cipó, tendo entre os pontos amostrados alguns pertencentes à bacia do rio Doce. O grupo dos coletores foi o mais abundante, seguido dos coletores-predadores e detritívoros-herbívoros; a maior riqueza de grupos tróficos funcionais foi encontrada em ambientes com maior diversidade de *habitat* (vegetação ripária junto a macrófitas). Os autores concluíram que os grupos tróficos funcionais, junto à avaliação de *habitat*, podem ser utilizados para analisar a diversidade de macrofauna bentônica em ecossistemas lóticos de altitude.

Callisto, Gonçalves e Ligeiro (2016) incluíram a diversidade de macroinvertebrados bentônicos em estudo nas pradarias rupestres das montanhas Espinhaço, nascentes da bacia do rio Doce e São Francisco, sintetizando 20 anos de pesquisa na região. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera e Diptera foram os grupos dominantes na fauna de macroinvertebrados bentônicos da região, havendo também a presença de Crustacea, Bivalvia e Oligochaeta em menor densidade em alguns locais.

Já Costa, Oliveira e Callisto (2006) inventariaram os macroinvertebrados no reservatório da EPDAP, entre os anos de 2002 e 2004, tendo encontrado 16 táxons de macroinvertebrados: 13 de Insecta (81,25%), um de Annelida e três de Mollusca (**Apêndice O**). Chaoboridae (Diptera) foi o grupo com maior densidade, seguido de Chironomidae (Diptera), Bivalvia e Oligochaeta (Annelida). A baixa riqueza encontrada foi considerada esperada, por se tratar de um reservatório.

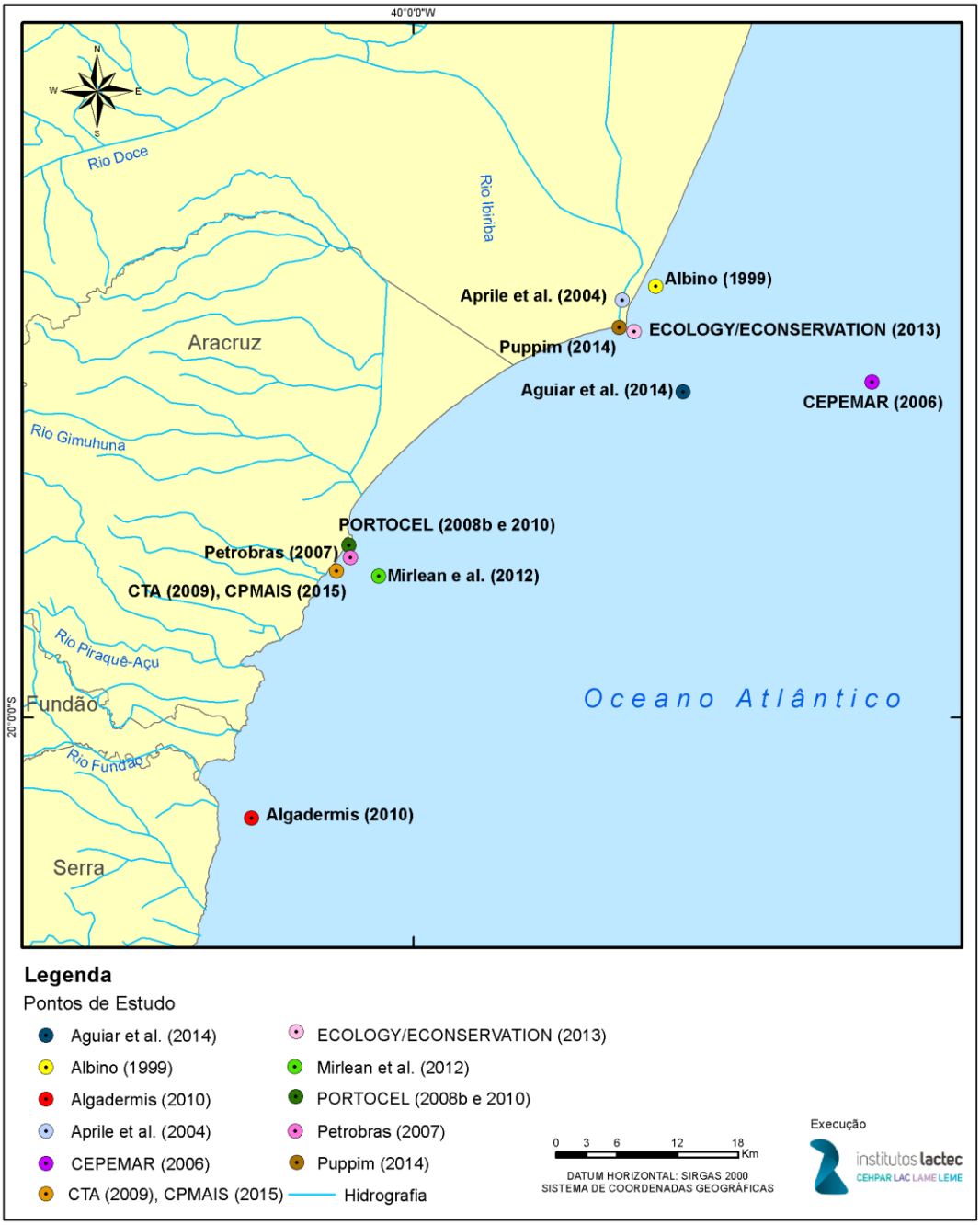
Outros estudos concentraram-se em grupos específicos que fazem parte dos macroinvertebrados aquáticos límnicos, como Odonata (FERREIRA-PERUQUETTI; MARCO JR, 2002; MARCO JR; LATINI; RESENDE, 2005; GIACOMINI; MARCO JR, 2008), Ephemeroptera (GOULART; CALLISTO, 2005), gastrópodes e bivalves límnicos (VIDIGAL et al., 2005), *Nanocladius* (Chironomidae: Diptera) e *Thraulodes* (Leptophlebiidae: Ephemeroptera) (CALLISTO; GOULART, 2000), Culicidae (Diptera) (NATAL et al., 2007), *Chaoboru* (Diptera) (BEZERRA-NETO et al., 2012), *Barypenthus concolor* (Trichoptera) (MORETTI; LOYOLA, 2005) e *Mesostoma* (Turbellaria) (ROCHA et al., 1999).

3.6.4.14 Resultados das áreas estuarina e costeira

Nesta subseção, serão apresentados os resultados dos estudos consultados das áreas estuarina e costeira. Da mesma forma que para os sedimentos fluviais, os dados levantados para sedimentos costeiros foram obtidos de estudos de universidades e estudos necessários ao licenciamento de empreendimentos, como estudos de impacto ambiental. Foram selecionados aqueles que apresentavam a base de dados necessária para o diagnóstico mais completa e com a localização mais próxima às regiões estuarina e costeira adjacentes à foz do rio Doce. Apresentam-se os resultados dos seguintes estudos: Albino (1999), Aprile et al. (2004), CTA (2009), Portocel e Cepemar (2008), Algadermis (2010), Cepemar (2010), Portocel (2010), Mirlean et al. (2012), Ecology Brasil e Econservation (2013), Aguiar et al. (2014) e CP+ (2015).

A Figura 194 apresenta a localização dos locais de amostragem dos estudos selecionados.

Figura 194 Localização dos locais de amostragem dos estudos selecionados.



Os resultados dos estudos serão apresentados a seguir, separadamente, uma vez que não utilizaram os mesmos locais de amostragem e também por não terem realizado as mesmas análises. Da mesma forma que para os estudos de sedimentos fluviais, os resultados dos sedimentos das áreas estuarinas e costeiras também serão comparados com a Resolução CONAMA nº 454/2012, que estabelece valores de nível 1 e nível 2 para os sedimentos de águas salinas e salobras, que apresentam valores dos níveis diferentes do que para os sedimentos fluviais.

Características geológicas das áreas estuarina e costeira

As características da área influenciam diretamente a qualidade dos sedimentos, sendo a caracterização geológica da área costeira muito importante para a compreensão dos tipos de sedimento encontrados nessa região. Quanto à caracterização geológica da região costeira do Espírito Santo, Algadermis (2010) cita os tabuleiros, as falésias e os terraços de abrasão da Formação Barreiras. O autor designa essa formação como sedimentos de origem continental, pouco consolidados, que estão dispostos em estreita faixa ao longo da área costeira, desde o estado do Rio de Janeiro até o Pará, invadindo, ainda, o vale do Amazonas. Sobre a antepraia e a plataforma continental interna, encontram-se os terraços ferruginosos de abrasão marinha. A Figura 195 apresenta uma foto do litoral de Praia Grande, ao norte do empreendimento da Algadermis.

No estado do Espírito Santo, os depósitos estão presentes ao longo de toda a faixa litorânea, com largura decrescendo rumo ao sul (AMADOR, 1982 apud ALGADERMIS, 2010). No extremo norte, próximo à divisa com a Bahia, a largura atinge aproximadamente 80 km e, nas proximidades de Vitória, cerca de 13 km. Na porção ao sul, entre Vitória e Itapemirim, os depósitos alternam-se com os costões rochosos em forma de falésias inativas e vivas, isto é, com erosão atual pelas ondas incidentes e terraços de abrasão marinha laterizados. Nas proximidades da Bahia, essa alternância pode ser verificada. Os depósitos da Formação Barreiras são representados pela Ponta do Tubarão e pelos terraços de abrasão presentes na praia, antepraia e baía do Espírito Santo.

Figura 195 – Litoral de Praia Grande, ao norte do empreendimento da Algadermis.



Fonte: Algadermis (2010).

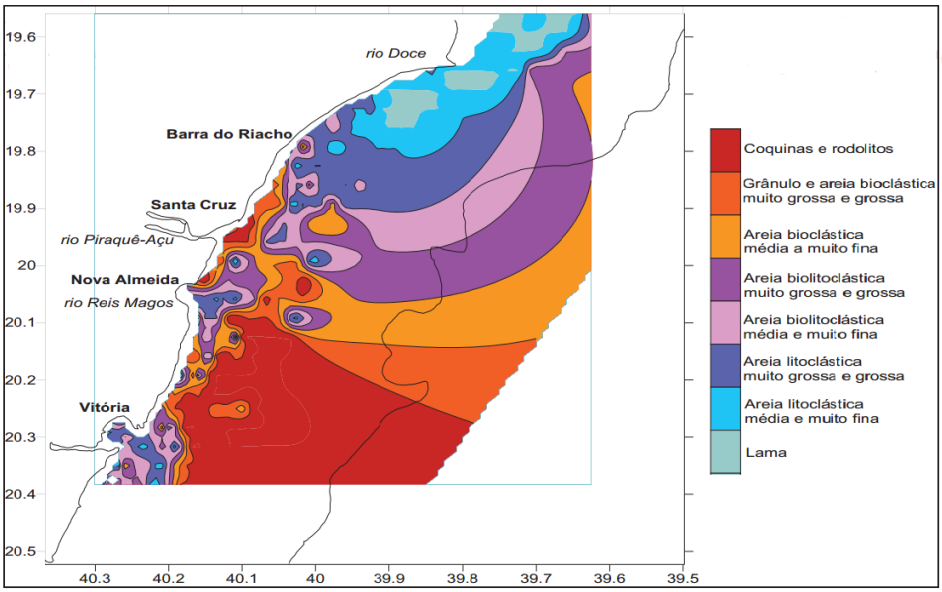
De acordo com Algadermis (2010), quanto à composição mineralógica dos sedimentos, a plataforma continental na região em estudo é recoberta principalmente por sedimentos carbonáticos, com teores de carbonato de cálcio superiores a 75%. A região é rica em bioclastos, que são caracterizados como fragmentos esqueletais de natureza biomineral, inteiros ou fragmentados, não necessariamente articulados, com tamanho maior que 2 mm e de composição química característica, que pode permitir o registro de atividades de agentes físicos, químicos e/ou biológicos, atuantes desde a morte do organismo até seu soterramento (DAMAZIO, 2004 apud DAMAZIO; SILVA, 2006). São, portanto, fragmentos de fósseis diversos ou mesmo fósseis completos de vegetais e animais. Entre os tipos de grão, os bioclastos são os mais abundantes no fanerozoico, representando a parte predominante de alguns calcários. Muitas vezes, são encontrados em associação com outros grãos carbonáticos e podem ser

formados por vários organismos, entre os quais se podem destacar: algas verdes (clorofícea) e vermelhas (rodofícea), foraminíferos bentônicos e plantônicos, equinodermos, moluscos, ostracodes, briozoários e corais (SUGUIO, 2003). Apresentam granulação grossa, variando entre areias e cascalhos; estes predominam, sobretudo, na plataforma externa. Os sedimentos terrígenos, compostos por areias e lamas, aparecem nas adjacências da foz dos rios São Mateus, Doce e Itaúnas.

Outro tipo de sedimento presente nessa região é o litoclasto, que, segundo Rejeirs e Hsü (1986), é um fragmento de rocha pretérita incorporado à matriz de uma rocha sedimentar, comumente utilizado para designar fragmentos de rocha carbonática.

A granulometria dos sedimentos apresenta grande influência na capacidade de adsorção e dessorção dos compostos, conforme citado anteriormente. A Figura 196 mostra o mapa faciológico (granulometria dos sedimentos) na região adjacente à foz do rio Doce.

Figura 196 – Mapa faciológico da região dos estudos.



Fonte: Albino (2003 apud PORTOCEL; CEPEMAR, 2008).

Pela distribuição granulométrica, na região mais próxima à foz do rio Doce, há principalmente depósitos de materiais litoclásticos médios e muito finos intercalados por lama. Próximo a Vitória (ES), há a presença de areia biolitoclástica. Segundo Albino (2003 apud PORTOCEL; CEPEMAR, 2008), a quantidade de sedimento de bioclásticos pode ser explicada pelo aporte marinho, em que acontecem os terraços de abrasão, favorecendo a fixação e produção de organismos carbonáticos.

Resultados de Aguiar et al. (2014)

Aguiar et al. (2014) utilizaram métodos geoestatísticos para avaliar as diferenças na geoquímica de metais no sedimento marinho na costa brasileira dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Espírito Santo.

Tabela 62 – Resultados da concentração de metais

Metal	Ceará	Rio Grande do Norte	Espírito Santo	Nível 1	Nível 2
Fe (mg/kg)	1.250	1.330	35.948	-	-
Mn (mg/kg)	42	26	1.003	-	-
Al (mg/kg)	1.389	2.854	28.058	-	-
Cr (mg/kg)	5,3	8,0	60	81,0	370
Ni (mg/kg)	6,0	0,9	26	20,9	51,6
Cu (mg/kg)	0,9	0,5	17	34	270
Zn (mg/kg)	2,5	1,5	58	150	410
Pb (mg/kg)	6,0	1,5	11	46,7	218

Fonte: Aguiar et al. (2014)

Conforme pode ser observado na Tabela 62, a concentração quantificada dos metais que apresentam valores orientadores de nível 1 e nível 2 foi mais baixa do que esses valores. A concentração de todos os metais encontrada no Espírito Santo foi muito mais elevada do que as concentrações encontradas no Ceará e no Rio Grande do Norte, destacando-se as de ferro, magnésio e alumínio.

Estudo de impacto ambiental da Algadermis (2010)

A empresa Algadermis (2010) publicou o estudo de impacto ambiental para a atividade de extração de sedimento biodetrítico marinho em suas jazidas no litoral do Espírito Santo. Os resultados mais importantes para a caracterização de sedimentos foram a granulometria predominante e sua respectiva origem (bio e litoclastos), apresentadas na Tabela 63.

Tabela 63 – Granulometria dos pontos amostrados.

Metal	Ceará*	Rio Grande do Norte*	Espirito Santo*	Nível 1	Nível 2
Fe (mg/kg)	1.250	1.330	35.948	-	-
Mn (mg/kg)	42	26	1.003	-	-
Al (mg/kg)	1.389	2.854	28.058	-	-
Cr (mg/kg)	5,3	8,0	60	81,0	370
Ni (mg/kg)	6,0	0,9	26	20,9	51,6
Cu (mg/kg)	0,9	0,5	17	34	270
Zn (mg/kg)	2,5	1,5	58	150	410
Pb (mg/kg)	6,0	1,5	11	46,7	218

Fonte: Adaptado de Algadermis (2010).

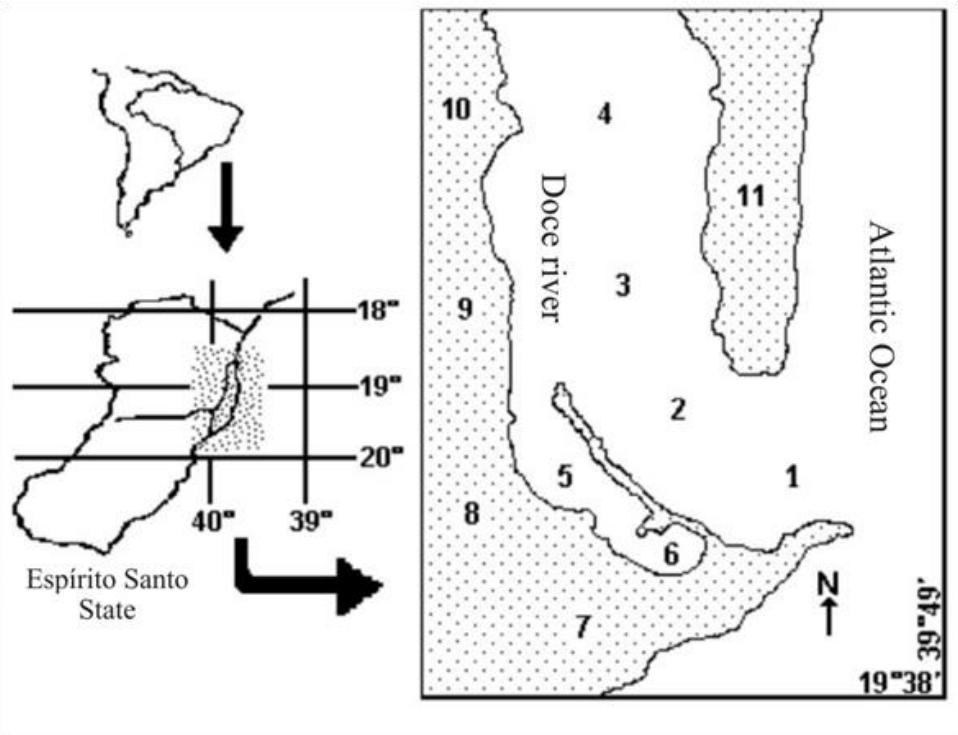
Como pode ser observado na Tabela 63, as areias grossa e muito grossa foram predominantes na região estudada. A distribuição de lito e bioclastos foi bastante variada, com cerca de 50% de dominância de cada tipo.

A dinâmica costeira e os processos erosivos na foz do rio Doce, Espírito Santo (APRILE et al., 2004)

Aprile et al. (2004) realizaram esse estudo, entre 1993 e 1998, com o objetivo de avaliar a influência da dinâmica costeira e dos processos erosivos na geomorfologia da foz do rio
Doce, localizada no Espírito Santo. Foram feitas análises texturais em amostras de solos e sedimentos. O estudo também apresentou uma descrição cartográfica baseada na geomorfologia da região.

Foram estabelecidos 11 pontos de amostragem, distribuídos ao longo da foz do rio Doce (Figura 197), os quais foram monitorados durante os períodos de estiagem e chuva nos anos referentes à pesquisa. Foi determinada a composição granulométrica pelo método clássico de peneiramento fracionado.

Figura 197 – Mapa da foz do rio Doce, no Espírito Santo, com a localização dos pontos de amostragem do estudo.



Fonte: Aprile et al. (2004).

Os resultados granulométricos das amostras coletadas estão apresentados na Tabela 64. Os dados revelaram o predomínio de sedimentos e solos arenosos, tendo sido os percentuais de areia grossa e muito grossa, incluindo seixos, sensivelmente maiores em direção à desembocadura do rio (ponto 1). Houve influência direta da ação das chuvas no tamanho das partículas dos sedimentos. Durante esses períodos, mais de 80% da composição dos sedimentos do canal central era formada por areia grossa e muito grossa. Já na região da baía (pontos 5 e 6), houve predomínio das frações mais finas, com teores de silte e argila variando de 45% na estiagem a 55% durante as chuvas.

Tabela 64 – Valores percentuais da análise granulométrica dos pontos para os períodos de estiagem e chuva na foz do rio Doce.

Ponto	Granulometria Predominante	Bioclastos (%)	Litoclastos (%)
1	Areia grossa	40,60	59,40
2	Areia grossa	5,50	94,50
3	Areia grossa	5,73	94,27
4	Areia fina	32,94	67,06
5	Areia muito fina	64,51	35,49
6	Areia grossa	5,75	94,25
7	Areia muito grossa	8,51	91,49
8	Areia fina	39,61	60,39
9	Areia grossa	2,46	97,54
10	Grânulo	28,92	71,08
11	Areia fina	65,65	34,35
12	Areia média	64,46	35,54
13	Areia grossa	34,68	65,32

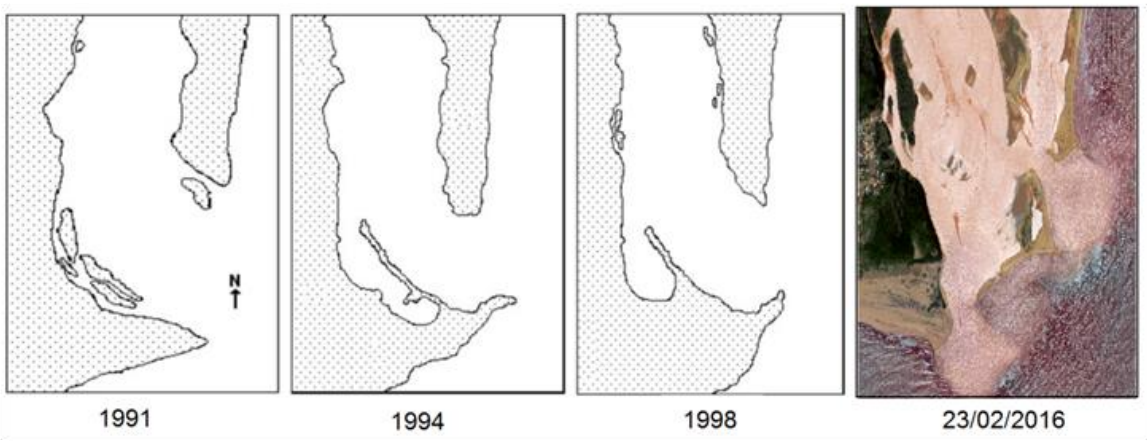
Ponto	Granulometria Predominante	Bioclastos (%)	Litoclastos (%)
14	Areia fina	18,58	81,42
15	Areia média	34,18	65,82
16	Areia muito grossa	91,33	8,67
17	Areia muito grossa	71,56	28,44
18	Areia grossa	20,79	79,21
19	Areia grossa	28,33	71,67
20	Areia grossa	5,58	94,42
21	Areia muito grossa	14,39	85,61
22	Areia muito grossa	50,06	49,94
23	Areia grossa	30,89	69,11
24	Areia média	77,70	22,30
25	Areia grossa	86,49	13,51
26	Areia muito grossa	12,96	87,04
27	Areia grossa	79,82	20,18
28	Areia muito grossa	68,45	31,55
29	Areia fina	69,79	30,21
30	Areia muito grossa	71,15	28,85
31	Areia muito grossa	72,09	27,91
32	Areia fina	24,48	75,52
33	Areia muito grossa	38,37	61,63
34	Areia grossa	25,12	74,88
35	Areia muito grossa	54,66	45,34
36	Areia grossa	89,81	10,19
37	Areia muito grossa	86,90	13,10
38	Areia fina	63,53	36,47
39	Areia fina	44,79	55,21
40	Areia muito grossa	22,80	77,20
41	Areia muito grossa	87,86	12,14
42	Areia média	77,57	22,43
43	Areia muito grossa	94,93	5,07
44	Areia média	38,04	61,96
45	Areia grossa	16,83	83,17
46	Areia média	77,50	22,50
47	Areia grossa	97,64	2,36
48	Areia grossa	94,22	5,78
49	Areia grossa	29,38	70,62
50	Areia muito grossa	23,42	76,58
51	Areia muito grossa	9,89	90,11
52	Areia muito grossa	94,49	5,51
53	Areia grossa	98,11	1,89
54	Areia fina	53,50	46,50
55	Areia grossa	96,40	3,60

Fonte: Adaptado de Aprile et al. (2004).

Os resultados da frequência de classes do diâmetro médio dos sedimentos e solos analisados revelaram um predomínio de partículas com diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm, com exceção dos pontos 5 e 6 (< 0,053 mm). Ao comparar o diâmetro das partículas com a velocidade da corrente fluvial na foz do rio Doce, observou-se que ocorreu uma deposição praticamente imediata do material em suspensão, formando uma barra com extremidade voltada para o sul, forçando o rio a deslocar sua foz nessa direção. Posteriormente, começou a ação do mar, que removeu o material fino e depositou o material grosseiro ao longo da costa, formando cordões litorâneos. A carga em suspensão foi bem maior que a dissolvida, principalmente nos períodos de chuva. Areias são mais facilmente erodidas, de modo que houve trechos no canal central que

favoreceram o assoreamento do rio, possibilitando a formação de inúmeros bancos de areia, que, com o passar do tempo, se uniram às margens do rio, criando uma pequena baía, a qual foi posteriormente erodida. Observando os mapas de 1991 a 2016 da foz do rio Doce, é possível verificar a mudança acentuada na forma de seu posicionamento (Figura 198).

Figura 198 – Mapas evidenciando a influência da dinâmica costeira e processos erosivos na geomorfologia da foz do rio Doce, entre 1991 e 2016.



Fonte: Adaptado de Aprile et al. (2004) e WorldView 3.

Estudo de impacto ambiental – projeto de expansão do Terminal Especializado de Barra do Riacho – Portocel (CEPEMAR, 2006)

Este estudo de impacto ambiental teve como finalidade analisar o material a ser dragado na prospecção de expansão do Terminal Especializado de Barra do Riacho – Portocel, em 2006. Três pontos de amostragem foram levados em consideração. A Tabela 65 apresenta os resultados da concentração dos metais analisados no estudo.

Tabela 65 – Resultados da concentração de metais dos pontos amostrados.

Pontos	Areia Total (%)	Areia Muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia Muito Fina (%)	Silte e Argila (%)
Período de Estiagem (%)							
1	99,85	8,45	61,48	29,92	-	-	0,09
2	99,84	7,00	60,12	30,82	1,14	-	0,07
3	99,66	7,76	60,42	30,32	1,16	-	0,17
4	98,75	8,32	59,00	28,75	1,46	1,22	0,25
5	49,26	1,32	5,45	10,12	22,61	9,76	46,04
6	40,32	-	0,95	6,15	24,77	8,45	53,79
7	88,51	0,90	40,80	24,36	17,45	5	9,07
8	90,48	1,71	44,87	23,01	14,76	6,13	8,34
9	96,09	2,34	53,62	38,56	1,57	-	2,75
10	95,65	2,58	48,55	39,32	3,67	1,53	3,13
11	99,56	4,87	62,34	25,16	7,19	-	0,29
Período de Chuva (%)							
1	99,98	29,76	65,79	4,40	0,03	-	0,02
2	99,96	24,45	68,12	6,49	0,90	-	0,04
3	99,95	22,45	66,35	11,10	0,05	-	

Pontos	Areia Total (%)	Areia Muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia Muito Fina (%)	Silte e Argila (%)
Período de Estiagem (%)							
4	98,90	21,13	62,32	13,15	2,30	-	0,14
5	39,78	-	0,60	2,00	27,21	9,97	55,12
6	34,01	-	0,82	2,14	21,20	9,85	59,75
7	87,79	8,67	47,93	8,70	16,80	5,69	9,94
8	88,41	8,40	52,02	9,77	13,21	5,01	10,37
9	94,92	8,45	65,58	13,56	5,76	1,57	3,88
10	94,91	8,34	65,80	17,32	2,38	1,07	4,02
11	96,82	10,78	62,73	18,97	6,60	0,68	0,17

Fonte: Adaptado de Cepemar (2006).

Quanto às concentrações dos metais, estas não foram significativas, se comparadas com as encontradas em outros estudos, além de que nenhuma ultrapassou os níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012 para águas salinas. A concentração de arsênio nas amostras foi inferior ao limite de detecção, embora este seja um dos elementos mais presentes na região, conforme observado nos outros estudos citados no estudo.

Monitoramento do efluente líquido da Fibria no ecossistema marinho (CEPEMAR, 2011)

A empresa Cepemar foi contratada para realizar o programa de monitoramento na área costeira de influência do efluente líquido na região do entorno do emissário da fábrica Fibria Celulose S.A., na cidade de Aracruz (ES). A região de estudo caracteriza-se pela presença de um complexo portuário e industrial (Portocel e Fibria Celulose), além de uma pequena área urbana (Barra do Riacho) situada no estuário do rio Riacho. Para análise de determinação do teor de carbonato de cálcio, a campanha de amostragem ocorreu no dia 17 de agosto de 2011, no período de inverno.

Para o monitoramento dos sedimentos de substrato não consolidado, foram feitas amostragens aleatoriamente em seis estações por área, sendo coletada em cada ponto uma amostra com uma draga do tipo Van Veen em aço inox. Esses sedimentos foram lavados para a retirada total do sal e, posteriormente, secados em estufa a aproximadamente 80 °C, quarteados e pesados em torno de 20 g. A quantificação dos teores de carbonato foi feita pela dissolução com ácido clorídrico, os teores, determinados pela diferença dos pesos inicial e final e os sedimentos, divididos segundo a classificação proposta por Larsounner (1977 apud CEPEMAR, 2011), como mostrado na Tabela 66.

Tabela 66 – Classificação da composição do sedimento por teor de carbonato.

Principais divisões	% de carbonato
Sedimento litoclástico	≤ 30%
Sedimento litobioclástico	> 30% ≤ 50%
Sedimento biolitoclástico	> 50% ≤ 70%
Sedimento bioclástico	> 70%

Fonte: Larsounner (1977 apud CEPEMAR, 2011).

Na Tabela 67, são apresentados os resultados das análises de teores de bio e litoclastos nos sedimentos.

Tabela 67 – Teores de bio e litoclastos.

Ponto	Bioclastos (%)	Litoclastos (%)
D1	34,28	65,72
D2	29,91	70,09
D3	27,22	72,78
D4	32,08	67,92
D5	22,22	77,78
D6	26,08	73,92
R1	11,4	88,6
R2	7,72	92,28
R3	14,03	85,97
R4	45,94	54,06
R5	31,24	68,76
R6	20,68	79,32
I1	49,66	50,34
I2	46,35	53,65
I3	41,18	58,82
I4	36,47	63,53
I5	51,11	48,89
I6	50,34	49,66

Fonte: Adaptado de Cepemar (2011).

Como pode ser observado na Tabela 67, os litoclastos são dominantes na maioria dos pontos analisados, porém com uma parcela representativa de bioclastos.

Para a análise de ecotoxologia, foram realizados ensaios com as matrizes de sedimento total, sendo utilizado o organismo copépode bentônico do gênero *Nitokra* sp., seguindo a metodologia adotada por Zaroni (2006 apud CEPEMAR, 2011) e Vitali (2007 apud CEPEMAR, 2011), consistente na exposição de dez fêmeas ovadas às amostras do sedimento por um período de dez dias. A expressão dos resultados deu-se em nível qualitativo, apresentando se a amostra era tóxica ou não. Os resultados são apresentados na Tabela 68.

Tabela 68 – Resultados dos testes crônicos com copépode *Nitokra* sp.

Estação	Teste crônico (*Nitokra* sp.)
R1	Tóxico
R2	Tóxico
R3	Tóxico
R4	Tóxico
R5	Estimulante
R6	Tóxico
I1	Tóxico
I2	Tóxico
I3	Tóxico
I4	Tóxico
I5	Não tóxico
I6	Não tóxico
D1	Tóxico
D2	Tóxico
D3	Tóxico
D4	Tóxico
D5	Tóxico
D6	Tóxico

Fonte: Adaptado de Cepemar (2011).

Os resultados obtidos pela análise apresentaram toxicidade na maioria das estações monitoradas.

Estudo de impacto ambiental do estaleiro Jurong Aracruz (CTA, 2009)

Este estudo foi realizado pela empresa CTA, no ano de 2009, para a instalação de um estaleiro na região de Barra do Riacho (Aracruz – ES), ao sul da foz do rio Doce. É importante destacar que estudos nessas áreas mais ao sul da foz do rio Doce também são relevantes, devido aos efeitos das correntes de deriva litorânea e ao fato de que os ventos predominantemente ao longo do ano sopram na direção sudoeste, conforme explicitado em Albino (1999) e Martin et al. (1993), sendo denominados ventos alísios.

Foram obtidos resultados para a granulometria dos sedimentos da área (Tabela 69) e também composição geoquímica para os seguintes parâmetros: arsênio, cádmio, Carbono Orgânico Total (COT), chumbo, cobre, cromo, fósforo, mercúrio, níquel, nitrogênio total e zinco (Tabela 70).

Como pode ser observado na Tabela 69, a fração predominante foi areia, na maioria dos pontos amostrados. Em alguns poucos pontos, a predominância foi de silte.

Para as concentrações de metais, somente arsênio e mercúrio apresentaram valores acima do nível 1 (5,0% e 12,5%, respectivamente). Para os demais metais, as concentrações detectadas foram abaixo do nível 1.

Tabela 69 – Resultados de granulometria.

Pontos	Areia muito grossa (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Areia muito fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
P1	1,3	21,4	25,2	17,3	6,6	20,7	7,5
P1	15,7	51,1	29,9	2,8	0,5	0	0
P2	0,5	13,3	22,9	13,4	5,8	33,9	10,2
P2	33,6	41,9	13,1	5,8	3,9	1,7	0
P3	2,6	23,3	26,7	15,5	11	15,1	5,8
P3	4,3	23,6	17,4	9,7	7,8	33,3	3,9
P4	0,1	17,3	35	20,5	5,8	15	6,3
P4	2,6	16,4	17,4	14	17,7	24,7	7,2
P5	0	2,3	20,6	55,5	19,4	2,2	0
P5	0,1	26,2	22,7	9,8	14	20,2	7
P6	0,1	6,9	26,4	51,5	14,5	0,6	0
P6	0	3,3	24,5	41,3	14,7	13,5	2,7
P7	12,5	15,7	20,5	40	11	0,3	0
P7	3,3	12	25,8	15,1	16,7	25,8	1,3
P8	0,5	10,5	25,2	39,2	14,4	6,9	3,3
P8	1,5	14,3	16	11,9	15,3	35	6
P9	11,9	10,8	23,1	43,3	10	0,9	0
P9	0	0,6	9,3	8,8	10,7	61,3	9,3
P10	62,6	29,4	6,1	1,8	0,1	0	0
P10	73,9	12,4	5,2	2,4	0,8	4,4	0,9
P11	0,1	16,5	35,2	14,8	4,8	25,5	3,1
P12	3	30,2	50,9	12,2	1	1,9	0,8
P13	0,1	9,9	49,2	34,7	2,6	2,5	1
P14	2,1	20,5	45,4	24	2,7	3,8	1,5
P15	0,6	13,8	46,2	34,9	3,5	1	0
P16	49,6	24	17,8	6,4	1,4	0,8	0
P17	2,5	13,5	11,5	17,7	19,6	26,4	8,8
P18	5,4	3,9	10,3	18,1	18,5	30,1	13,7
P19	0	15,4	24,1	11,2	14,5	27,4	7,4
P20	0,1	8,7	22,5	28,3	12,5	19,6	8,3
P21	0	6,7	49,1	37,5	3,4	2,9	0,4
P22	2,2	13	18,8	21,9	18,3	20,7	5,1
P23	8,2	15,3	29,3	24,5	9,5	9,1	4,1
P24	39,9	30,9	11,7	4,5	2,6	8,7	1,7
P25	4,9	18,8	22,5	14,9	7,5	27,5	3,9
P26	0	6,5	8,3	13,3	29,1	34,1	8,7
P27	0,1	10,2	22,9	18,2	15,6	23,5	9,5
P28	93,5	5	0,3	0	0	1,2	0
P29	16	27,7	20,2	10,6	8,1	12,5	4,9
P30	42	35	19	3,6	0,4	0	0
P31	0,7	10,8	12,2	15,5	23,1	29,5	8,2
P32	57,8	12,6	5,6	11	6,8	5,7	0,5
P33	0	0	2,5	19,2	37,1	30,9	10,3
P34	0	0	4,1	44,1	42,9	7,6	1,3
P35	4,2	21,4	21,5	13,2	14	19,7	6
P36	1,4	13,1	16,5	11,9	8,7	41,1	7,3
P37	0,5	10,7	32,8	44,5	9,9	1,5	0,1
P38	3,4	21,7	38,3	25,5	6,2	3,7	1,2
P39	0	3,2	17,6	34,4	21,2	15,3	8,3
P40	41,6	40,9	9,6	1,8	1,4	4,4	0,3
P38	3,4	21,7	38,3	25,5	6,2	3,7	1,2
P39	0	3,2	17,6	34,4	21,2	15,3	8,3
P40	41,6	40,9	9,6	1,8	1,4	4,4	0,3

Fonte: Adaptado de CTA (2009).

Tabela 70 – Resultados dos metais analisados.

Pontos	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	19	1,2	46,7	34	81	0,3	20,9	150
Nível 2	70	7,2	218	270	370	1,0	51,6	410
P1	0,5	0,052	2,2	15,0	11,0	0,130	1,5	7,3
P1	50,0	0,045	3,7	6,9	9,0	0,100	1,4	4,2
P2	0,6	0,056	2,3	9,0	12,0	0,049	2,3	6,7
P2	0,6	0,055	1,1	8,6	14,0	0,140	2,3	8,0
P3	0,6	0,058	2,0	8,9	9,1	0,140	1,3	7,5
P3	0,6	0,061	3,3	13,0	22,0	0,140	4,0	9,5
P4	0,6	0,059	1,6	9,9	8,2	0,140	0,9	6,1
P4	0,6	0,058	0,8	8,7	13,0	0,130	1,9	7,5
P5	0,5	0,050	1,2	5,8	6,5	0,110	0,5	4,2
P5	42,0	0,064	4,1	9,9	19,0	0,100	6,3	8,3
P6	0,5	0,053	1,5	6,7	6,5	0,120	0,5	3,7
P6	29,0	0,054	3,1	8,5	9,7	0,120	1,7	6,9
P7	0,5	0,050	1,2	5,8	6,3	0,130	0,5	4,5
P7	0,7	0,067	4,7	0,7	12,0	0,038	2,1	4,3
P8	0,5	0,053	0,6	7,4	5,4	0,032	0,5	3,5
P8	0,5	0,046	1,9	0,5	8,9	0,036	2,4	4,2
P9	0,5	0,047	0,9	9,0	5,2	0,150	0,5	3,2
P9	0,7	0,067	1,5	13,0	23,0	0,064	3,0	8,0
P10	0,5	0,053	0,6	10,0	3,4	0,030	0,5	2,4
P10	32,0	0,043	1,7	8,2	5,5	0,067	1,2	3,1
P11	0,7	0,071	1,6	13,0	8,9	0,160	1,1	7,9
P12	0,5	0,054	2,8	0,5	10,0	0,029	0,5	1,6
P13	0,6	0,056	1,8	2,4	7,1	0,130	0,7	4,7
P14	0,5	0,052	1,2	2,0	8,5	0,120	0,7	4,8
P15	0,5	0,049	1,9	0,5	9,7	0,024	0,9	3,0
P16	20,0	0,037	1,8	3,5	4,7	0,091	0,9	2,3
P17	0,6	0,061	0,6	7,6	5,6	0,150	0,8	5,8
P18	0,6	0,057	0,6	11,0	11,0	0,079	0,6	4,2
P19	0,5	0,048	2,9	8,0	52,0	0,260	6,8	6,6
P20	0,5	0,050	2,3	10,0	9,3	0,045	1,4	7,1
P21	0,5	0,053	1,8	0,5	9,3	0,026	0,6	3,1
P22	0,6	0,063	1,9	1,1	11,0	0,031	1,0	4,7
P23	0,6	0,064	1,3	0,8	9,4	0,032	0,6	2,8
P24	0,5	0,053	1,1	8,9	10,0	0,130	2,2	6,3
P25	0,5	0,050	0,5	9,7	4,0	0,110	0,5	4,2
P26	0,6	0,059	0,6	2,4	14,0	0,620	3,9	5,4
P27	0,5	0,049	0,6	0,5	4,5	0,024	0,5	1,4
P28	0,5	0,046	0,5	0,5	5,0	0,023	0,5	1,1
P29	0,6	0,057	1,3	0,6	18,0	0,500	0,7	2,5
P30	0,6	0,061	1,5	0,6	6,8	0,031	0,6	1,9
P31	0,5	0,051	1,4	0,5	9,1	0,270	0,5	2,5
P32	0,5	0,050	0,6	0,5	5,3	0,025	0,5	2,2
P33	0,6	0,065	4,5	20,0	14,0	0,160	2,0	12,0
P34	0,5	0,054	2,0	0,5	13,0	0,027	0,7	3,4
P35	0,6	0,056	2,6	1,4	14,0	0,028	1,5	5,5
P36	0,7	0,070	2,6	14,0	11,0	0,040	1,7	9,3
P37	0,5	0,054	1,1	0,5	7,8	0,027	0,5	2,3
P38	0,6	0,062	0,6	0,6	7,3	0,031	0,7	3,3
P39	0,5	0,054	2,1	0,5	8,9	0,027	0,5	3,3
P40	0,6	0,059	1,3	1,2	11,0	0,030	1,2	4,1

Fonte: Adaptado de CTA (2009).

15ª campanha de monitoramento marinho do estaleiro Jurong Aracruz (CP+, 2015)

A empresa CP+ foi contratada para o monitoramento marinho do estaleiro Jurong Aracruz a partir do ano de 2013, anteriormente realizado pela empresa CTA. O trabalho analisado aqui compreende a campanha feita em dezembro de 2014, tendo como objetivo identificar a composição geoquímica dos sedimentos para os seguintes elementos: ferro, manganês, zinco, chumbo, cobre, alumínio, arsênio, cromo, cádmio e mercúrio. O documento também apresenta as concentrações médias desses elementos para as campanhas realizadas anteriormente (Tabela 71).

Tabela 71 – Resultados das concentrações de metais, em mg/kg.

Pontos	Dado	Al	As	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Zn
Nível 1	-	-	19	1,2	46,7	34	81	-	-	0,30	150
Nível 2	-	-	70	7,2	218	270	370	-	-	1,00	410
J01	Valor bruto	6.205	39,74	<0,05	10,13	5,97	34,80	30.478	644,7	<0,05	26,13
J02	Valor bruto	1.160	72,82	<0,05	5,72	0,05	12,74	19.307	952,9	<0,05	7,56
J03	Valor bruto	920	38,96	<0,05	3,61	0,05	9,04	10.124	403,3	<0,05	6,37
J04	Valor bruto	5.187	11,62	<0,05	5,57	2,31	21,90	19.949	194,7	<0,05	14,07
J05	Valor bruto	6.439	11,22	<0,05	5,86	2,83	22,97	17.901	196,0	<0,05	14,85
J06	Valor bruto	7.909	30,60	<0,05	10,99	8,09	41,80	33.796	541,2	<0,05	32,04
J07	Valor bruto	1.985	72,52	<0,05	5,37	0,05	14,81	20.793	714,7	<0,05	8,96
J08	Valor bruto	4.616	55,48	<0,05	7,63	3,58	25,79	25.931	489,2	<0,05	18,87
J09	Valor bruto	8.586	26,69	<0,05	10,83	7,45	41,53	31.971	486,2	<0,05	31,09
J10	Valor bruto	3.460	54,03	<0,05	7,82	2,72	23,45	22.627	445,7	<0,05	14,44
J11	Valor bruto	5.292	88,18	<0,05	10,70	0,72	29,84	38.040	439,0	<0,05	22,80
J12	Valor bruto	7.442	80,03	<0,05	10,93	1,90	39,72	44.954	418,3	<0,05	30,56
1ª Camp. Jun/11	Média	9.698	-	-	9,25	2,81	-	31.398	635,42	-	29,88
2ª Camp. Out/11	Média	13.109	80,50	1,68	11,03	4,73	42,50	41.852	796,67	0,06	24,85
3ª Camp. Dez/11	Média	8.145	50,25	1,00	6,75	2,68	26,83	29.185	517,17	0,05	15,09
4ª Camp. Abr/12	Média	7.610	85,08	0,10	10,73	3,28	35,83	22.466	749,00	0,05	27,48
5ª Camp. Jul/12	Média	9.753	65,58	0,10	7,30	6,40	33,00	30.957	678,92	0,07	15,97
6ª Camp. Fev/13	Média	10.639	64,72	0,05	11,12	5,05	29,42	25.988	717,99	0,05	23,21
7ª Camp. Mai/13	Média	18.521	61,11	0,05	5,69	8,87	31,25	41.290	887,54	0,05	28,25
8ª Camp. Ago/13	Média	9.444	48,68	0,05	7,08	6,36	27,14	35.603	962,69	0,05	24,89

Pontos	Dado	Al	As	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Zn
Nível 1	-	-	19	1,2	46,7	34	81	-	-	0,30	150
Nível 2	-	-	70	7,2	218	270	370	-	-	1,00	410
Camp. Extra Out/13	Média	15.108	47,05	0,05	6,21	2,56	27,88	32.416	768,69	0,05	19,45
9ª Camp. Dez/13	Média	14.801	50,78	0,05	8,90	4,25	28,73	28.637	830,47	0,05	24,19
10ª Camp. Jun/14	Média	9.332	59,65	0,05	8,68	3,90	26,59	33.477	641,57	0,05	22,68
11ªCamp. Set/14	Média	3.953	48,27	0,05	7,95	1,24	23,62	24.304	512,23	0,05	17,37

Fonte: Adaptado de CP+ (2015).

Na campanha com as amostras J01 a J12, realizada entre os dias 9 e 10 de dezembro de 2014, foi observado que 50,00% dos valores de arsênio encontravam-se acima do nível 1, enquanto 33,33% estavam acima do nível 2. Na média das campanhas ocorridas entre junho de 2011 e setembro de 2014, 75,00% das amostras apresentaram concentração de arsênio acima do nível 1 e 16,66%, acima do nível 2. Os demais metais não excederam os níveis de concentração estabelecidos.

Estudo de impacto ambiental do Mineroduto Morro do Pilar (ECOLOGY BRASIL; ECONSERVATION, 2013)

O Mineroduto Morro do Pilar, gerido pela mineradora Manabi, teve seu estudo de impacto ambiental elaborado pelas empresas Ecology Brasil e Econservation, no ano de 2013, com o objetivo de analisar os possíveis impactos da implantação de um mineroduto com 511 km de extensão total (do munícipio de Morro do Pilar, em Minas Gerais, até Linhares, no Espírito Santo), além da construção de um futuro porto na região costeira do município de Linhares. Esse mineroduto, na maior parte de sua extensão, acompanha o rio Doce, o que torna o estudo de grande relevância para este relatório.

Os sedimentos analisados foram coletados na região de construção do porto. Foram coletadas amostras em 53 pontos diferentes na área de dragagem, mais cinco amostras na área de bota-fora. Foram analisadas as porções granulométricas (Tabela 72) e a composição geoquímica dos sedimentos para os seguintes parâmetros: COT, chumbo, cobre, cromo, fósforo, mercúrio, níquel, nitrogênio total e zinco (Tabela 73). Os locais de coleta foram a aproximadamente 20 km ao norte da foz do rio Doce.

Tabela 72 – Análise granulométrica dos sedimentos amostrados (%).

Pontos	Profundidade	Granulometria	Cascalho	Areia	Silte	Argila
P09	BASE	Areia ou arenito	12,86	86,37	0,77	0
P09	MEIO	Areia ou arenito	0	92,55	6,16	0,29
P09	TOPO	Areia ou arenito	0	89,63	10,06	0,31
P10	BASE	Areia ou arenito	2,27	94,94	2,80	0
P10	MEIO	Areia ou arenito	0	94,70	5,03	0,27
P10	TOPO	Areia ou arenito	0	88,23	11,41	0,36
P11	BASE	Areia ou arenito	6,64	92,14	1,23	0
P11	TOPO	Areia ou arenito	0	83,13	16,44	0,43
P12	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	6,25	93,32	0,43	0

Pontos	Profundidade	Granulometria	Cascalho	Areia	Silte	Argila
P12	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	10,41	89,59	0	0
P13	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	3,99	92,33	3,62	0,06
P13	TOPO	Areia síltica	0	70,22	29,11	0,67
P14	BASE	Areia ou arenito	2,06	92,11	5,54	0,28
P14	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	11,82	88,18	0	0
P15	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	15,95	82,33	1,72	0
P15	TOPO	Areia síltica	0	65,03	34,08	0,89
P16	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	8,65	89,30	2,05	0
P16	MEIO	Areia síltica	0	73,79	25,63	0,58
P16	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	4,62	92,36	3,02	0
P17	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	7,14	86,51	6,30	0,06
P17	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	7,41	88,64	3,90	0,06
P18	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	7,28	89,18	3,49	0,05
P18	TOPO	Areia ou arenito	0	97,02	2,98	0,05
P19	BASE	Areia ou arenito	1,99	91,31	6,50	0,21
P19	TOPO	Areia ou arenito	0	80,22	19,31	0,47
P20	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	3,25	91,37	5,33	0,05
P20	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	13,85	86,15	0	0
P21	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	14,40	85,59	0,01	0
P21	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	11,82	88,13	0,05	0
P22	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	11,75	88,25	0	0
P22	TOPO	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	10,36	89,94	0	0
P23	BASE	Areia ou arenito	0	94,02	5,71	0,27
P23	TOPO	-	-	-	-	-
P24	BASE	Areia ou arenito	0	93,87	5,81	0,32
P24	TOPO	Areia ou arenito	0	91,23	8,47	0,30
P25	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	3,14	95,34	1,51	0
P25	TOPO	Areia ou arenito	0	87,41	12,25	0,34
P26	BASE	Areia ou arenito	1,25	92,60	5,85	0,31
P26	TOPO	Areia ou arenito	0	90,95	8,76	0,29
P27	BASE	Areia ou arenito	0	93,56	6,16	0,28
P27	TOPO	Areia ou arenito	0	88,11	11,53	0,36
P28	BASE	Areia ou arenito	0	89,11	10,54	0,35
P28	TOPO	Areia ou arenito	0	89,75	9,90	0,35
P29	BASE	Areia ou arenito	0	94,32	5,37	0,31
P29	TOPO	Areia ou arenito	0	88,77	10,89	0,34
P30	BASE	Areia ou arenito	0	88,63	11,04	0,33
P30	MEIO	Areia ou arenito	0	88,65	10,98	0,37
P30	TOPO	Areia ou arenito	0	88,96	10,67	0,37
P31	BASE	Areia ou arenito	0	89,81	9,82	0,37
P31	MEIO	Areia ou arenito	0	86,00	13,61	0,39
P31	TOPO	Areia ou arenito	0	89,09	10,54	0,37
P32	BASE	Areia ou arenito	0	88,09	11,54	0,37

Pontos	Profundidade	Granulometria	Cascalho	Areia	Silte	Argila
P32	TOPO	Areia ou arenito	0	88,20	11,45	0,35
P33	BASE	Areia ou arenito	0	83,83	15,71	0,46
P33	TOPO	Areia ou arenito	0	88,32	11,38	0,30
P34	BASE	Areia ou arenito	0	82,08	17,47	0,45
P34	MEIO	Areia ou arenito	0	83,71	15,82	0,47
P34	TOPO	Areia ou arenito	0	87,65	11,97	0,38
P35	BASE	Areia ou arenito	0	85,52	14,10	0,38
P35	MEIO	Areia ou arenito	0	86,97	12,63	0,40
P35	TOPO	Areia ou arenito	0	84,87	14,71	0,42
P36	BASE	Areia ou arenito	0	85,72	13,87	0,41
P36	MEIO	Areia ou arenito	0	76,99	22,43	0,58
P36	TOPO	Areia ou arenito	0	82,81	16,71	0,48
P37	BASE	Areia ou arenito	0	82,88	16,68	0,44
P37	MEIO	Areia ou arenito	0	75,69	23,71	0,60
P37	TOPO	Areia ou arenito	0	74,93	24,43	0,65
P38	BASE	Areia ou arenito	0	83,70	15,87	0,43
P38	MEIO	Areia ou arenito	0	80,24	19,27	0,49
P38	TOPO	Areia ou arenito	0	77,68	21,73	0,59
P39	BASE	Areia ou arenito	0	90,23	9,47	0,30
P39	MEIO	Areia ou arenito	0	77,41	22,06	0,53
P39	TOPO	Areia ou arenito	0	76,32	23,11	0,57
P40	BASE	Areia ou arenito	0	82,84	16,74	0,42
P40	MEIO	Areia ou arenito	0	75,22	24,18	0,60
P40	TOPO	Areia ou arenito	0	75,09	24,30	0,61
P41	BASE	Areia ou arenito	0	86,75	12,89	0,36
P41	TOPO	Areia ou arenito	0	86,43	13,17	0,40
P42	BASE	Areia ou arenito	0	86,81	12,81	0,38
P42	TOPO	Areia ou arenito	0	88,78	10,87	0,35
P43	BASE	Areia ou arenito com fração de grânulos >3%	4,12	88,93	6,61	0,35
P43	TOPO	Areia ou arenito	0	90,71	8,94	0,35
P44	BASE	Areia ou arenito	0	90,71	8,95	0,34
P44	MEIO	Areia ou arenito	0	93,11	6,59	0,30
P44	TOPO	Areia ou arenito	0	90,72	8,94	0,34
P45	BASE	Areia ou arenito	0	93,92	5,79	0,29
P45	TOPO	Areia ou arenito	0	93,75	5,97	0,28
P46	BASE	Areia ou arenito	0	94,19	5,53	0,28
P46	TOPO	Areia ou arenito	0	86,52	13,10	0,38
P47	TOPO	Site arenoso	0	24,67	74,64	0,69
P47	BASE	Site arenoso	0,30	33,23	65,57	0,89
P48	TOPO	Site arenoso	0	33,42	65,99	0,59
P48	BASE	Site arenoso	3,51	36,94	58,17	1,39
P49	TOPO	Site arenoso	0	42,21	57,18	0,61
P49	BASE	Areia síltica	0	63,69	35,78	0,53
P50	TOPO	Areia síltica	0	57,84	42,16	0
P50	BASE	Site arenoso	0,39	30,98	65,73	2,91
P51	TOPO	Site arenoso	0	30,31	69,69	0
P51	MEIO	Areia síltica	0	53,18	46,63	0,19
P51	BASE	Areia síltica	0	66,56	29,30	4,14
P52	TOPO	Site arenoso	0	45,87	54,13	0
P52	MEIO	Site arenoso	0	48,67	50,07	1,26
P52	BASE	Areia	9,89	78,06	11,44	0,60
P53	TOPO	Site arenoso	0	35,29	63,31	1,4
P53	MEIO	Areia síltica	0	55,76	43,66	0,58
P53	BASE	Areia síltica	0,17	74,09	25,74	0
P54	TOPO	Areia síltica	0,02	55,65	43,16	1,17
P54	BASE	Site arenoso	0	40,27	59,04	0,69
P55	TOPO	Site arenoso	0	39,16	56,81	4,04

Pontos	Profundidade	Granulometria	Cascalho	Areia	Silte	Argila
P55	BASE	Areia	4,82	80,89	13,36	0,93
P56	TOPO	Areia	0,05	74,99	23,54	1,42
P56	MEIO	Areia	0	79,13	20,87	0
P56	BASE	Areia	2,54	77,64	19,44	0,38
P57	TOPO	Site arenoso	0,04	43,50	56,47	0
P57	MEIO	Site arenoso	0,02	47,23	51,52	1,23
P57	BASE	Areia	2,39	80,70	13,21	3,7
P58	TOPO	Areia	0,29	93,27	6,44	0
P58	BASE	Sedimento cascalhoso	10,26	78,92	9,27	1,55
P59	TOPO	Areia	0,76	95,53	3,72	0
P59	BASE	Areia	8,18	89,79	2,04	0
P60	TOPO	Areia	0,61	98,49	0,91	0
P60	MEIO	Areia	3,90	76,97	17,31	1,82
P60	BASE	Areia	1,12	90,86	7,17	0,85
P61	TOPO	Site arenoso	0	31,52	66,89	1,59
P61	MEIO	Areia	3,97	86,80	9,23	0
P61	BASE	Areia	2,16	88,27	8,11	1,46
#P09	BOTA FORA	-	-	-	-	-
#P10	BOTA FORA	-	-	-	-	-
#P11	BOTA FORA	-	-	-	-	-
#P12	BOTA FORA	-	-	-	-	-
#P13	BOTA FORA	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Ecology Brasil e Econservation (2013).

Foi verificada predominância de grânulos arenosos nas amostras coletadas, sendo que, para a área de bota-fora, não foram feitas análises granulométricas.

Tabela 73 – Resultados analíticos provenientes das análises de metais.

Pontos	Profun-didade	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	-	19	46,7	34	81	0,3	20,9	150
Nível 2	-	70	218	270	370	1,0	51,6	410
P09	BASE	14,7	2,29	1,14	11,93	<0,05	2,24	10,21
P09	MEIO	32,5	5,72	2,65	24,61	<0,05	4,72	24,23
P09	TOPO	34,3	6,54	4	28,25	<0,05	5,78	25,98
P10	BASE	29,7	5,3	2,8	25,5	<0,05	5,4	21,4
P10	MEIO	37,8	7,2	1,4	26,5	<0,05	5,2	21,8
P10	TOPO	38,5	8,3	6,0	38,7	<0,05	8,0	31,3
P11	BASE	13,3	3,0	1,4	12,4	<0,05	2,7	11,4
P11	TOPO	27,6	4,2	<0,05	20,8	<0,05	4,3	15,5
P12	BASE	13,4	3,8	2,6	15,5	<0,05	2,9	17,9
P12	TOPO	13,6	1,2	1,9	6,1	<0,05	1,1	7,0
P13	BASE	21,7	4,5	39,8	22,0	<0,05	5,4	20,2
P13	TOPO	36,5	10,5	9,2	51,6	<0,05	11,9	46,3
P14	BASE	15,7	3,7	2,0	14,7	<0,05	3,8	17,7
P14	TOPO	16,5	1,6	0,6	6,9	<0,05	1,2	6,8
P15	BASE	19,8	3,3	1,7	16,0	<0,05	3,2	16,2
P15	TOPO	30,3	10,8	9,9	49,8	<0,05	10,8	49,7
P16	BASE	9,8	2,2	1,3	11,3	<0,05	2,6	15,7
P16	MEIO	37,6	11,8	11,1	66,8	<0,05	16,0	55,2
P16	TOPO	7,9	0,8	0,6	4,7	<0,05	0,9	5,5
P17	BASE	14,7	3,5	2,7	13,9	<0,05	3,3	16,0
P17	TOPO	11,0	1,1	1,7	6,2	<0,05	1,1	6,9
P18	BASE	12,5	2,8	<0,05	12,2	<0,05	2,7	10,9
P18	TOPO	13,4	1,8	<0,05	9,9	<0,05	1,9	6,8

Pontos	Profun-didade	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	-	19	46,7	34	81	0,3	20,9	150
Nível 2	-	70	218	270	370	1,0	51,6	410
P19	BASE	12,5	2,8	1,2	11,7	<0,05	2,3	11,1
P19	TOPO	32,0	10,5	8,0	48,5	<0,05	12,2	51,4
P20	BASE	35,8	10,7	7,8	59,5	<0,05	13,3	49,4
P20	TOPO	7,5	0,5	<0,05	3,8	<0,05	0,5	3,1
P21	BASE	9,3	0,6	0,3	4,4	<0,05	0,5	3,1
P21	TOPO	11,5	0,6	1,2	4,5	<0,05	0,7	3,5
P22	BASE	33,8	1,7	<0,05	7,9	<0,05	1,2	5,9
P22	TOPO	31,5	2,1	<0,05	9,5	<0,05	1,8	7,7
P23	BASE	36,3	7,4	2,7	32,7	<0,05	7,1	27,6
P23	TOPO	38,8	10,4	7,9	49,8	<0,05	12,1	45,1
P24	BASE	35,8	6,0	3,0	31,4	<0,05	6,9	24,4
P24	TOPO	38,2	7,0	4,0	35,4	<0,05	7,8	28,3
P25	BASE	29,5	5,4	2,1	26,1	<0,05	5,2	18,0
P25	TOPO	38,8	7,5	5,3	36,6	<0,05	8,5	31,9
P26	BASE	36,9	6,8	2,0	31,6	<0,05	6,6	26,0
P26	TOPO	36,8	7,8	5,5	40,2	<0,05	9,4	34,4
P27	BASE	30,5	6,8	4,6	32,7	<0,05	7,3	27,1
P27	TOPO	34,0	7,4	3,6	39,6	<0,05	8,7	31,8
P28	BASE	34,3	6,2	3,9	31,9	<0,05	7,4	26,4
P28	TOPO	35,0	7,9	3,7	36,7	<0,05	8,0	30,9
P29	BASE	22,0	4,9	3,3	21,1	<0,05	3,8	18,7
P29	TOPO	34,0	7,2	5,4	34,6	<0,05	7,9	33,6
P30	BASE	31,9	8,5	7,0	45,5	<0,05	11,8	43,0
P30	MEIO	37,9	8,2	6,0	43,8	<0,05	10,4	36,0
P30	TOPO	35,7	7,2	4,9	37,3	<0,05	7,6	28,9
P31	BASE	34,6	7,0	2,8	39,7	<0,05	8,7	29,6
P31	MEIO	32,5	8,7	7,3	43,5	<0,05	11,0	45,1
P31	TOPO	30,9	6,9	4,0	34,6	<0,05	7,1	29,3
P32	BASE	30,7	6,6	4,5	34,3	<0,05	7,6	28,7
P32	TOPO	35,5	7,5	5,9	40,3	<0,05	9,3	34,5
P33	BASE	33,0	7,6	4,5	41,1	<0,05	8,9	31,6
P33	TOPO	43,7	8,8	6,0	49,1	<0,05	12,7	49,5
P34	BASE	36,5	9,3	8,4	52,5	<0,05	12,7	44,3
P34	MEIO	34,4	6,7	4,0	40,8	<0,05	9,3	31,8
P34	TOPO	35,3	8,3	5,3	41,4	<0,05	9,2	33,9
P35	BASE	36,8	7,5	6,1	49,8	<0,05	11,8	42,6
P35	MEIO	34,5	6,9	4,1	40,4	<0,05	9,0	32,7
P35	TOPO	34,7	8,4	4,9	44,6	<0,05	10,9	37,3
P36	BASE	26,9	6,3	5,2	38,8	<0,05	8,4	35,4
P36	MEIO	32,5	9,8	9,4	47,8	<0,05	10,9	47,1
P36	TOPO	31,0	7,7	7,0	39,3	<0,05	8,1	36,1
P37	BASE	32,2	7,3	6,1	42,6	<0,05	10,2	39,1
P37	MEIO	36,7	10,2	8,4	61,6	<0,05	13,4	45,6
P37	TOPO	11,1	2,3	2,3	12,2	<0,05	2,3	9,8
P38	BASE	37,4	8,8	9,9	60,0	<0,05	13,1	44,7
P38	MEIO	33,3	9,1	8,0	48,9	<0,05	11,0	42,4
P38	TOPO	33,7	10,6	8,2	50,4	<0,05	11,2	50,5
P39	BASE	30,4	7,0	6,3	42,5	<0,05	9,6	36,0
P39	MEIO	37,0	10,0	9,2	64,1	<0,05	12,8	46,6
P39	TOPO	34,8	10,9	9,5	60,1	<0,05	12,2	48,1
P40	BASE	40,4	7,8	8,9	66,1	<0,05	12,9	41,5
P40	MEIO	33,4	10,3	9,1	52,4	<0,05	12,0	43,4
P40	TOPO	16,6	10,9	10,9	42,3	<0,05	12,7	53,0
P41	BASE	39,4	9,1	7,5	48,8	<0,05	12,4	46,5

Pontos	Profun-didade	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	-	19	46,7	34	81	0,3	20,9	150
Nível 2	-	70	218	270	370	1,0	51,6	410
P41	TOPO	31,0	8,7	4,4	43,0	<0,05	9,6	36,7
P42	BASE	38,3	9,0	8,6	52,4	<0,05	12,6	42,3
P42	TOPO	34,7	7,0	5,3	38,8	<0,05	8,6	31,7
P43	BASE	34,0	6,1	4,1	32,1	<0,05	6,8	27,3
P43	TOPO	31,2	6,7	3,5	33,0	<0,05	7,0	25,4
P44	BASE	29,3	6,2	4,5	28,8	<0,05	6,1	29,2
P44	MEIO	33,1	7,1	4,6	32,0	<0,05	6,8	31,6
P44	TOPO	29,7	6,6	5,0	32,6	<0,05	7,0	29,1
P45	BASE	20,9	6,5	1,6	25,5	<0,05	6,4	25,0
P45	TOPO	36,0	6,5	2,9	31,7	<0,05	6,2	22,9
P46	BASE	36,7	6,1	2,0	28,3	<0,05	5,5	21,8
P46	TOPO	30,0	6,9	5,0	31,7	<0,05	6,2	27,0
P47	TOPO	36,8	8,9	11,8	53,0	<0,05	9,6	52,8
P47	BASE	33,5	7,5	11,0	48,0	<0,05	6,9	41,0
P48	TOPO	32,0	7,7	9,6	46,7	<0,05	7,2	42,2
P48	BASE	32,8	6,8	8,8	41,8	<0,05	6,2	36,3
P49	TOPO	22,7	3,9	3,4	22,3	<0,05	2,4	17,1
P49	BASE	29,3	5,9	7,2	36,1	<0,05	5,1	31,2
P50	TOPO	31,3	7,2	11,1	46,1	<0,05	7,0	41,0
P50	BASE	26,0	4,6	3,9	25,7	<0,05	2,2	18,9
P51	TOPO	33,5	5,6	5,4	32,6	<0,05	4,0	25,0
P51	MEIO	30,3	5,8	6,7	36,8	<0,05	5,1	32,0
P51	BASE	28,1	5,8	7,2	35,8	<0,05	4,7	31,4
P52	TOPO	18,6	2,5	2,3	16,9	<0,05	1,5	11,9
P52	MEIO	31,9	6,0	8,0	39,4	<0,05	6,0	35,0
P52	BASE	30,8	5,8	7,6	37,3	<0,05	5,4	32,4
P53	TOPO	24,2	3,6	3,2	21,6	<0,05	2,2	16,4
P53	MEIO	29,3	5,8	6,3	35,8	<0,05	5,4	33,5
P53	BASE	27,0	5,2	6,7	36,1	<0,05	5,1	32,3
P54	TOPO	28,4	6,8	7,8	40,5	<0,05	6,1	35,1
P54	BASE	32,4	5,3	7,5	36,4	<0,05	5,1	30,1
P55	TOPO	25,3	3,0	1,7	18,0	<0,05	1,9	15,0
P55	BASE	30,8	6,3	8,1	39,8	<0,05	6,1	36,6
P56	TOPO	24,1	2,8	2,1	17,5	<0,05	1,3	13,4
P56	MEIO	39,4	5,0	5,0	30,5	<0,05	3,7	24,7
P56	BASE	39,1	5,5	4,8	30,0	<0,05	3,9	28,1
P57	TOPO	14,8	2,1	1,7	13,1	<0,05	1,6	11,2
P57	MEIO	35,5	6,6	8,2	42,3	<0,05	6,1	36,6
P57	BASE	31,4	5,7	8,6	41,8	<0,05	6,2	36,0
P58	TOPO	18,4	2,7	2,8	15,9	<0,05	2,3	13,6
P58	BASE	9,9	0,9	0,5	6,1	<0,05	0,5	4,1
P59	TOPO	14,5	1,5	0,3	5,3	<0,05	0,5	3,4
P59	BASE	4,4	0,5	<0,05	1,8	<0,05	0,5	0,6
P60	TOPO	14,2	3,7	2,0	13,4	<0,05	1,8	9,5
P60	MEIO	16,2	2,4	1,3	12,5	<0,05	1,1	11,3
P60	BASE	2,6	0,5	<0,05	1,1	<0,05	0,5	0,5
P61	TOPO	13,1	3,0	1,7	11,6	<0,05	1,6	9,9
P61	MEIO	16,0	2,2	1,9	14,6	<0,05	1,8	11,6
P61	BASE	34,4	7,2	11,1	52,2	<0,05	8,9	51,0
#P09	BOTA FORA	33,5	7,6	6,1	35,3	<0,05	8,2	24,5
#P10	BOTA FORA	34,9	8,2	6,4	37,6	<0,05	8,6	26,7
#P11	BOTA FORA	27,3	7,4	6,2	35,4	<0,05	8,6	25,1
#P12	BOTA FORA	32,0	9,5	8,1	43,5	<0,05	10,5	30,2
#P13	BOTA FORA	36,7	7,7	5,7	35,6	<0,05	7,7	25,0

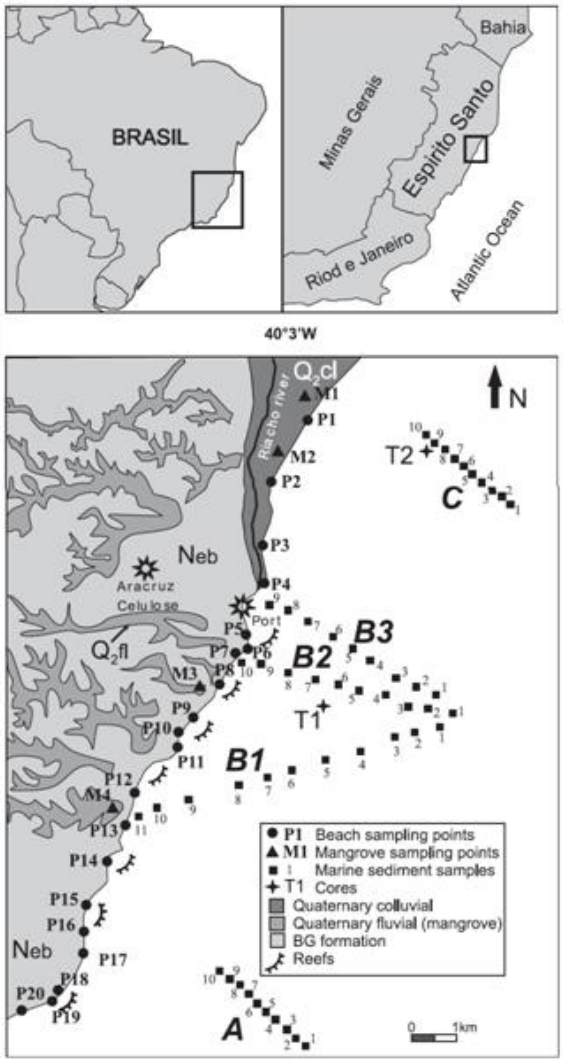
Fonte: Adaptado de Ecology Brasil e Econservation (2013).

Como pode ser observado na Tabela 73, o elemento arsênio foi o único que apresentou valores acima do nível 1 na maioria dos pontos amostrados. O cobre ultrapassou o nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012 apenas no ponto P13, na amostra coletada na base.

Enriquecimento de arsênio em sedimentos costeiros nos subtrópicos brasileiros (MIRLEAN et al., 2012)

Os autores apresentaram no artigo os resultados de coletas realizadas ao longo da costa da região de Barra do Riacho (Aracruz – ES), no período de abril a junho de 2008. Foi feito um total de 76 coletas, sendo 20 nas praias, quatro em áreas de mangue e 52 em sedimentos de fundo na plataforma continental, das quais duas foram feitas com testemunhadores (Figura 199).

Figura 199 – Localização dos pontos amostrados.



Fonte: Mirlean et al. (2012).

Foram analisados os sedimentos para os parâmetros: alumínio, arsênio e ferro (Tabela 74), assim como a granulometria das amostras (Tabela 75). Essas análises foram realizadas nas amostras coletadas nas áreas de praia norte, praia sul, manguezal e ambiente marinho.

Tabela 74 – Composição química das amostras analisadas.

Ponto	Área	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Nível 1	-	-	19	-
Nível 2	-	-	70	-
P1	Praia norte	800	12,5	99.800
P2	Praia norte	400	9,1	2.600
P3	Praia norte	1.100	11,3	4.100
P4	Praia norte	1.300	15,4	11.900
P5	Praia sul	600	38,2	11.300
P6	Praia sul	800	39,7	11.500
P7	Praia sul	500	36,9	8.400
P8	Praia sul	300	37,2	8.000
P9	Praia sul	2.000	24,9	36.600
P10	Praia sul	800	35,2	8.900
P11	Praia sul	1.000	39,7	9.700
P12	Praia sul	1.200	32,3	7.700
P13	Praia sul	800	32,3	9.100
P14	Praia sul	1.100	28,6	9.100
P15	Praia sul	700	37,7	6.800
P16	Praia sul	1.000	31,4	4.600
P17	Praia sul	1.500	39,1	9.600
P18	Praia sul	800	43,1	7.200
P19	Praia sul	1.200	42,7	12.000
P20	Praia sul	600	34,7	5.800
M1	Manguezal	7.400	5,9	2.800
M2	Manguezal	3.100	12,6	10.400
M3	Manguezal	25.600	49,2	12.800
M4	Manguezal	2.800	40,6	34.800
A1	Marinho	1.200	18,7	7.800
A2	Marinho	1.100	30,3	4.900
A3	Marinho	3.200	47,5	19.600
A4	Marinho	3.400	56,7	8.000
A5	Marinho	29.900	44,2	50.400
A6	Marinho	1.100	54,4	13.200
A7	Marinho	28.800	41,9	60.400
A8	Marinho	3.300	107,1	27.500
A9	Marinho	2.300	71,9	28.400
A10	Marinho	3.700	58,4	25.800
B1/1	Marinho	2.500	59,4	20.700
B1/2	Marinho	3.200	66,1	19.400
B1/3	Marinho	2.300	54,7	3.700
B1/4	Marinho	2.700	76,5	18.300
B1/5	Marinho	18.200	44,2	27.700
B1/6	Marinho	26.500	14,1	50.300
B1/7	Marinho	29.000	46,5	44.000
B1/8	Marinho	27.400	53,6	66.700
B1/9	Marinho	1.800	87,5	24.500
B1/10	Marinho	1.400	42,3	17.400
B1/11	Marinho	700	40,6	13.800
B2/1	Marinho	2.200	67,5	20.600
B2/2	Marinho	3.400	77,5	26.500
B2/3	Marinho	15.000	134,0	43.400

Ponto	Área	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Nível 1	-	-	19	-
Nível 2	-	-	70	-
B2/4	Marinho	3.900	56,6	15.100
B2/5	Marinho	5.500	15,4	14.100
B2/6	Marinho	4.500	70,3	19.300
B2/7	Marinho	1.400	104,0	24.700
B2/8	Marinho	21.300	76,9	35.900
B2/9	Marinho	2.400	86,6	32.900
B2/10	Marinho	2.600	44,6	12.500
B3/1	Marinho	3.400	61,7	24.600
B3/2	Marinho	2.200	67,5	20.600
B3/3	Marinho	2.600	58,7	17.500
B3/4	Marinho	3.000	48,2	12.300
B3/5	Marinho	18.100	40,1	19.000
B3/6	Marinho	2.100	96,8	25.700
B3/7	Marinho	2.300	96,2	48.500
B3/8	Marinho	1.600	47,2	18.200
B3/9	Marinho	1.700	43,3	19.100
C1	Marinho	1.000	33,1	17.000
C2	Marinho	14.100	38,1	47.700
C3	Marinho	8.800	37,4	34.700
C4	Marinho	17.200	12,0	60.500
C5	Marinho	1.900	47,1	21.900
C6	Marinho	2.600	59,0	19.600
C7	Marinho	1.700	59,5	30.400
C8	Marinho	1.200	17,7	15.800
C9	Marinho	800	52,4	21.800
C10	Marinho	18.900	11,6	57.600

Fonte: Adaptado de Mirlean et al. (2012).

Na região de praia norte, foram realizadas quatro coletas, estando as concentrações de metais todas abaixo do nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Na praia sul, todas as 16 amostras coletadas apresentavam concentrações de arsênio acima do nível 1. Das quatro amostras coletadas no manguezal, duas apresentaram valores de arsênio acima do nível 1. Na região marinha, das 50 coletas realizadas, 64,0% indicaram valores de arsênio acima do nível 1, estando 24,0% acima do nível 2. Para as concentrações de ferro e alumínio, não há um nível estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012.

Tabela 75 – Composição granulométrica das amostras analisadas.

Ponto	Área	Areia e cascalho (%)	Argila e silte (%)
P1	Praia norte	100	0
P2	Praia norte	100	0
P3	Praia norte	100	0
P4	Praia norte	100	0
P5	Praia sul	100	0
P6	Praia sul	100	0
P7	Praia sul	100	0
P8	Praia sul	100	0
P9	Praia sul	100	0
P10	Praia sul	100	0
P11	Praia sul	100	0
P12	Praia sul	100	0
P13	Praia sul	100	0
P14	Praia sul	100	0

Ponto	Área	Areia e cascalho (%)	Argila e silte (%)
P15	Praia sul	100	0
P16	Praia sul	100	0
P17	Praia sul	100	0
P18	Praia sul	100	0
P19	Praia sul	100	0
P20	Praia sul	100	0
M1	Manguezal	73,6	26,4
M2	Manguezal	82,2	17,9
M3	Manguezal	8,4	91,6
M4	Manguezal	100	0,0
A1	Marinho	98,5	1,5
A2	Marinho	95,5	4,5
A3	Marinho	100	0,0
A4	Marinho	100	0,0
A5	Marinho	32,3	67,7
A6	Marinho	98,7	1,3
A7	Marinho	20,6	79,4
A8	Marinho	95,5	4,5
A9	Marinho	96	4,0
A10	Marinho	98	2,0
B1/1	Marinho	98	2,0
B1/2	Marinho	98	2,0
B1/3	Marinho	95,7	4,3
B1/4	Marinho	98,7	1,3
B1/5	Marinho	67,5	32,5
B1/6	Marinho	3,2	96,8
B1/7	Marinho	10,3	89,7
B1/8	Marinho	3,7	96,3
B1/9	Marinho	100	0,0
B1/10	Marinho	99,9	0,1
B1/11	Marinho	100	0,0
B2/1	Marinho	100	0,0
B2/2	Marinho	95,7	4,3
B2/3	Marinho	91,4	8,6
B2/4	Marinho	97,1	2,9
B2/5	Marinho	93,3	6,7
B2/6	Marinho	98,1	1,9
B2/7	Marinho	100	0,0
B2/8	Marinho	76,3	23,7
B2/9	Marinho	98,6	1,4
B2/10	Marinho	92,8	7,2
B3/1	Marinho	99	1,0
B3/2	Marinho	100	0,0
B3/3	Marinho	97,6	2,4
B3/4	Marinho	92,8	7,2
B3/5	Marinho	82,4	17,6
B3/6	Marinho	95,7	4,3
B3/7	Marinho	98,2	1,8
B3/8	Marinho	92,5	7,5
B3/9	Marinho	98,6	1,4
C1	Marinho	100	0,0
C2	Marinho	32,5	67,5
C3	Marinho	72,7	27,3
C4	Marinho	24,8	75,2
C5	Marinho	97,4	2,6
C6	Marinho	94,9	5,1
C7	Marinho	100	0,0
C8	Marinho	100	0,0

Ponto	Área	Areia e cascalho (%)	Argila e silte (%)
C9	Marinho	100	0,0
C10	Marinho	36	64,0

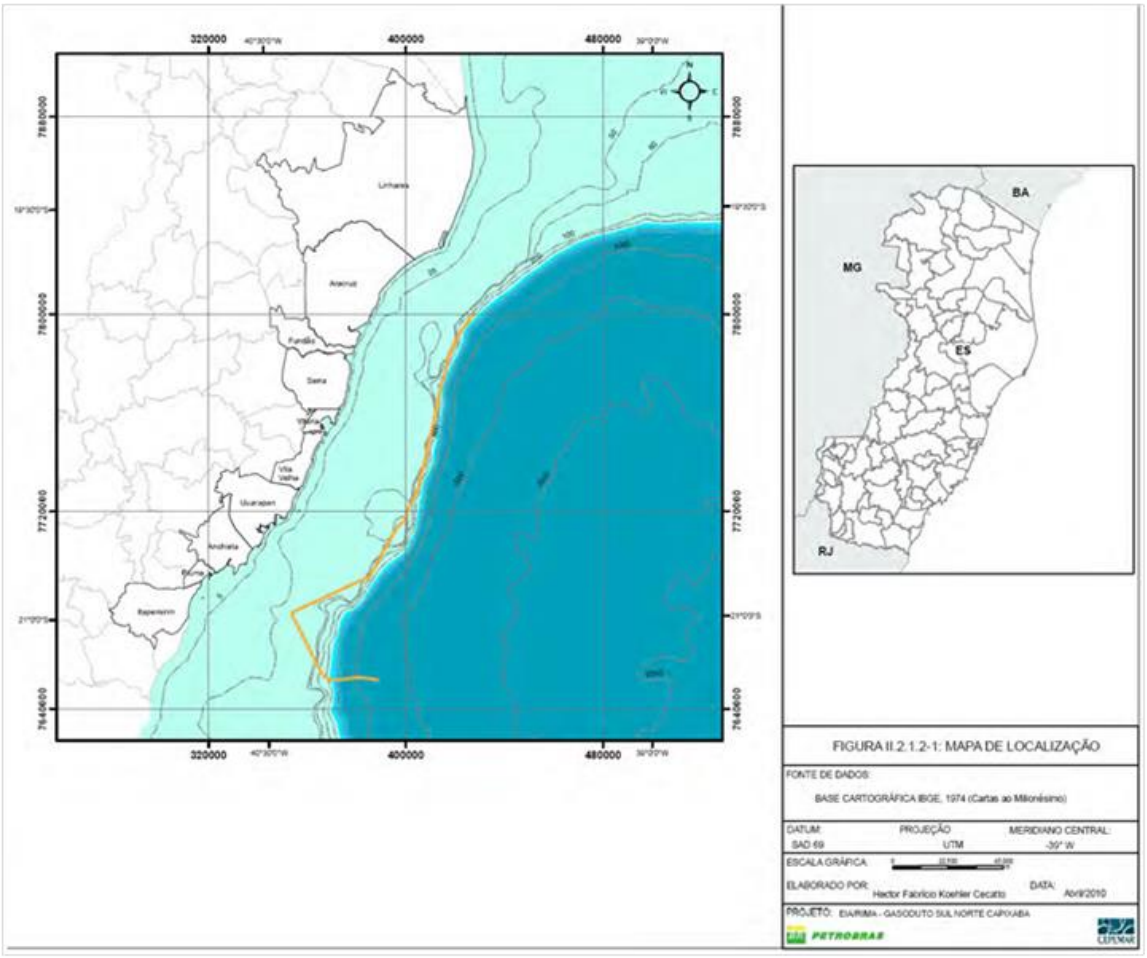
Fonte: Adaptado de Mirlean et al. (2012).

Quanto à granulometria, tanto na praia norte quanto na praia sul, o material encontrado era totalmente composto por areia e cascalho; nas áreas de manguezal e marinho, houve predominância desse mesmo material.

Estudo de impacto ambiental para o gasoduto Sul-Norte capixaba (PETROBRAS, 2011)

O estudo foi realizado com o objetivo de analisar os impactos ambientas da implantação de um gasoduto na região da borda da plataforma continental do estado do Espírito Santo, a aproximadamente 20 km da costa (Figura 200), com comprimento de aproximadamente 150 km e extensão do sul do estado até a região de Linhares, próximo à foz do rio Doce.

Figura 200 – Localização do gasoduto.



Fonte: Petrobras (2011).

Para efeitos deste relatório, foram utilizados apenas os resultados retirados da porção norte do gasoduto, uma vez que é a região de interesse (Tabela 76 e Tabela 77). No estudo, não foram disponibilizados os valores brutos das concentrações de metais, somente as médias dos pontos amostrados para alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, ferro, mercúrio, níquel e zinco.

Tabela 76 – Parâmetros estatísticos dos metais em sedimentos da região oceânica norte estudada.

Metais (mg/kg)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Nível 1	Nível 2
Al	51.649	18.748	8.950	83.715	-	-
Ba	124,9	63,4	45,0	439,0	-	-
Cd	0,5	0,0	<0,5	0,7	1,2	7,2
Pb	14,0	5,7	2,3	31,0	46,7	218
Cu	13,5	3,5	4,0	23,0	34	270
Cr	48,3	11,7	14,0	68,0	81	370
Fe	46.853	14.689	9.400	80.668	-	-
Hg	0,1	0,2	<0,02	0,7	0,3	1,0
Ni	16,6	4,6	7,9	29,0	20,9	51,6
Zn	36,4	9,4	11,0	52,0	150	410

Fonte: Adaptado de Petrobras (2011).

Tabela 77 – Parâmetros estatísticos dos metais em sedimentos da região costeira norte estudada na bacia do Espírito Santo.

Metais (mg/kg)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Nível 1	Nível 2
Al	12.819	18.167,0	2.719	64.020	-	-
Ba	20,2	2,9	17,8	23,4	-	-
Cd	1,3	0,5	0,5	2,3	1,2	7,2
Pb	21,3	10,7	5,2	46,8	46,7	218
Cu	11,3	4,9	2,8	22,1	34	270
Cr	163,2	209,4	3,6	876,5	81	370
Fe	25.256	10.132	10.000	47.720	-	-
Hg	0,5	0,0	0,5	0,5	0,3	1,0
Ni	188,6	137,8	5,3	558,9	20,9	51,6
Zn	17,5	14,8	6,4	53,1	150	410

Fonte: Adaptado de Petrobras (2011).

Como observado anteriormente em outros estudos, as concentrações de ferro e alumínio foram de ordem de grandeza elevada, se comparadas com a dos outros metais. No entanto, como não há limites em legislações para esses elementos, estudos mais aprofundados seriam necessários para identificar se essas concentrações altas têm algum efeito de desequilíbrio na região.

Para os valores médios encontrados na região oceânica norte, não foram verificados valores de concentração significativos acima dos níveis 1 e 2 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012 para águas salinas. Quando analisados os valores da região costeira norte, as concentrações de cádmio, cromo e mercúrio encontraram-se acima do nível 1, sendo que o níquel apresentou valores acima do nível 2. Os demais metais foram quantificados abaixo do nível 1.

Relatório de monitoramento da dragagem da Portocel – campanha pré-operacional (PORTOCEL; CEPEMAR, 2008)

Este foi um estudo realizado pelas empresas Portocel e Cepemar, no ano de 2008, analisando as condições em que se encontravam as áreas afetadas pelo Terminal Especializado de Barra do Riacho (Aracruz – ES), no intuito de viabilizar áreas de dragagem de sedimentos na área portuária, para tentar minimizar os riscos à navegação no local. Os resultados incluíram análises para os seguintes parâmetros: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco (Tabela 78).

Tabela 78 – Composição granulométrica das amostras analisadas.

Pontos	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	19	1,2	46,7	34	81	0,3	20,9	150
Nível 2	70	7,2	218	270	370	1	51,6	410
AS01	16	< 0,4	1,9	< 0,4	4,6	< 0,013	1,7	0,9
AS10	42	< 0,4	4,8	< 0,4	9,2	< 0,021	4,9	2,5
AS11	34	< 0,5	3,6	< 0,5	8,3	< 0,018	3,1	1,6
AS12	34	< 0,3	3,4	0,6	8,8	< 0,02	3,4	2,5
AS13	36	< 0,4	3,4	< 0,4	8,8	< 0,015	2,7	1,5
AS14	40	< 0,4	3,9	< 0,4	8,9	0,03	3,9	2,5
AS15	44	< 0,4	4,7	< 0,4	9,3	< 0,015	4,0	2,2
AS16	34	< 0,4	3,6	< 0,4	9,7	< 0,016	3,8	2,1
AS19	25	< 0,4	3,0	< 0,4	8,7	< 0,028	2,2	1,3
AS20	25	< 0,5	3,1	< 0,5	9,8	0,02	1,9	1,7
AS24	17	< 0,5	2,4	< 0,5	7,0	0,03	1,7	1,1

Fonte: Adaptado de Portocel e Cepemar (2008).

Somente o arsênio apresentou concentrações acima do nível 1. Para os demais metais, todas as concentrações encontraram-se abaixo dele (nove das 11 amostras).

Relatório de controle ambiental – dragagem de manutenção das áreas navegáveis do Terminal Especializado de Barra do Riacho (PORTOCEL, 2010)

De forma similar ao estudo anterior, este relatório teve o objetivo de analisar os impactos ambientais da manutenção das áreas de dragagem e de bota-fora do Terminal Especializado de Barra do Riacho (Portocel). Os resultados incluíram dados das análises geoquímicas dos sedimentos de fundo para os seguintes parâmetros: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco (Tabela 79). Os pontos com o prefixo AS estão localizados na mesma área que os pontos de amostragem da subseção anterior (PORTOCEL; CEPEMAR, 2008), ou seja, na área de bota-fora dos sedimentos a ser dragados, mas numa campanha posterior.

Tabela 79 – Composição granulométrica das amostras analisadas.

Pontos	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	19	1,2	46,7	34	81	0,30	20,6	150
Nível 2	70	7,2	218	270	370	1,00	51,6	410
P1	16,0	0,06	2,7	0,25	4,8	0,13	0,68	3,5
P2	24,0	0,06	11,0	5,1	29,0	0,11	7,8	23,0
P3	9,3	0,09	5,0	3,4	27,0	0,19	4,4	16,0
P4	25,0	0,10	11,0	6,0	33,0	0,20	7,2	27,0
P5	7,4	0,07	2,6	1,7	11,0	0,14	1,8	9,4
P6	47,0	0,13	21,0	14,0	64,0	0,28	16,0	57,0
P7	41,0	0,11	18,0	9,6	44,0	0,24	9,5	40,0
P8	35,0	0,11	16,0	10,0	45,0	0,22	10,0	42,0
P9	0,3	0,06	0,7	0,24	5,9	0,12	0,6	3,8
P10	33,0	0,11	16,0	14,0	42,0	0,23	8,8	47,0
P11	6,0	0,10	6,0	6,3	16,0	0,21	3,1	16,0
P12	46,0	0,06	6,6	0,25	9,8	0,04	3,1	5,7
P13	35,0	0,16	20,0	10,0	62,0	0,11	19,0	49,0
P14	51,0	0,17	26,0	13,0	79,0	0,11	24,0	66,0
P15	22,0	0,10	12,0	6,4	39,0	0,07	10,0	33,0
P16	44,0	0,18	26,0	14,0	80,0	0,11	26,0	66,0
P17	41,0	0,17	23,0	15,0	75,0	0,11	22,0	67,0
P18	33,0	0,14	19,0	13,0	60,0	0,09	17,0	57,0
P19	24,0	0,12	16,0	14,0	57,0	0,08	16,0	60,0
P20	33,0	0,13	19,0	18,0	61,0	0,09	17,0	65,0
AS1	45,0	0,20	4,2	1,8	31,6			5,2
AS10	99,0	0,50	9,1	1,8	41,6			14,4
AS11	4,0	0,10	0,8	1,5	18,9			2,5
AS12	59,0	0,20	6,0	1,8	36,5			6,6
AS13	39,0	0,10	5,1	1,7	31,6			6,3
AS14	78,0	0,30	7,7	1,7	37,4			8,3
AS15	3,0	0,10	1,7	3,6	15,6			3,1
AS16	3,0	0,10	1,4	1,2	18,2			3,4
AS19	28,0	0,50	15,8	11,7	88,4			41,6
AS20	63,0	0,30	6,4	1,9	41,9			7,3
AS24	50,0	0,20	5,8	1,5	31,6			6,5

Fonte: Adaptado de Portocel (2010).

Para todos os locais, excluindo as áreas de bota-fora, foram realizadas 20 coletas. Para os valores de arsênio, foi verificado que 75% das amostras apresentavam concentrações acima do nível 1. O elemento níquel revelou 15% das amostras com concentração acima desse nível. Nenhum elemento apresentou valores acima do nível 2 nessa coleta e os demais metais mostraram concentrações abaixo do nível 1.

Nas áreas de bota-fora, foram feitas 11 coletas, sendo que 54% das amostras de arsênio apresentaram concentrações acima do nível 1 e 18%, acima do nível 2. Para o cromo, somente 9% dos resultados estavam acima do nível 1 e, para os metais restantes, os valores encontraram-se abaixo dele.

Bentos de fundos não consolidados (ambientes estuarino e costeiro)

O **Apêndice P** apresenta uma lista de táxons registrados em literatura, até o momento, para ambientes costeiros do estado do Espírito Santo. É provável que novos sejam adicionados no decorrer do programa, na medida em que novas literaturas sejam somadas ao levantamento realizado para a região. Foram inclusas na lista espécies utilizadas em cultivos da região.

A seguir, serão apresentados os resultados das buscas bibliográficas dos principais ecossistemas litorâneos da costa do Espírito Santo e do Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (ReviZEE) para as regiões de plataforma e talude.

Manguezais e planícies de maré não vegetadas

Manguezais e planícies não vegetadas encontram-se distribuídos ao longo de praticamente todo o litoral brasileiro. Esses ecossistemas dominam a zona entremarés, associada às margens de baías, enseadas, barras, desembocadura de rios, lagunas e reentrâncias costeiras em que haja encontro da água de rios com a do mar, ou diretamente exposta à linha da costa (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000).

O manguezal é um ecossistema complexo, altamente resiliente e resistente. A cobertura vegetal, ao contrário do que acontece nas praias arenosas e nas dunas, instala-se em substratos de vasa de formação recente, de pequena declividade, sob a ação diária das marés de água salgada ou, pelo menos, salobra (SNEDAKER; SNADEKER, 1984).

As planícies de maré são feições comuns de regiões litorâneas, presentes tanto em áreas estuarinas quanto em costas abrigadas. São áreas em costas de baixo declive, com marcados ciclos de marés, suficiente sedimento disponível e sem forte ação das ondas. A forma da costa e o regime de maré determinam a extensão da planície. O ciclo de maré local define o tempo de exposição durante a maré baixa. As ondas e as correntes de maré selecionam e redepositam as partículas do sedimento, determinando sua distribuição, estabilidade e composição. O clima local e a geomorfologia das marés afetam a distribuição dos organismos nesses ambientes (REISE, 1985), sendo as planícies de maré caracterizadas por sedimentos predominantemente argilosos, altamente hidratados e ricos em matéria orgânica.

A vegetação típica dos manguezais brasileiros é composta por espécies arbóreas *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. No Espírito Santo, *A. germinans* também foi registrada entre as árvores de mangue, mas em baixas densidades. Mais de 70% da desembocadura de rios e estuários ao longo das costas tropical e subtropical é coberta por bosques de mangue, cuja extensão mundial é estimada em mais de 181.000 km^2 (SPALDING; BLASCO; FIEL, 1997).

A estimativa feita pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010 apud SOUZA; JUCÁ, 2012) da área total de manguezais é de 1.277.684 ha; desse total, apenas 7.943 ha, ou seja, menos de 1%, estão localizados no Espírito Santo. Avalia-se que 2.780 ha sejam a área suprimida para empreendimentos de salinas e carcinocultura.

Os manguezais acabam de ter reconhecida sua função como componente-chave no ciclo do carbono atmosférico, sendo considerados, entre as florestas tropicais, os mais ricos em carbono, tanto na estrutura arbórea quanto no sedimento, como reservatório desse elemento. Pela importância como provedor de bens e serviços ecossistêmicos, o quilômetro quadrado (km^2) de manguezal teve seu valor anual estimado entre 200 mil e 900 mil dólares americanos (SOUZA; JUCÁ, 2012).

Embora a diversidade de espécies seja considerada baixa quando comparada a outros ecossistemas tropicais, como recifes de corais e flores úmidas, a produtividade primária dos manguezais está entre as maiores do mundo (HUTCHINGS; RECHER, 1982; ALONGI, 1988; ROBERTSON; ALONGI, 1992).

Estudos sobre a fauna de manguezais e planícies de maré são extremamente necessários pela elevada importância ecológica e econômica desses sistemas. Algumas espécies apresentam importância comercial, como os caranguejos, teredos, berbigões e ostras. Por outro lado, muitas espécies fazem parte da cadeia alimentar de peixes, aves e mamíferos.

Tanto as árvores do mangue quanto a fauna associada possuem uma série de adaptações à vida da região de entremarés. A fauna dos manguezais é responsável pela transformação da matéria orgânica vegetal em detrito, por meio das atividades mecânicas, tornando-a disponível para os organismos estuarinos em geral. Também é responsável pela aeração e incorporação de matéria orgânica nos solos, pelo processo de bioturbação (AVELINE, 1980).

Vários estudos sobre a vegetação dos manguezais do Espírito Santo foram realizados. As espécies arbóreas típicas de mangue registradas foram *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia schaeurianna* e *A. germinans*. A estrutura da vegetação dos mangues locais foi estudada levando em consideração a geomorfologia e parâmetros físicos e químicos por Carmo et al. (1998a, 1998b, 2000), Silva, Bernini e Carmo (2005), Vale (2006), Lima (2011), Petri et al. (2011), Silva (2011) e Londe et al. (2013); a colonização e fixação dos propágulos por Lima et al. (2013) e Lima (2014); a fisiologia das plantas por Pascoalini (2014); e o grau de antropização por Carmo et al. (1995), Pereira et al. (2009), Vale e Ross (2011) e Vale, Deel'Orto-e-Silva e Wanderley (2012). As macroalgas foram estudadas por Santos (2016), em um manguezal às margens do rio São Mateus.

Estudos avaliando a fauna de bancos não vegetados exclusivamente são praticamente inexistentes. As espécies são tratadas dentro dos estudos ecológicos dos manguezais. Além disso, a fauna dos manguezais do Espírito Santo foi mais estudada do que a vegetação. As espécies de interesse comercial foram as que obtiveram maior enfoque.

Com relação aos grandes grupos taxonômicos, os moluscos com interesse econômico e de cultivo foram os mais estudados. Müller e Lana (2004), Silva (2011), Silva e Tognella (2013) e Silva (2014) estudaram a composição e distribuição das espécies de *Teredinidae* em manguezais do Espírito Santo. Popularmente conhecidos como teredos turus, turuaçús, gusanos, busanos, busames, anomias ou ubiraçocas, são organismos altamente especializados em perfuração de madeiras, para proteção e fonte de alimento (OMENA; JUNQUEIRA; SILVA, 1990). Esse grupo tem importância por funcionar como agente redutor da matéria orgânica, particulando a madeira e, quando morrem, deixando expostas suas galerias, o que facilita a

ação de bactérias e fungos. Além disso, serve de alimento para invertebrados e vertebrados, tanto no período larval quanto após a metamorfose (SILVA, 2014).

Algumas espécies de moluscos foram investigadas em ambiente de cultivo no litoral do Espírito Santo. A viabilidade técnica para o cultivo da espécie de ostra *Crassostrea rhizophorae* foi testada no estuário do rio Piraquê-Açu, em Aracruz. As altas taxas de mortalidade verificadas no estudo foram relacionadas com a alta salinidade do local e vários predadores das formas juvenis e adultas (ALVARENGA; NALESSO, 2006).

C. rhizophorae e os mexilhões *Mytella falcata*, *M. charruana* e *M. guyanenses* foram utilizados como bioindicadores de metais pesados e na verificação da contaminação ambiental por vírus no estuário do rio Santa Maria, na Grande Vitória (SOUSA; JESUS, 1999; COSTA; NALESSO, 2002; NALESSO; BARROSO, 2005, 2007; SOUZA, 2012). Já a influência da colonização das cracas no cultivo do mexilhão *Perna perna* foi investigada no município de Anchieta (NALESSO; GARCIA-PRADO, 2003).

Os aspectos ecológicos da malacofauna de manguezal foram investigados por Rocha, Carmo e Conti (1996), em um bosque às margens do rio da Passagem, em Vitória. Os poliquetas de manguezais tiveram menos destaque nas pesquisas. As espécies foram registradas nos estudos ecológicos, nas listas dos relatórios técnicos e nos estudos de Conti e Carmo (1995), em manguezais no estuário do rio Piraque-Açu, e Conti, Carmo e Rocha (1996), no rio da Passagem, na Grande Vitória, além dos catálogos de espécies do grupo.

Entre os crustáceos, os estudos de Floeter et al. (2000) e Nalesso et al. (2005a, 2005b) deram enfoque aos Anomura e Diogenidae. Os Decapoda foram estudados por Moreira, Ramos e Freitas Netto (2010), no município da Serra, e Pereira (2014), nos estuários dos rios Piraquê-Mirim e Piraquê-Açu. Os autores realizaram levantamento das espécies, dinâmica populacional e produção secundária de *Uca* sp.

A espécie *Ucides cordatus*, o caranguejo-uçá típico de áreas de mangue, foi bastante investigada por possuir interesse comercial no litoral do Espírito Santo. Os aspectos do desenvolvimento reprodutivo e tamanho mínimo de maturação de suas fêmeas foram descritos por Sampaio et al. (2011), na baía de Vitória, no município da Serra. A bioecologia e distribuição espaço-temporal foram estudadas por Miranda et al. (2005), em manguezais de São Mateus, Vitória e Anchieta, verificando-se a diferença significativa entre os valores morfométricos dos animais coletados em Vitória quando comparados com os demais; esses resultados foram atribuídos à maior ação antrópica no local das coletas. Conti e Nalesso (2006, 2010) investigaram a distribuição espacial das populações do caranguejo-uçá, em manguezais do rio Piraquê-Açu, em Aracruz; Góes et al. (2010), em seu estudo em um manguezal na baía de Vitória, evidenciaram que a população encontrava-se sobre-explotada, requerendo manejo adequado para a viabilidade da atividade extrativa na área estudada; e Vianna (2013) estudou as estruturas demográfica e genética dessa espécie na costa brasileira, incluindo manguezais do litoral do Espírito Santo.

A gestão participativa dessa espécie, na coleta de caranguejos no Espírito Santo e Santa Catarina, foi abordada por Rodrigues et al. (2000), que avaliaram o ordenamento pesqueiro de modo a obter sustentabilidade no uso do recurso, equilíbrio do ecossistema em que ocorre a atividade, garantia de preservação da espécie, rentabilidade econômica, geração de emprego e renda justa para o trabalho.

O desenvolvimento larval em laboratório de *Cardissoma guanhumi* foi analisado por Conholato, Fernandes e Zandonade (2004).

No Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Conceição da Barra, 18 espécies de caranguejos, como, por exemplo, *Aratus pisonii*, *Goniopsis cruentata* e *Eurytium limosum*, foram citadas para os manguezais e região estuarina (IEMA, 2014).

Estudos de comunidades bênticas nos manguezais foram realizados por Nalesso e Mazioli (2000), Nalesso et al. (2005c, 2007) e Costa e Nalesso (2006). Melo et al. (2007) abordaram os invertebrados bênticos ameaçados de extinção no Espírito Santo.

Praias e fundos arenosos

As praias constituem sistemas dinâmicos, em que elementos básicos como ventos, água e areia interagem, resultando em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos (BROWN; MCLACHLAN, 1990); compreendem uma porção subaérea (supra e mediolitoral) e outra subaquática, que inclui a zona de arrebentação e se estende até a base orbital das ondas (WRIGHT; SHORT, 1983).

A morfologia dos perfis praiais em uma determinada região é função do nível energético das ondas, uma vez que essa energia é liberada nas zonas costeiras. Nesse sentido, quanto ao grau de exposição, as praias podem ser identificadas desde muito expostas a muito protegidas, sendo a variabilidade física resultante da combinação de parâmetros básicos, como característica das ondas e granulometria do sedimento (MCLACHLAN, 1980). Ainda, podem ser classificadas como dissipativas a reflexivas, dependendo da morfologia do fundo, do padrão de circulação e da dinâmica de correntes (VILLWOCK, 1994).

Vários motivos justificam o marcado interesse pelo conhecimento da fauna de praias. Muitas espécies têm importância econômica direta, como é o caso dos crustáceos e moluscos utilizados na alimentação humana ou como isca para pesca; a estes, são somados os poliquetas, que também constituem rica fonte de alimento para alguns organismos, principalmente peixes, crustáceos e aves (AMARAL et al., 1994).

A macrofauna da zona entremarés de praias pode ser caracterizada como uma comunidade com baixa diversidade, reduzida riqueza e elevada dominância numérica de poucas espécies, quando comparada com a de regiões submersas. A macrofauna bêntica está representada pela maioria dos grupos taxonômicos, como Cnidaria, Turbellaria, Nemertinea, Nematoda, Annelida, Mollusca, Echiura, Sipuncula, Crustacea, Pycnogonida, Brachiopoda, Echinodermata e Hemichordata. Entre estes, os numericamente mais importantes são Polychaeta, Mollusca e Crustacea (BROWN; MCLACHLAN, 1990).

Amaral et al. (2003, 2016) constataram que o maior volume de informações se concentra nas regiões Sul e Sudeste, com destaque para os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. A partir daí, diminui progressivamente em direção aos estados do Nordeste e Norte do país. Por exemplo, poucos estudos foram realizados caracterizando as comunidades praiais do estado do Espírito Santo como um todo (COUTINHO, 2015; TEIXEIRA, 2016). Recentemente, Soares e Bernardino (2016) observaram o impacto da contaminação por óleo nas comunidades praiais da área de proteção ambiental Costa das Algas, em Aracruz.

Também no estado do Espírito Santo, alguns estudos foram realizados com as comunidades praiais associadas às algas (MARQUETTI; RAMOS, 2012; CRUZ, 2014). A caracterização da composição e distribuição espaço-temporal dos Cnidaria no litoral foi estudada por Grohmann e Matsumura-Tundisi (1997), Longo e Schlenz (1997) e Guast, Morandini e Nunes (2009). Venekey, Fonseca-Genevois e Santos (2010), por sua vez, realizaram uma revisão sobre a biodiversidade de Nematoda, incluindo as praias do estado.

Os Polychaeta de rodolitos foram estudados por Berlandi et al. (2012), que avaliaram a composição, abundância, diversidade e estrutura funcional, por meio da coletada de 26 famílias. Já os Mollusca foram estudados por Castro e Santos (1989), que fizeram um levantamento preliminar de moluscos em praias do Espírito Santo, e Silva (2012), que avaliou a diversidade e distribuição do gênero *Alvania* sp., tendo citado o gênero para a costa do estado.

As espécies de *Crustacea* com interesse pesqueiro e fauna acompanhante das atividades pesqueiras no litoral sul do estado foram estudadas por Eutrópio (2009), Mariela, Nunes e Braga (2010), Oliveira et al. (2012), Eutrópio et al. (2013) e Ferreira et al. (2015). Nunes (2011) utilizou o camarão *Farfantepenaeus brasiliensis* como bioindicador de metais pesados no ambiente, enquanto Ribeiro et al. (2016) caracterizaram os crustáceos associados ao cultivo de *Perna perna* no litoral do estado.

A ocorrência e distribuição de *Emerita brasiliensis* foram registradas por Dutra, Régis e Krohling (2011). Nesse estudo, realizado na praia do Moro, em Guarapari (ES), os autores verificaram a influência das marés na abundância da espécie, registrando maior número de indivíduos na maré de sigízia, quando comparada com a maré de quadratura.

A distribuição ecológica e reprodução do crustáceo *Callichirus major*, conhecido como corrupto, foram registradas no litoral sul do Espírito Santo por Magalhães et al. (2014a, 2014b, 2015).

A estrutura da população e distribuição dos braquiúros *Callinectes ornatus* (siri) e *Hepatus pudibundus* (siri-baú) foram estudadas, respectivamente, por Tavares (2014a) e Magalhães et al. (2014a), no litoral de Anchieta. Ainda, o levantamento de Crustacea em ambientes praiais e infralitoral foi realizado no litoral sul do Espírito Santo por Braga et al. (2012), Laino et al. (2012) e Tavares et al. (2014b, 2016).

Alguns estudos técnicos de licenciamento contribuíram para o levantamento das espécies do infralitoral na costa do Espírito Santo (BIODINÂMICA, 2007; ALGADERMIS, 2010; PETROBRAS, 2010).

Estuários

Os estuários são de interesse internacional não somente por seu significado ecológico, mas também por seu valor para qualidade de vida das populações litorâneas. Embora compreendam uma pequena fração da área total e volume da hidrosfera marinha, esses complexos ambientes costeiros servem como *habitat* para um número considerável de organismos aquáticos. São utilizados como áreas de refúgio para várias espécies de água doce, como *habitat* para várias formas especialmente adaptadas para sobrevivência em condições estuarinas e como região essencial para a história de vida e desenvolvimento de muitas populações marinhas (KENNISH, 1986).

A água de estuário pode ser classificada como oligo, meso, poli ou eurialina, conforme sua salinidade média, cuja variabilidade é uma característica fundamental, de modo que os organismos que vivem nesse *habitat* necessitam possuir grandes tolerâncias (NYBAKKEN, 2001).

As comunidades bênticas dos estuários são constituídas por um conjunto de espécies tipicamente da zona de estuário e outras que nela penetram vindas do mar, mais um pequeno número de espécies com capacidade osmorreguladora, que lhes permite entrar e sair do meio de água doce. Polychaeta é o filo mais expressivo em número de táxons.

Nas últimas décadas, atividades antrópicas têm contribuído para a transformação dos ecossistemas estuarinos, seja pela massiva introdução de efluentes, ocupação urbana e remoção de áreas vegetadas, seja por intervenções na hidrodinâmica costeira ou crescentes atividades pesqueiras e de maricultura. Além dos intensos impactos locais e regionais sobre os estuários, mudanças climáticas globais poderiam exercer pressão sobre a dinâmica desses ecossistemas e suas comunidades de maneira, escala e intensidade ainda pouco estudadas (BERNARDINO et al., 2015).

Os usos e abusos praticados nos estuários pelo homem estão a se tornar de tal maneira críticos que é importante que se compreendam bem suas características próprias. Nesse sentido, frisa-se que poucos estudos foram desenvolvidos nos estuários do Espírito Santo.

Uma breve revisão crítica sobre os trabalhos realizados nesses ambientes foi feita por Bernardino et al. (2016), com o principal objetivo de rever o conhecimento sobre comunidades bentônicas estuarinas, em nível de comunidades, bentos estuarinos e processos ecológicos associados. Para o estado, os autores citaram estudos em áreas urbanas poluídas, com o principal enfoque de conhecimento da mega e macrofauna de estuários.

Venekey, Fonseca-Genevois e Santos (2010) realizaram uma revisão sobre a biodiversidade de Nematoda em estuários, incluindo a costa do Espírito Santo e Augusto (2010) desenvolveu um estudo utilizando a resposta da macrofauna bentônica para avaliação de estresse ambiental em estuários, no canal da Passagem, em Vitória. Por sua vez, o objetivo do trabalho de Neves (2014) foi avaliar a composição e distribuição espaço-temporal da comunidade bentônica e relacioná-las com os efeitos antrópicos e ambientais observados no estuário do rio São Mateus, em Conceição da Barra, e no estuário de Barra Nova, no município de São Mateus. A autora constatou que, comparando os dois estuários, a fauna bentônica comportou-se de forma semelhante, sugerindo principalmente os fatores naturais como responsáveis pelas mudanças na sua estrutura.

Os Relatórios Técnicos de Licenciamento contribuíram para o levantamento das espécies dos estuários (BIODINÂMICA, 2007; PETROBRÁS, 2010; ALGADERMIS, 2010).

Plataforma e Talude – Resultados do Programa ReviZEE

Os ambientes costeiros e oceânicos contêm a maior parte da biodiversidade disponível no planeta. Em função da forte pressão antrópica, populações de importantes recursos pesqueiros estão reduzindo seus estoques a níveis, em alguns casos, de ameaça de extinção. Observam-se, em consequência, ecossistemas em desequilíbrio, com a dominância de espécies de menor valor comercial, ocupando os nichos liberados pelas espécies sobre-

explotadas, o que representa uma séria ameaça ao desenvolvimento sustentável (LAVRADO; IGNÁCIO, 2006). Por esse fato, pesquisas têm sido realizadas em todo o mundo, visando à conservação e exploração racional das regiões costeiras, mares e oceanos, plataformas continentais e grandes fundos marinhos.

No Brasil, em 1994, a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) aprovou o Programa ReviZEE, destinado a fornecer dados técnico-científicos consistentes e atualizados, essenciais para subsidiar o ordenamento do setor pesqueiro nacional. Não serão citadas todas as referências utilizadas para a elaboração dos capítulos do livro. Todas as informações sobre cada grupo zoológico podem ser consultadas livremente em: <https://www.mar.mil.br/secirm/documentos/revizee/score-central-vol18.pdf>.

Embora o enfoque deste estudo seja ambientes próximos à linha da costa, em que serão realizadas efetivamente as coletas, o ReviZZE representou um marco nas pesquisas e conhecimento biológico em toda a costa brasileira. O grande volume de informações gerado contribuiu para a sistematização de listas de espécies ou morfotipos de todos os grupos zoológicos marinhos. No caso da costa do Espírito Santo, as listas de espécies produzidas fazem parte da nomeada região central do programa e apresentam, além das espécies exclusivas da plataforma externa e talude marinho, outras que podem ser encontradas em ambientes mais rasos. Por esse motivo e pela importância no conhecimento das espécies da costa do Espírito Santo, esta seção faz parte do relatório de linha-base.

Entre os estudos listados no livro para a costa do Espírito Santo, podem ser citados os de: Ribas (1969) sobre Foraminifera, Sole-Cava, Kelecom e Kannengiesser (1981) sobre Porifera, Souza (1987), Grommann e Nogueira (1992) e Longo, Rosso e Schlenz (1995) sobre Cnidaria, que avaliaram material biológico da plataforma; Cruz (1971), que apresentou um levantamento dos moluscos no litoral do Espírito Santo; Absalão (1989) e Gomes e Absalão (1996) também sobre Mollusca, que caracterizaram sua distribuição e padrões zoogeográficos; Castro e Santos (1989), que estudaram os moluscos em praias arenosas e lodosas; Tommasi (1965, 1966a, 1966b, 1970) sobre Echinodermata; Camargo e Tommasi (1978) e Pires (1982) sobre Crustacea; Souza, Ostrovski e Fonseca (1992) sobre os Paguridae da região de Santa Cruz; Calado (1996) sobre Hippoidea na costa brasileira; e Veloso e Mello (1992, 1993) sobre Porcellanidae no litoral brasileiro.

A produção científica *Bentos da costa brasileira*, elaborada por Lana et al. (1996), apresentou uma avaliação crítica da produção científica e um levantamento bibliográfico de 1858 até 1996 das espécies bênticas na costa brasileira. A Zona Econômica Exclusiva foi dividida em quatro grandes regiões, de acordo com suas características oceanográficas; a costa do Espírito Santo foi tratada na seção “Bentos da região central”. Na obra, os autores realizaram um vasto levantamento bibliográfico nas fontes pertinentes para a época e constataram que, até aquele momento, a fauna bêntica da região central, da qual o estado do Espírito Santo faz parte, era a menos conhecida das faunas brasileiras.

Após as campanhas, processamento das amostras e elaboração dos resultados, em 2006, a publicação *Biodiversidade bentônica da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (LAVRADO; IGNÁCIO, 2006) reuniu de forma sistematizada os resultados do Programa ReviZEE, para suas diversas áreas temáticas e regiões. Para sua elaboração, foram reunidas equipes de especialistas e colaboradores das áreas de macroalgas, Porifera, Cnidaria, Nematoda, Polychaeta, Mollusca, Crustacea e Echinodermata. O livro apresenta parte do

conhecimento científico gerado pelo Programa ReviZEE – *Score* Central em relação aos bentos presentes na região compreendida entre Salvador, na Bahia, e Cabo de São Tomé, no Rio de Janeiro, incluindo os montes submarinos e as ilhas Trindade e Martins Vaz. São apresentados os principais resultados técnicos obtidos nas campanhas de bentos realizadas entre 1996 e 2002, visando a caracterizar a comunidade de fitos e zoobentos da plataforma externa e talude continental dentro da Zona Econômica Exclusiva brasileira. O estado do Espírito Santo concentrou o maior número de estações (107 estações de coleta), graças à presença dos bancos e montes submersos da cadeia Vitória-Trindade.

As listas de espécies e morfotipos expostas aqui foram organizadas a partir do livro do ReviZEE e apresentam os resultados da região central (Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro). Os dados obtidos revelam que a região possui fauna bêntica muito rica, principalmente nas áreas compreendidas pelos bancos dos Abrolhos, cadeia Vitória-Trindade, banco Almirante Saldanha e regiões próximas a Salvador (BA) e Cabo de São Tomé (RJ). Foram encontrados 31 grupos de organismos da macrofauna, com cerca de um terço ocorrendo em mais de 70% das estações.

Cerca de 35 mil indivíduos foram identificados pertencentes à macrofauna bentônica e distribuídos em 31 grupos (de filos a ordens). Por meio dos resultados dos grupos mais abundantes, foi realizada a caracterização para a região. Entre os grupos, os mais abundantes foram: Crustacea (Decapoda, Amphipoda, Isopoda e Tanaidacea), Sipuncula, Polychaeta, Bivalvia e Porifera (Desmospongiae), responsáveis por praticamente 85% do total de indivíduos coletados. Já esponjas e corais foram os grupos que mais contribuíram para a biomassa total (LAVRADO; IGNÁCIO, 2006).

Na costa do Espírito Santo, Sipuncula, crustáceos Peracarida (Isopoda, Tanaidacea e Amphipoda) e Polychaeta foram mais abundantes (incluindo a cadeia Vitória-Trindade). Os grupos Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Ophiuroidea, Decapo, Sipuncula e Calcarea foram os que mais contribuíram com biomassa no estado.

As abundâncias nas estações localizadas nas regiões mais rasas, principalmente na cadeia Vitória-Trindade, foram as maiores, alcançando valores acima de 1.000 ind.100L^{-1}. A riqueza taxonômica também foi maior nas estações dessa região, com mais de 20 táxons de macrofauna bêntica nas estações com menos de 100 m.

No **Apêndice P** são apresentadas as listas de espécies ou morfotipos dos grupos mais abundantes coletados na região central do ReviZEE, dos filos Porifera, Cnidaria, Nematoda, Mollusca, Polychaeta, Crustacea e Echinodermata. Essas listas foram adaptadas das listas presentes no livro.

Para Porifera, foram identificados 3.800 espécimes, classificados em 49 famílias da classe Demospongiae, três famílias de Hexactinellida e quatro famílias da classe Calcarea, somando 56 famílias de Porifera e 295 morfotipos (**Apêndice P**: Tabela 277). Para Cnidaria, foram examinados 656 lotes de corais, representados por 105 táxons específicos: ao menos 57 de Octocorallia, 33 de Scleractinia, 12 de Antipatharia, dois de Stylasteridae e um de Milleporidae (**Apêndice P**: Tabela 278). Para Nematoda, foi identificado um total de 827 organismos pertencentes a três ordens, 21 famílias e 62 gêneros (**Apêndice P**: Tabela 279) e, para Mollusca, 31.816 indivíduos, distribuídos entre 932 táxons, o que corresponde, em número de táxons, a um pouco mais que 50% de toda a malacofauna marinha já reportada para a costa brasileira (**Apêndice P**: Tabela 280). Para Polychaeta, um total de 1.351

indivíduos foi analisado, registrando-se cem espécies ou morfotipos (**Apêndice P**: Tabela 281). Para Crustacea, dos milhares de espécimes, foram registradas mais de cem espécies ou morfotipos (**Apêndice P**: Tabela 282) e, para Echinodermata, pelo menos 78 morfoespécies, pertencentes a 38 famílias, tendo sido 51 identificadas em nível específico, 21 em nível de gênero e seis em nível de família (**Apêndice P**: Tabela 283).

Na distribuição espacial dos oito principais grupos da macrofauna bentônica (Porifera, Cnidaria, Sipuncula, Gastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Crustacea e Echinodermata), percebe-se que mais de 60% das estações de coleta apresentaram abundâncias inferiores a 50 indivíduos.100L^{-1}. Sipuncula e Porifera revelaram valores acima de 500 indivíduos.100L^{-1} em algumas estações do Espírito Santo, enquanto os demais grupos tiveram distribuição uniforme na região do *score* central.

A biomassa de 70% das estações de coleta foi inferior a 100 g de peso úmido.100L^{-1} para a maioria dos grupos taxonômicos. Cnidaria apresentou mais de 20% das estações com valores superiores a 1 kg.100L^{-1}, ao longo do eixo Vitória-Trindade. Os Echinodermata tiveram as maiores biomassas entre Vitória (ES) e Cabo de São Tomé (RJ), devido à contribuição de Ophiuroidea. Crustacea, Sipuncula, Gastropoda, Bivalvia e Polychaeta, apesar de abundantes numericamente e homogeneamente distribuídos ao longo de toda a plataforma do *score* central, contribuíram muito pouco para a biomassa total, com cerca de 90% das estações com menos de 100 g de peso úmido.100 L^{-1}. Isso se deveu ao porte desses animais, geralmente bem menores do que os outros grupos.

3.6.5 Considerações finais

De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que a área de estudo afetada pelo rompimento da barragem de Fundão já apresentava concentrações elevadas de metais-traço há vários anos. Em geral, os trechos com as maiores concentrações localizavam-se nos rios Gualaxo do Norte e do Carmo. Outros trechos também apresentaram concentrações mais elevadas de determinados metais, como foi o caso do cromo, com concentrações acima do nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012 nos rios Piracicaba e Doce, no trecho entre Barra Longa e Aimorés. Normalmente, a concentração de metais foi maior nos rios mais próximos às minas de Alegria e Timbopeba, decrescendo ao longo do rio Doce. As menores concentrações foram encontradas no estado do Espírito Santo, porém nesse trecho também havia menor número de dados disponíveis.

Quanto aos sedimentos das áreas estuarinas e costeiras, o arsênio foi o elemento que mais se destacou, sendo quantificado em concentrações acima do nível 1 na maioria das amostras coletadas nos diferentes estudos analisados. Outros elementos que apresentaram concentrações acima do nível 1 em algumas poucas amostras pontuais foram: mercúrio, cobre, níquel e cromo. A composição granulométrica da região mais próxima à foz do rio Doce era formada por areias grossa e muito grossa, de origem litoclástica, além de lama.

Em relação aos macroinvertebrados bentônicos, estes não eram monitorados regularmente como bioindicadores na bacia do rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão. Vários estudos anteriores ao rompimento da barragem de Fundão utilizaram os macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade ambiental, porém a maior

parte foi desenvolvida com fins acadêmicos, apresentando curta duração e sem visar ao monitoramento em longo prazo (BARBOSA et al., 1997; MARQUES; BARBOSA, 2001; COTA et al., 2002; MORETTI; CALLISTO, 2005; MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016). Alguns testaram a aplicação de metodologias para o biomonitoramento (BARBOSA et al., 1997; MARQUES; BARBOSA, 2001); além disso, os estudos não apresentaram padronização na metodologia de coleta e análise dos dados, trazendo prejuízo à comparação dos resultados obtidos neles.

O complexo lacustre do médio rio Doce e riachos de sub-bacias desse rio, sobretudo na serra do Cipó, foram os principais alvos dos estudos de macroinvertebrados benônicos na bacia do rio Doce. Entretanto, alguns trabalhos tiveram ao menos um ponto de estudo localizado no rio Doce (BARBOSA et al., 1997; CALLISTO; MAYRINK; MORETTI, 2001; MARQUES; BARBOSA, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2002; MAYRINK et al., 2002; MORETTI; CALLISTO, 2005; BARBOSA; MARTINS, 2006). A comparação de resultados de *habitats* diferentes deve ser usada com cautela, pois a composição da fauna dos macroinvertebrados aquáticos límnicos apresenta estreita relação com o ambiente (por exemplo, corrente, disponibilidade de alimento, tipos de substrato); portanto, a composição da fauna em ambientes lóticos de grandes rios tende a ser diferente da encontrada em riachos e ambientes lênticos, mesmo em regiões igualmente preservadas.

Diferentes corpos de água analisados em diversos estudos com os macroinvertebrados foram considerados com baixa qualidade ambiental relacionada a atividades antrópicas, o que reflete a degradação ambiental que a bacia do rio Doce vem sofrendo. Nesses casos, a fauna de macroinvertebrados foi caracterizada por organismos tolerantes à alteração ambiental, com baixa riqueza de taxa e baixa diversidade (BARBOSA et al., 1997; MARQUES; BARBOSA, 2001; MAYRINK et al., 2002; MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016). Corpos de água com melhor estado de preservação apresentaram grupos mais sensíveis a alterações ambientais e maior riqueza e diversidade de macroinvertebrados – em geral, riachos nas nascentes das sub-bacias do rio Doce.

As zonas costeiras do estado do Espírito Santo permanecem com poucos estudos publicados. A maior parte das pesquisas sobre praias, estuários, manguezais e infralitoral é restrita a áreas específicas, sendo, portanto, ainda insuficiente para uma estimativa confiável das densidades populacionais ou mesmo para uma avaliação detalhada da real biodiversidade ao longo da costa do estado.

A plataforma recebeu maior enfoque, apresentando estudos que cobrem maior extensão, como é o caso daquele realizado no Programa ReviZEE. Ainda, as espécies com interesse comercial, como ostras, mexilhões e crustáceos, receberam maior atenção por parte dos pesquisadores.

3.7 Águas Subterrâneas

A hidrogeologia é a ciência que trata da água no segmento do ciclo hidrológico onde ela se encontra alojada, ou seja, nos vazios das rochas, após infiltração, principalmente, de precipitações pluviais. A água pluvial penetra no solo até um nível abaixo do qual todos os vazios interconectados do substrato estão saturados de água, esse nível é denominado

freático ou nível freático, que forma uma superfície denominada superfície freática. Onde essa superfície aflora, formam-se os rios e lagos.

Essa água infiltrada forma reservatórios que acumulam em seu total, 0,61% da água disponível na Terra, enquanto os rios e lagos contêm apenas 0,009%, os oceanos contêm 97,2%, as calotas polares e geleiras, 2,14%, a umidade do solo, 0,005% e a atmosfera, 0,001% (FETTER, 1994). É essa água subterrânea que lentamente se desloca por entre os grãos de rochas ou sedimentos ou em fissuras, vindo a alimentar os cursos de água. Assim sendo, a compreensão do comportamento e das características da água subterrânea é imprescindível para o bom entendimento das características e comportamento da água superficial.

Quando um reservatório subterrâneo de água é passível de exploração, ele é denominado aquífero, acessível por meio de poços de diversos tipos, entre os quais os poços do tipo cacimba, poços tubulares profundos, os mais utilizados. No caso de aquíferos confinados por camadas impermeável, a água pode estar sobre pressão e, quando perfurado, o nível da água na perfuração fica acima do nível do freático no local, sendo o poço tubular denominado artesiano.

Segundo Miller (1999), aquíferos são considerados uma unidade geológica, um grupo de formações geológicas ou parte de uma formação suficientemente permeável de modo a permitir a produção significativa de água em poços e nascentes. Os sistemas aquíferos reúnem várias unidades geológicas, em sucessão estratigráfica, de características hidráulicas, hidrodinâmicas e hidroquímicas relativamente semelhantes, em geral, delimitados por camadas pouco permeáveis e representativos de um ambiente geotectônico.

As informações relativas à água subterrânea (recarga, reserva renovável, coeficiente de esgotamento) podem ser extraídas dos períodos de recessão das hidrógrafas de vazão por meio do método de separação das componentes, escoamento superficial e escoamento de base.

A componente relacionada à descarga dos aquíferos é uma característica hidromórfica, ou seja, é uma função da topografia, do padrão de drenagem, dos solos, da geologia e da cobertura vegetal de uma bacia (FETTER, 1994).

De acordo com Mourão (2007), o regime de recarga e descarga de água subterrânea tem uma forte conexão com os demais componentes do ciclo hidrológico, influenciando diretamente a vazão dos cursos d'água. Assim sendo, a análise das vazões de uma bacia, ao longo do tempo, permite a obtenção de dados importantes quanto às características dos aquíferos e ao regime de fluxo e armazenamento subterrâneos.

3.7.1 Importância ambiental do tema

A hidrogeologia trata da água subterrânea do ponto de vista hidráulico e hidroquímico. Tanto um aspecto quanto outro são importantes, em se considerando a relevância do manancial subterrâneo para o abastecimento urbano, industrial, agrícola, ou doméstico na bacia do rio Doce.

Como a bacia do rio Doce apresenta características geológicas consideravelmente distintas, englobando importante província mineral, a diversidade geoquímica da área afetada é de grande variabilidade e deve ser considerada no diagnóstico ambiental, principalmente em se tratando de qualidade da água.

Para que se possa determinar as consequências diretas do rompimento da barragem de Fundão, principalmente nos ambientes de circulação das águas superficiais e subterrâneas, é de grande relevância a ponderação das influências do desastre nos sistemas de abastecimento ao longo do curso do rio Doce.

A despeito de não ser um tema diretamente relativo à hidrogeologia, os sistemas de abastecimento de água das comunidades marginais ao rio Doce devem ser considerados no âmbito geral desse diagnóstico. Isso porque, mesmo os sistemas dependentes de captações diretas do rio Doce têm no manancial subterrâneo uma alternativa complementar. Em situações de impedimento do uso do manancial superficial, o subterrâneo passa a ser a única alternativa disponível.

Além dos aspectos de circulação de água, devem ser avaliados os fatores interferentes em sua composição química, tais como a interação entre a solução aquosa e os minerais e substâncias minerais com os quais ela mantém contato. De início, devem ser consideradas as influências que os elementos químicos, diretamente envolvidos no processo mineroindustrial, ou seja, o minério bruto que é uma rocha rica em hematita (Fe_2O_3) e alguns aditivos orgânicos usados, têm sobre a composição química da água.

O rejeito, inicialmente armazenado na barragem de Fundão, foi gerado a partir do processo de beneficiamento de minério de ferro. Esse material, descartado na barragem de Fundão, é formado por óxido de silício, hematita residual, goethita (FeOOH) e aluminossilicatos, acrescidos de matéria orgânica em quantidade subordinada.

A presença de hematita, goethita e manganita em estado de sobressaturamento deve-se ao fato de que oxi-hidróxidos de ferro e óxidos de manganês apresentam estabilidade nas condições comumente encontradas nas águas subterrâneas da área, ou seja, pH entre 6 e 8 e Eh oxidante (APPELO; POSTMA, 1994). Por se encontrarem dissolvidos, possivelmente estão em situação metaestável. Quanto à sílica, Hem (1986) menciona que as águas naturais normalmente têm mais sílica dissolvida que o valor de equilíbrio para o quartzo, porém menos do que o valor para a sílica amorfa.

3.7.2 Contexto hidrogeológico da bacia hidrográfica do rio Doce

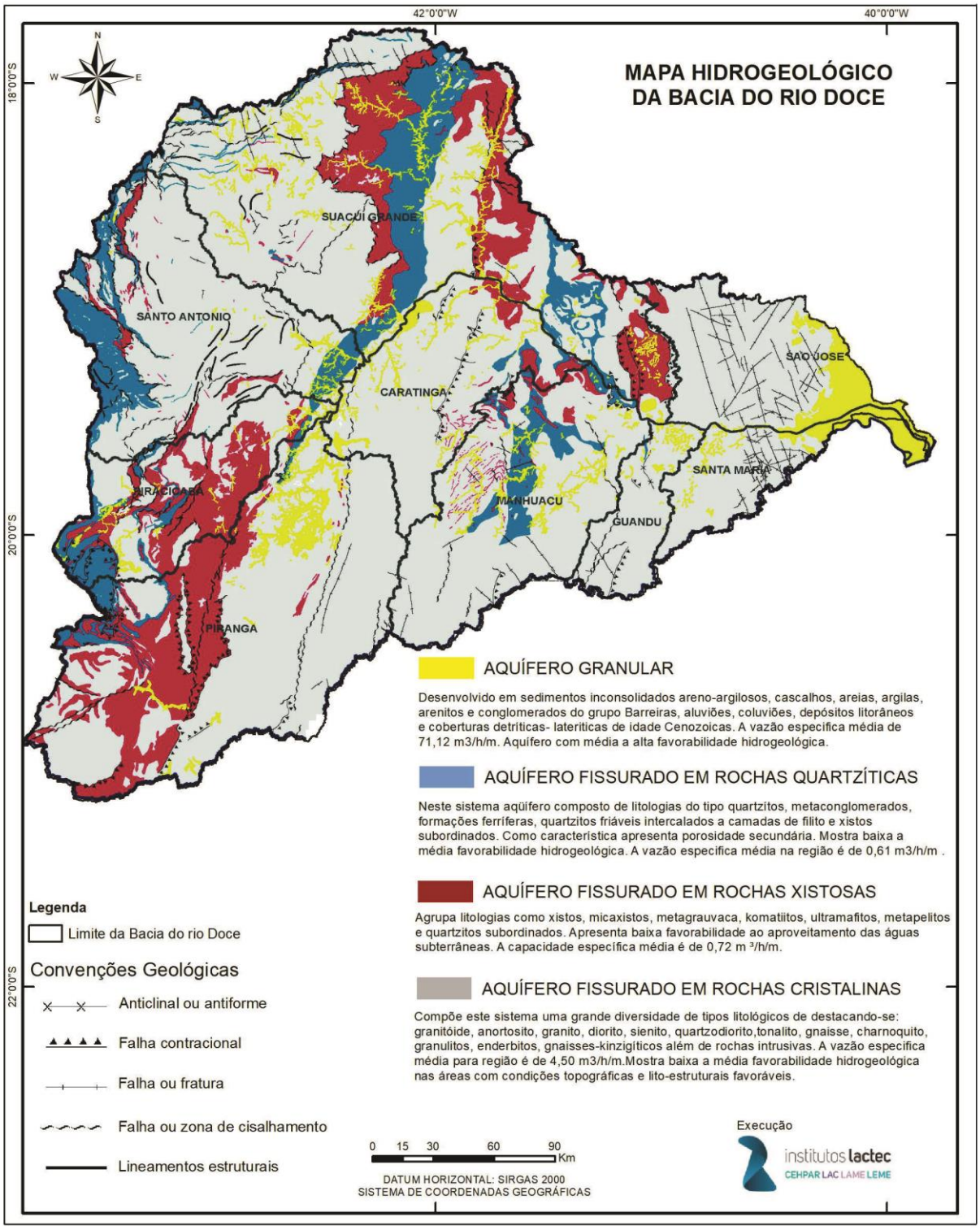
De acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH) (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), o sistema hidrológico subterrâneo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) está condicionado, fundamentalmente, às características geomorfológicas, litoestratigráficas e estruturais que compõem o arcabouço geológico regional. Assim, nos diferentes litotipos que ocorrem na região é possível definir, basicamente, duas unidades aquíferas: granular e fissurada, que apresentam distribuição espacial e comportamentos distintos, diferenciados pela estrutura física da rocha, modo de circulação da água e condições de armazenamento.

Nos aquíferos fissurados, a acumulação e circulação das águas subterrâneas são feitas através da porosidade secundária desenvolvida por falhas, fraturas e diáclases. O aquífero fissural ocupa aproximadamente 90% da área da bacia. Ainda de acordo com o referido documento, foram realizadas subdivisões dessa unidade em três subunidades espaciais de agrupamento, caracterizadas por um ou mais tipos litológicos predominantes e bem definidos de rocha-reservatório, sempre associadas a uma unidade geológica regional. Assim, o sistema

aquífero fissurado está representado por: aquífero fissurado em rochas quartzíticas; em rochas xistosas; e em rochas cristalinas, conforme a Figura 201.

Com relação aos aquíferos granulares ou porosos, estes são representados por uma sequência de rochas sedimentares detríticas de idade Cenozoica, onde a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas se dão através da porosidade primária da rocha. A unidade aquífera granular ocupa cerca de 9% da área total da bacia e apresenta uma composição litológica constituída de sedimentos arenoargilosos, cascalhos, areias, argilas, arenitos e conglomerados inconsolidados das Formações Barreira e Fonseca, dos aluviões recentes, dos coluviões e de depósitos de cordões litorâneos fluvio-lagunares situados na foz no rio Doce, além das coberturas detrito-lateríticas aluvionares.

Figura 201 – Mapa hidrogeológico da bacia do rio Doce.



Fonte: Consórcio Ecoplan-Lume (2010a).

Ressalta-se, ainda, a existência de subdivisões locais para alguns aquíferos, entre as quais são destacadas, devido à proximidade com a área da mineração (área fonte do minério/rejeito), a denominação proposta por Mourão, Loureiro e Alkimim (2008), que classifica a conhecida Formação Cauê, hospedeira das mineralizações de ferro do

Quadrilátero Ferrífero, também como aquífero. Segundo os autores, essa unidade corresponde ao principal aquífero do Quadrilátero Ferrífero. Exibe grande variabilidade textural e composicional, de origem primária e secundária, o que imprime notável heterogeneidade e anisotropia e que pode se comportar como um meio essencialmente poroso ou fissural, com passagens de natureza intermediária ou mesmo maciças.

Segundo Morris (1980), a percolação de fluidos nessas rochas, originários da infiltração de águas meteóricas e/ou de remobilização metamórfica (TAYLOR et al., 2001; WEBB; DICKENS; OLIVER, 2003), promoveu, em determinadas porções dessa unidade geológica, a dissolução da sílica e do carbonato e gerou corpos de hematita compacta (porosidade fissural e alta condutividade hidráulica) e corpos de hematita friável (porosidade intersticial e alta capacidade de armazenamento).

Face ao exposto, de acordo com Mourão, Loureiro e Alkimim (2008), as formações ferríferas figuram como um destacado recurso mineral e econômico e como aquífero de grande potencial e de fundamental importância para manutenção das condições ambientais (em especial o escoamento de base de muitos cursos d'água) e, evidentemente, para o abastecimento urbano e doméstico. Os autores referem-se ainda a problemas relacionados com as minerações e os sistemas hidrogeológicos, devido aos procedimentos de rebaixamento de nível d'água, necessários ao avanço das lavras para cotas inferiores à superfície piezométrica e que exigem o bombeamento de volume de água superior à recarga.

Por fim, devido à eventual contribuição hidroquímica, embora situado a noroeste da antiga barragem de Fundão, cabe-se mencionar também o domínio fissural formado por rochas carbonáticas (cárstico), que ocorre na Formação Gandarela, denominado de aquífero Gandarela. Nesses ambientes, os vazios das fissuras, devido aos processos de dissolução, podem aumentar consideravelmente, podendo, inclusive, formar cavernas, onde a água pode ser armazenada e circular com mais facilidade. De acordo com Mourão, Loureiro e Alkimim (2008), as águas desse aquífero exibem assinatura química bastante característica, expressa, por caráter alcalino (pH mediano de 7,62), alta condutividade elétrica (mediana de 101,0 µS/cm), predominância dos íons bicarbonato, cálcio e magnésio, e saturação em calcita e dolomita. Ressalta-se a existência de várias ocorrências de manganês na região e a descrição de talco em dolomitos da Formação Gandarela por Souza (1987).

O mapa da Figura 201 mostra os grandes domínios hidrogeológicos da bacia do rio Doce no estado de Minas Gerais, dando indicações de suas macrofeições hidráulicas, entretanto não permite que se estabeleça uma caracterização hidroquímica dos diferentes compartimentos. A variabilidade das características químicas de cada unidade geológica da bacia do rio Doce, praticamente, inviabiliza que se determine um nível de base único para a bacia, mesmo para o extenso compartimento formado pelo domínio fissural. Os elementos e compostos químicos dominantes nas soluções podem ser semelhantes, porém suas proporções variam significativamente e não há um acervo de informações hidroquímicas suficiente, nos bancos de dados disponíveis, para se determinar quais seriam as concentrações normais da região.

3.7.3 Contexto geoambiental

Conforme mencionado, as águas subterrâneas são utilizadas para abastecimento público em diversos municípios brasileiros, inclusive naqueles localizados na bacia do rio Doce.

A condição de um rejeito como o acumulado na barragem de Fundão tem seu comportamento controlado por vários fatores, entre os quais a composição químico-mineralógica do material e a interação do rejeito com a água.

O rejeito, eventualmente integrado ao meio hídrico, vai se comportar dependendo diretamente da composição químico-mineralógica das rochas, que interferem diretamente na composição da água que interage quimicamente com ele. Já a água tem seu fluxo, tanto superficial quanto subsuperficial controlado pela morfologia do terreno, que, por sua vez, é uma resultante da ação de agentes climáticos sobre o substrato rochoso. Esse substrato rochoso, quando rígido, sob a ação de esforços de diversas ordens, sofre fraturas e fissuras que se constituem em caminhos disponíveis para a água subterrânea se deslocar em seu fluxo em direção ao nível de base local, que vem a ser os corpos de água superficial.

No caso de um substrato constituído por rochas sedimentares ou sedimentos granulares, a água flui entre os grãos desses materiais, independentemente da existência de fraturas.

Na bacia do rio Doce, o substrato percorrido pela água subterrânea é, sobretudo, conforme mencionado, constituído por rochas fissuradas. Apenas próximo à sua desembocadura o rio está encaixado em rochas porosas.

Considerando a importância da recarga no balanço hídrico, cabe-se ressaltar novamente o componente climático, a partir do qual o volume e a distribuição das chuvas têm interferência direta na água subterrânea. A água que não é evaporada imediatamente após a precipitação, evapotranspirada pela vegetação, nem a que escorre pela superfície diretamente para os rios, é responsável por recarregar os aquíferos.

A cobertura dos solos também tem papel determinante na água subterrânea, desde a atenuação do escorrimento superficial, incrementando, assim, a infiltração que alimenta os aquíferos. Por outro lado, o uso dos solos nas áreas de recarga dos aquíferos pode interferir diretamente também na qualidade da água subterrânea, podendo comprometê-la no caso da infiltração de poluentes.

Notadamente no caso da bacia do rio Doce, as atividades minerárias, não apenas de ferro como também de outros bens minerais, como já mencionado neste relatório, têm potencial de interferência na água subterrânea.

Assim sendo, percebe-se a diversidade de fatores geoambientais, minerários e de uso do solo que devem ser levados em conta no diagnóstico sobre a água subterrânea.

3.7.4 Contexto estrutural

A água na superfície da Terra deve ser considerada segundo sua disponibilidade e condições de circulação. A disponibilidade natural tem um controle diretamente ligado ao clima, porém as estruturas geológicas condicionam e controlam tanto o fluxo de água superficial quanto da água subterrânea. Seu entendimento é de fundamental importância nos estudos hidrogeológicos voltados às análises ambientais e eventuais degradações ou contaminações dos aquíferos.

O comportamento geral da água subterrânea na BHRD foi estabelecido pelo regime climático regional, pelas unidades litológicas do substrato rochoso, bem como pelo sistema de feições geoestruturais impostos pelo regime de esforços tectônicos, que resultaram em sistemas anisotrópicos de fraturas. A grande diversidade de formas do modelado do relevo no Quadrilátero Ferrífero é reflexo do forte controle litoestrutural (MEDINA; DANTAS; SAADI, 2005).

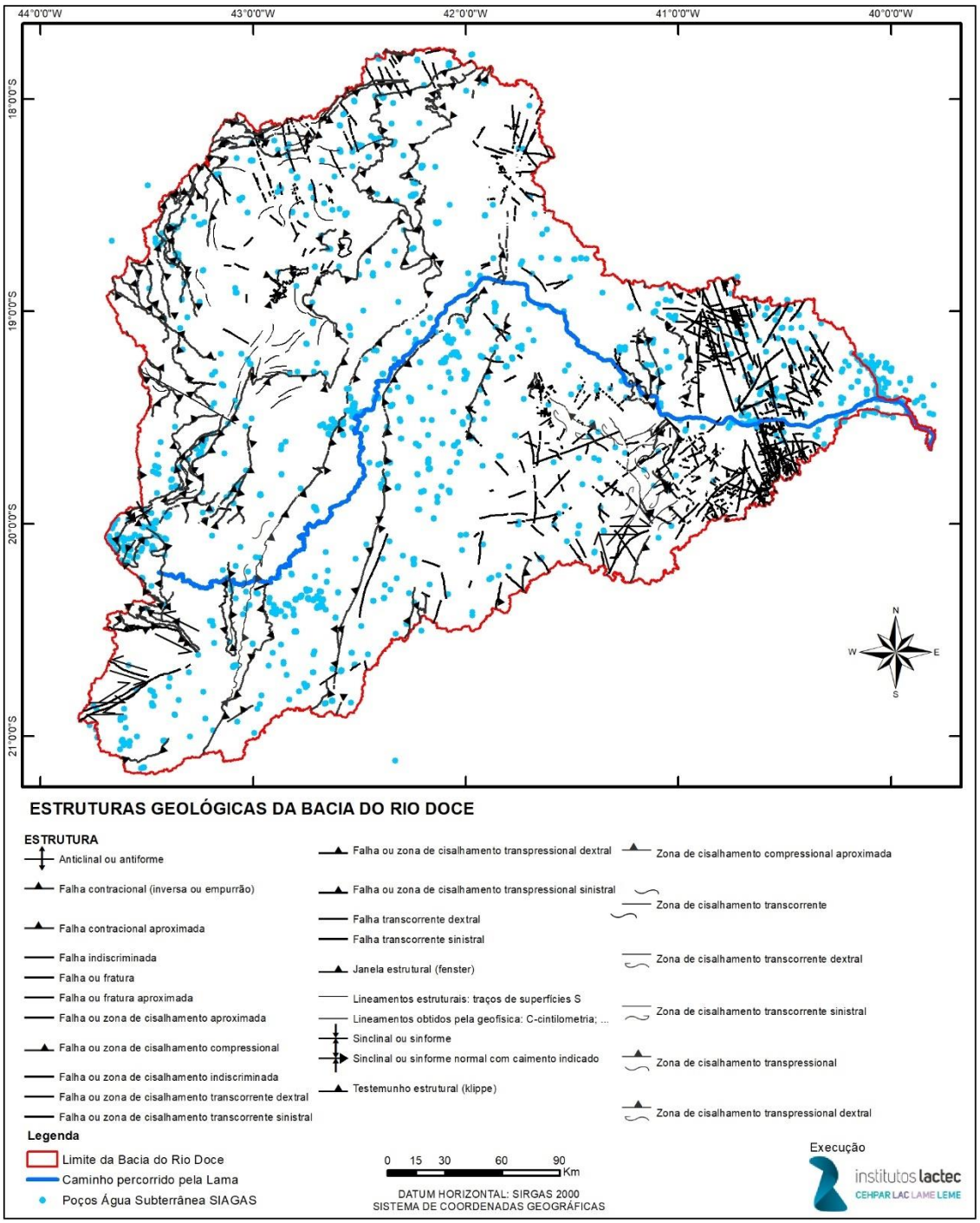
De acordo com Mourão (2007), uma das feições notáveis da morfologia do Quadrilátero Ferrífero é que todo o conjunto se encontra sobrelevado (tectonicamente soerguido) com intervalo de altitude entre 900 e 1.000 m, podendo alcançar 1.500 m em alguns trechos e até mais de 2.000 m, como na serra do Caraça. Como sugerido por Varajão (1988), o QF constitui um mosaico formado por províncias geomorfológicas ligadas diretamente às condições estruturais, nas quais as variações altimétricas e a declividade das vertentes relacionam-se a variações litológicas.

Como principais traços fisiográficos da área, podem-se citar (SAADI, 1991): i) grande escarpa (serra do Curral) de direção SW-NE (com 100 km de comprimento e altura superior a 200 m e exposição para NW) que constitui um *hogback* e, provavelmente, uma escarpa de falha; ii) os sinclinais Moeda e Gandarela de direção geral NNW-SSE, relativamente planas, suspensas e localmente entulhadas de depósitos cenozoicos; e iii) a depressão NNW-SSE escavada pelo rio das Velhas, num eixo de caráter antiformal. Essas feições de relevo indicam que o conjunto litoestrutural da região foi submetido a variações climáticas e à atividade erosiva desde o Proterozoico, com nítido controle litoestrutural (VARAJÃO, 1991).

Para a abordagem sistemática do contexto geoestrutural, condicionante do comportamento da água subterrânea na BHRD, foram compiladas, a partir de mapeamentos já existentes, as informações relativas aos dados da geologia estrutural, tais como falhas, fraturas, dobras, entre outras (Figura 202).

Essas estruturas foram combinadas em ambiente GIS com os dados dos poços de água subterrânea obtidos junto ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), mantido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Figura 202 – Estruturas geológicas e a localização dos poços registrados no SIAGAS presentes na bacia do rio Doce.



Nota: Modificado de mapa Brasil ao milionésimo SF.23 – Rio de Janeiro, SE.23 – Belo Horizonte, SF.24 – Vitória e SE.24 – rio Doce da CPRM (2004), mapeamento realizado na escala 1:1.000.000 e poços registrados no SIAGAS (CPRM) até junho/2017.

Com base nesses elementos e informações adicionais relativas aos poços em questão, pretende-se, nas fases subsequentes dos estudos, produzir mapas potenciométricos e mapas de favorabilidade para águas subterrâneas, pelo método multicritério aditivo, proposto por

Silva (1992). Os produtos gerados por essas metodologias permitem uma série de análises e, principalmente, subsidiam interpretações fundamentais voltadas a diagnósticos ambientais.

Na Figura 202, fica evidenciado um grande adensamento de lineamentos na região de Colatina, indicando preliminarmente grande favorabilidade à captação de água subterrânea naquela área. Percebe-se também que, ao longo do curso do rio Doce, há adensamentos de poços na região de Ouro Preto, de Santa Cruz do Escalvado, de Ipatinga, de Itueta e de Colatina.

O regime hídrico da BHRD, devido à grande extensão da área, é muito suscetível às variações climáticas e às sazonalidades intrínsecas dessas variáveis, de todo modo, ainda que de forma preliminar, pode-se dizer que há um predomínio do comportamento efluente, ou seja, os aquíferos alimentam os cursos de água. Nesse regime, a água flui pelo substrato em direção aos rios. Ao contrário, o comportamento influente, onde a água do canal alimenta o aquífero, ocorre comumente em bacias hidrográficas sob condições de clima mais seco. De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a), na BHRD, no período seco, a pluviosidade aumenta de montante para jusante, ocorrendo o inverso no período mais chuvoso, porém, ao que tudo indica, o caráter efluente do rio predomina. Estudos mais aprofundados sobre esse tema deverão ser executados ao longo do projeto.

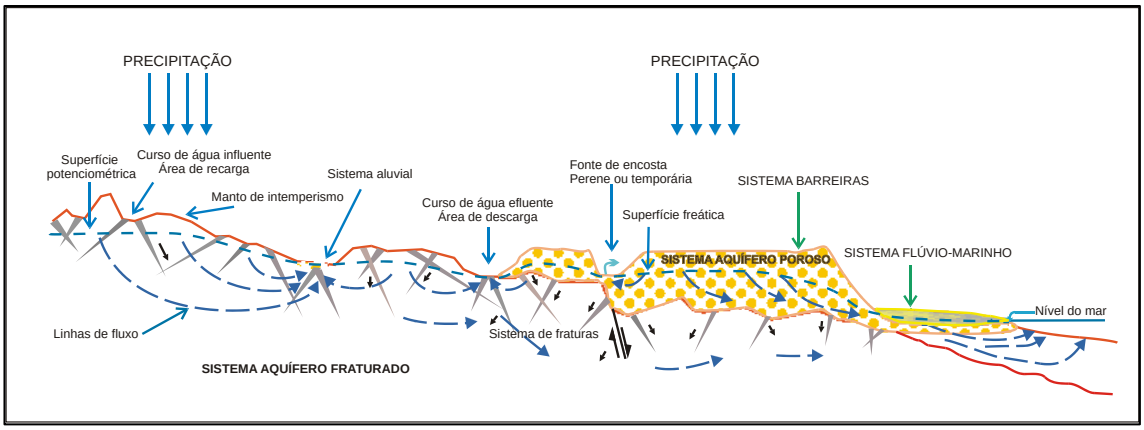
Considerando áreas menores, como no caso das cabeceiras e entre elas aquela onde se situava a barragem de Fundão, nas áreas ocupadas pelas barragens de rejeito, a elevação do nível da água aumenta a carga hidráulica e potencializa a infiltração e, portanto, é maior a contribuição da água retida na barragem para o aquífero local. O intenso fraturamento facilita a ressurgência próxima da água infiltrada na barragem.

Comumente, a água subterrânea é pobre em material particulado, devido ao processo de filtragem natural pelo solo ou manto de intemperismo e também pela baixa velocidade do fluxo subterrâneo, o que favorece a retenção de partículas sob deslocamento. Assim sendo, antes do rompimento da barragem de Fundão, as camadas depositadas se constituíam de um filtro que liberava para infiltração praticamente apenas a fase em solução, acumulada no reservatório.

Em todos os casos, a influência da descarga subterrânea de material dissolvido é pequena em face do volume veiculado diretamente pelos rios, proveniente dos efluentes líquidos do processo de beneficiamento do minério de ferro que corre pela superfície.

Um quadro geral do perfil do modelo hidrogeológico da BHRD (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a) está representado esquematicamente na Figura 203. O perfil regional não corresponde exatamente ao perfil do curso do rio Doce, porém possibilita uma visão simplificada dos caminhos possíveis que a água pode percorrer naquela área.

Figura 203 – Perfil hidrogeológico regional.



Fonte: modificado de Consórcio Ecoplan-Lume (2010a).

Segundo o modelo hidrogeológico, na zona do curso do rio Doce e afluentes de sua cabeceira, é possível que efeitos diretos do rompimento da barragem de Fundão na água subterrânea tenham ocorrido em vertentes extremas de montante, porém também em pequenos reservatórios lineares que eventualmente tenham ficado sotopostos às camadas sedimentares depositadas por ocasião da passagem da onda de lama. Assim sendo, o levantamento das características hidroquímicas dos aquíferos que alimentam diretamente o rio Doce fornecerá informações importantes na identificação da origem de componentes detectados na água do rio.

Um fator limitante apontado para restrições ao potencial emprego de informações dos poços existentes em avaliações mais aprofundadas, a partir de dados constantes do SIAGAS/CPRM, é justamente a ausência de várias informações importantes registrados no cadastro. No caso de informações sobre o uso da água, por exemplo, dos 936 poços registrados, apenas 216 possuíam registros na época. Segundo informações obtidas pelo Consórcio Ecoplan-Lume (2010a), junto à Copasa, 417 captações eram feitas, na ocasião, por meio de poços tubulares, 688 por meio de poços manuais e 275 em nascentes.

Do universo de poços registrados no SIAGAS (CPRM, 2017), foram selecionados em uma primeira análise como potenciais pontos de água a serem monitorados aqueles situados em uma faixa de 1.500 metros da calha por onde fluiu a lama gerada pelo rompimento da barragem de Fundão. Nessa primeira seleção, foram identificados 26 poços tubulares em Minas Gerais e 7 poços tubulares no Espírito Santo (Tabela 80 e Figura 202).

Tabela 80 – Poços com disponibilidade de perfil litológico, cadastrados no SIAGAS, localizados em uma faixa de 1.500 m ao longo da calha do rio Doce.

Código	UTM E	UTM N	Estado	Município	Localidade
3100002610	328763	7840566	ES	Colatina	Frisa (1)
3100002611	328851	7840444	ES	Colatina	Frisa (1)
3100002612	326000	7839801	ES	Colatina	Bairro Honório Fraga (3)
3100007896	325683	7839577	ES	Colatina	Unesc Honório Fraga II / Córrego da Onça I (4)
3100007897	328680	7840614	ES	Colatina	Bairro Lacê (5)
3100008098	388119	7852915	ES	Linhares	Br 101 - Estação experimental Filogonio Peixoto I (6)
3100008099	388288	7852607	ES	Linhares	BR 101 - Estação experimental Filogonio Peixoto II (6)
3100002291	762089	7843009	MG	Ipatinga	Ipatinga (2)
3100002292	760952	7843025	MG	Ipatinga	Ipatinga (2)
3100002712	263591	7862590	MG	Resplendor	Resplendor (7)
3100002719	222142	7899511	MG	Tumiritinga	Tumiritinga (2)
3100005343	800963	7885579	MG	Fernandes Tourinho	Senhora da Penha (2)
3100007072	758815	7836442	MG	Timóteo	Macuco (2)
3100007073	758814	7836380	MG	Timóteo	Macuco (2)
3100018696	696432	7758936	MG	Barra Longa	Gesteira (2)
3100018780	721704	7759392	MG	Santa Cruz do Escalvado	Área dos quintais - ZR - São Sebastião do Soberbo (3)
3100018781	721348	7759128	MG	Santa Cruz do Escalvado	Novo Soberbo poço Eta (3)
3100018782	721265	7759005	MG	Santa Cruz do Escalvado	Novo Soberbo poço Cida (3)
3100018854	232712	7897236	MG	Galileia	Sede (2)
3100019999	770304	7851820	MG	Santana do Paraíso	Ipaba (2)
3100020000	770335	7852153	MG	Santana do Paraíso	Ipaba (2)
3100020638	283120	7843610	MG	Aimorés	Sede (2)
3100021463	771705	7852083	MG	Ipaba	Sede (2)
3100022203	766802	7845656	MG	Caratinga	Residencial Porto Seguro (4)
3100022248	771847	7851511	MG	Ipaba	Sede (2)
3100022249	771368	7852687	MG	Ipaba	Sede (2)
3100022250	772118	7852061	MG	Ipaba	Sede (2)
3100022259	271727	7854205	MG	Itueta	Sede (2)
3100022406	261886	7861153	MG	Resplendor	Sede (2)
3100022407	263094	7862645	MG	Resplendor	Sede (2)
3100022408	263222	7861754	MG	Resplendor	Sede (2)
3100022479	185826	7899971	MG	Tumiritinga	Sede (2)
3100022480	222402	7899731	MG	Tumiritinga	Sede (2)

Nota: (1) Frigorífico Rio Doce S.A.; (2) Copasa; (3) Prefeitura municipal; (4) UNESC; (5) XR Ind. e Confecção; (6) Est. Experimental Filogônio Peixoto; (7) Cooperativa Agropecuária Resplendor.

Fonte: CPRM (2017).

3.7.5 Fundamentos geoquímicos

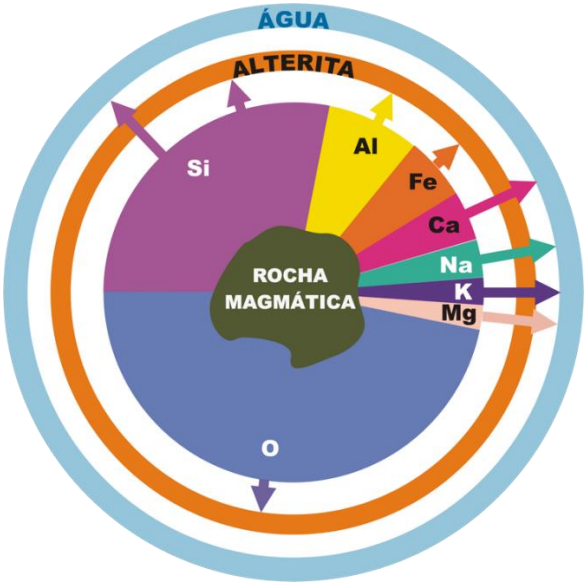
3.7.5.1 Rochas

Quando considerada a composição média da crosta terrestre, o nível de base de qualquer distribuição de elementos aponta apenas oito tipos de átomo compondo cerca de 99% do volume da crosta: oxigênio, silício, alumínio, ferro, magnésio, cálcio, sódio e potássio,

sendo o oxigênio sozinho o responsável por 94% do referido volume. Esses elementos formam, em diferentes proporções, todas as rochas magmáticas realmente abundantes da crosta terrestre e, provavelmente, da BHRD. A Figura 204 ilustra a proporção em peso dos elementos químicos mais abundantes, presentes na média das rochas magmáticas da crosta terrestre, que é muito semelhante ao que se observa na distribuição dos elementos na crosta terrestre, segundo Mason (1966).

O ferro é o elemento químico mais abundante do planeta Terra e o quarto mais abundante do conjunto das rochas magmáticas da crosta terrestre, como está ilustrado na Figura 204. Dessa forma, sua presença em um corpo de água não poder ser considerada uma anomalia. O mesmo ocorre com o alumínio, menos abundante apenas do que o oxigênio e o silício.

Figura 204 – Destino principal dos elementos químicos majoritários presentes nas rochas magmáticas.



Fonte: Bittencourt e Tubbs (2007).

As rochas sobre as quais se estabeleceu a bacia do rio Doce são as principais fontes do material presente, em solução ou sob a forma particulada, incorporadas na água dos corpos superficiais ou subterrâneos desse compartimento hídrico.

A Figura 204 também ilustra o destino principal dos elementos químicos majoritariamente presentes nas rochas magmáticas, distribuídos entre a fase líquida e a fase sólida, constituída pelo solo, em um ambiente de intemperismo sob clima tropical, na zona insaturada em relação à água subterrânea. O oxigênio presente na rocha tende a permanecer na estrutura das fases minerais dos solos ou rocha alterada, assim como o alumínio e o ferro. Uma parte do silício entra em solução como H_4SiO_4 e a outra parte compõe a estrutura dos silicatos. Os elementos alcalinos, sódio e potássio, bem como os alcalinoterrosos, cálcio e magnésio tendem a se solubilizar. Essa condição predomina nas porções elevadas da paisagem da bacia do rio Doce.

Os ambientes naturais, internos da crosta, com suas temperaturas e pressões mais elevadas, propiciam para que as rochas tenham sua composição mineralógica e distribuição

de componentes químicos constantemente transformadas, procurando um equilíbrio com as condições do ambiente, que se modificam. Rochas magmáticas e sedimentares aprofundadas por eventos tectônicos ou submetidas à ação de fluidos que circulam no ambiente se metamorfisam. Essas rochas estabelecidas no ambiente interno da crosta, quando levadas à superfície, são submetidas a processos da dinâmica externa, como o intemperismo, que geralmente fragiliza mecanicamente as rochas pela interação com o ciclo hidrológico, formando um manto de alteração que é passível de ser deslocado por ação da gravidade e agentes climáticos. Os elementos químicos das rochas originais se redistribuem entre o regolito, que é produto de alteração superficial das rochas e a água. Nesse processo, as rochas se modificam, bem como a água, que também se transforma em termos de componentes dissolvidos (Figura 205).

Figura 205 – Interação entre a água e uma rocha.



Fonte: Bittencourt e Tubbs (2007).

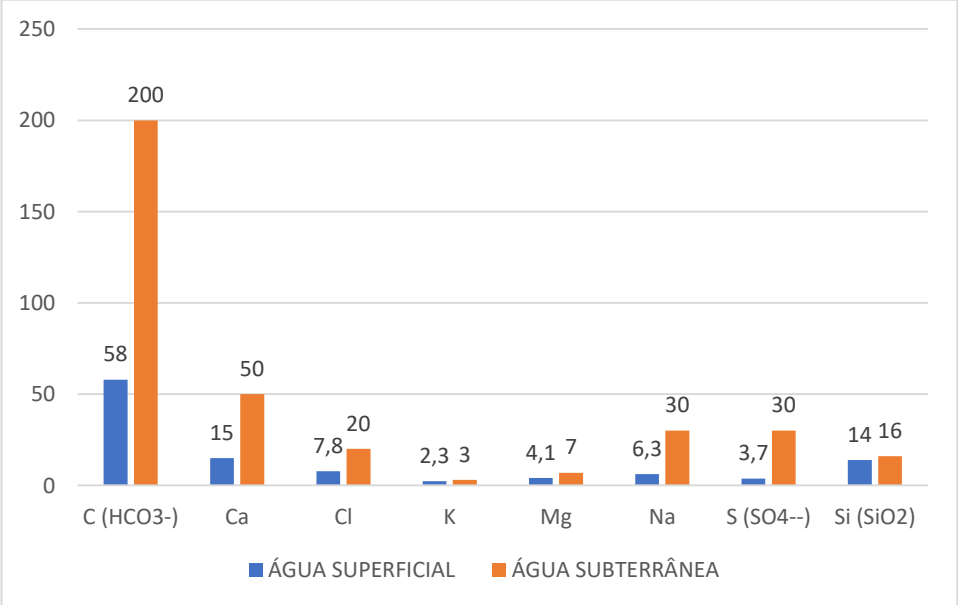
No caso das cabeceiras do rio Doce, o embasamento rochoso foi estabelecido por uma convergência de processos geológicos que propiciaram condições físico-químicas para que vários elementos químicos, mais ou menos abundantes, se concentrassem ao ponto de poderem ser extraídos economicamente. É o caso do próprio ferro e do ouro, explorados desde longa data em Ouro Preto e Mariana. O manganês também se concentrou nessas proximidades, culminando com a jazida do Morro da Mina, já descrita por Derby (1901), por muito tempo explorada em Conselheiro Lafaiete. Enfim, a concentração do nível de base desses elementos e de outros geoquimicamente associados é relativamente elevada nas rochas e solo, com reflexo potencial também na água superficial e subterrânea.

3.7.5.2 Água

Usualmente quando se emprega o termo 'água', se está referindo não apenas ao composto químico H_2O, porém a uma solução formada por diversos compostos dissolvidos no meio hídrico. A água subterrânea tem suas características qualitativas ditadas, sobretudo pelo quimismo e solubilidade dos materiais com os quais teve contato no caminho de seu fluxo. Quanto mais solúveis os componentes dos aquíferos e quanto maior for o tempo de contato entre a água e os sólidos do substrato percolado, maior será a alteração na composição da solução aquosa. Fatores inerentes ao ambiente hídrico como sua acidez, expressa pelo pH, o estado de oxidação e a temperatura, também, pautam a composição química da água, além das características da água antes da infiltração no substrato e dos próprios componentes em solução.

Praticamente, todas as soluções aquosas naturais, superficiais ou subterrâneas, têm como componentes majoritários dissolvidos, entre os ânions, bicarbonato/carbonato (HCO_3^-/CO_3^{2-}), cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}). Os cátions majoritários, por sua vez, são cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+) e potássio (K^+). Uma boa referência é a composição química média de componentes dissolvidos nas águas superficiais continentais e nas águas subterrâneas da Terra (ROSE et al., 1979 apud BITTENCOURT; TUBBS, 2007) (Figura 206).

Figura 206 – Composição média dos constituintes majoritários nas águas superficial e subterrânea (em mg.L¹).



Fonte: Rose et al. (1979 apud BITTENCOURT; TUBBS, 2007).

A água que interage com materiais orgânicos e fertilizantes agrícolas, por exemplo, também pode apresentar o íon nitrato (NO_3^-) entre os componentes principais. Um outro componente abundante, este não ionizado, presente dissolvido em praticamente todos os corpos hídricos naturais é a sílica (SiO_2 ou $SiO_2 \bullet 2H_2O$). As proporções entre esses componentes majoritários são importantes para se identificar o caráter geoquímico das águas. A água que esteve em contato íntimo com rochas calcárias tende a ser bicarbonatada

ou carbonatada cálcica ou magnesiana, a água proveniente de rochas sedimentares clásticas de origem marinha tende a ser cloretada sódica, assim como a água subterrânea muito antiga, água que sofreu contaminação por efluentes urbanos e fertilizantes nitrogenados, tende a apresentar alta concentração de nitrato (>4 $mg.L^{-1}$) e assim por diante.

Como pode ser observado, todos os elementos mencionados como cátions e o silício estão entre os mais abundantes da crosta terrestre, o que não ocorre com elementos presentes nos ânions, à exceção do oxigênio e o enxofre. O nitrogênio, que não está entre os mais abundantes das rochas, concentra na atmosfera e na biomassa, ao passo que o carbono também está concentrado na atmosfera e biomassa.

No caso do sistema impactado pelo rompimento da barragem de contenção de rejeitos da mineração de ferro em Mariana, a influência maior sobre a água subterrânea se dá justamente na zona contígua ao local do evento. Nesse local, a água subterrânea a jusante, mesmo antes do rompimento da barragem, vinha sendo diretamente influenciada pela fase dissolvida que acompanha o material sólido depositado nas bacias de contenção. A fase aquosa da mistura depositada se não fluía por drenos, se infiltrava e compunha o fluxo subterrâneo que alimentava os cursos de água superficiais.

Qualquer abordagem consistente da composição da água superficial não pode prescindir da consideração da contribuição da água subterrânea, pois a água na realidade é a mesma que se infiltrou a montante e flui pelos rios após surgir em nascentes pontuais ou difusas por toda a bacia hidrográfica.

3.7.6 Considerações preliminares sobre o quimismo da água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Doce

3.7.6.1 Valores de referência de qualidade

A maioria dos estados brasileiros ainda não possui valores de referência de qualidade de água por aquífero, visto isso, a melhor referência de qualidade de água disponível é a Resolução CONAMA nº 396/2008. Esse dispositivo legal trata da classificação das águas subterrâneas e tem por meta ou objetivo de qualidade de água a ser alcançado ou mantido em um aquífero, conjunto de aquíferos ou porção desses. As classes são definidas em função do conjunto de condições e padrões de qualidade, estabelecidos por Valores de Referência de Qualidade Natural (VRQ) obtidos por tratamento estatístico de dados de monitoramento e por um Valor Máximo Permitido (VMP) de um dado parâmetro em função do uso preponderante (MESTRINHO, 2012).

Como o balizamento da qualidade da água preconizado pela Resolução CONAMA nº 396/2008 depende de dados de um sistema de monitoramento ainda não implantado, tem sido usado como VMP o uso mais restritivo, que seria para consumo humano. A Tabela 81 apresenta valores constantes do Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Como pode ser observado, elementos não críticos em termos de qualidade de água, porém fundamentais do ponto de vista hidrogeoquímico, apesar de não constarem da resolução, devem ser sempre que possível analisados. É o caso do cálcio, magnésio e do silício dissolvidos.

Tabela 81 – Compilação de parâmetros do Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008, para substâncias inorgânicas.

Parâmetros inorgânicos	**Uso predominante da água**			
	Consumo humano	Dessedentacão de animais	Irrigação	Recreação
	$\mu g\ L^{-1}$			
Alumínio	200 (1)	5000	5000	200
Antimônio	5			
Arsênio	10	200		50
Bário	700			1000
Berílio	4	100	100	
Boro	500 (2)	5000	500 (4)	1000
Cádmio	5	50	10	5
Chumbo	10	100	5000	50
Cianeto	70			100
Cloreto	250000 (1)		100000 – 700000	400000
Cobalto		1000	50	
Cobre	2000	500	200	1000
Cromo III e VI	50	1000	100	50
Ferro	300 (1)		5000	300
Fluoreto	1500	2000		500
Lítio			2500	
Manganês	100 (1)	50	200	100
Mercúrio	1	10	2	1
Molibdênio	70	150	10	
Níquel	20 (3)	1000	200	100
Nitrato (N)	10000	90000		10000
Nitrito (N)	1000	10000	1000	1000
Prata	100			50
Selênio	10	50	20	10
Sódio	200000 (1)			300000
Sól. Tot. diss. (STD)	1000000			
Sulfato	250000 (1)	1000000		400000
Urânio	15 (2, 3)	200	10 (4)	
Vanádio	50	100	100	
Zinco	5000 (1)	24000	2000	5000

Nota: 1) Efeito organoléptico; 2) máxima conc. na água de irrigação em 100 anos; 3) máxima conc. na água de irrigação em 20 anos; 4) taxa de irrigação ≤ 3500 m3 ha-1; 5) taxa de irrigação ≤ 7000 m3 ha-1 ; 6) taxa de irrigação ≤12000 m3 ha-1.

No I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento de Águas Subterrâneas, que reuniu técnicos especialistas de órgãos públicos, empresas privadas, instituições acadêmicas e entidades de classe, foi divulgada a denominada “Carta de Belo Horizonte” (CETESB, 2007), que apresenta, entre outras sugestões, grupos de parâmetros a serem mensurados e determinados no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. Trata-se de uma boa referência para programas de monitoramento multipropósito (Tabela 82).

No caso do presente projeto, no que tange à água subterrânea, o diagnóstico, devido a suas especificidades, focaliza seu esforço sobretudo nos parâmetros do chamado “Grupo 2”, correspondente aos íons maiores, no “Grupo 5”, correspondente aos elementos-traço e em parte do “Grupo 1”, correspondente às medições em campo.

Tabela 82 – Grupos de parâmetros a serem mensurados ou determinados no monitoramento da qualidade da água subterrânea.

Grupo 1 **MEDIÇÕES EM CAMPO**	**Grupo 2** **ÍONS MAIORES E INDICADORES**		**Grupo 3** **NUTRIENTES**
• pH • Condutividade • Nível d'água • Temperatura da água • Vazão • Tempo de bombeamento • Coordenadas geográficas	• Cálcio solúvel • Magnésio solúvel • Sódio solúvel • Potássio solúvel • Ferro solúvel • Magnésio solúvel • Manganês solúvel • Sulfato • Cloreto • Alcalinidade • Fluoreto • Dureza total	• Oxigênio dissolvido • Carbono orgânico total • Sólidos dissolvidos totais (a 105 °C) • Sólidos Totais (105 °C)	• Nitrato • Nitrito • Amônia • Nitrogênio Kjedhal • Fósforo
		Grupo 4 **INDICADORES MICROBIOLÓGICOS**	
		• Coliformes totais	• *Escherichia coli*

Grupo 5 **ELEMENTOS TRAÇO**		**Grupo 6** **COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS**
• Ferro (filtrado e não filtrado) • Manganês (filtrado e não filtrado) • Alumínio (filtrado e não filtrado • Antimônio • Arsênio • Bário	• Boro • Cádmio • Chumbo • Cobre • Cromo • Mercúrio • Selênio	• Benzeno • Etilbenzeno • Tolueno • Tetracloroetileno • Tricloroetileno • 1,2 dicloroetano • Cloreto de vinila • Clorofórmio • 1,2 dicloroeteno • Xileno

Grupo 7 **PESTICIDAS**			
• Alaclor • Aldrin e Dieldrin • Atrazina • Bentazona • Clordano • 2,4 D	• DDT (isômeros) • Endossulfan • Endrin • Glifosato • Heptacloro • Hexaclorobenzeno	• Lindano (g-BHC) • Metolacloro • Metoxicloro • Molinato • Pendimetalina • Pentaclorofenol	• Permitrina • Propanil • Simazina • Trifluralina

Fonte: CETESB (2007).

3.7.6.2 Características hidroquímicas da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Doce

A diversidade lito geoquímica da BHRD é grande, o que contribui para que sejam também bastante diversos os padrões hidroquímicos da água que flui pelos poços da bacia. Não é o objetivo principal deste trabalho um inventário hidrogeoquímico abrangente da bacia, mas identificar contribuições de fluxos subterrâneos diretos à calha por onde fluiu a lama originada na barragem de Fundão. A presente abordagem foca sobretudo naquilo que se refere à água subterrânea, se bem que não há como, e nem por que dissociar e ignorar a circulação hídrica como um todo. Afora o escorrimento superficial em períodos de chuvas

intensas, a água que é vertida pela drenagem superficial tem origem nos fluxos subterrâneos que alcançam a superfície.

Os levantamentos realizados identificaram na faixa adotada, apenas, quinze poços tubulares profundos dotados de perfis geológicos e com variáveis hidroquímicas registradas no SIAGAS (Tabela 83) (CPRM, 2017). Mesmo nesses poços, o número de variáveis registradas também é pequeno, sendo que apenas dois poços, 3100002612 em Colatina (ES) e 3100018780 em Santa Cruz do Escalvado (MG), possibilitam um balanço iônico que permite verificar a qualidade das análises.

Tabela 83 – Variáveis de qualidade de água de poços registrados no SIAGAS, situados em faixa de 1.500 m do canal de drenagem do Rio Doce e afluentes.

Código	Data da coleta	Condutividade ($\mu S.cm^{-1}$)	pH	Turbidez (NTU)	Alcalinidade ($mg.L^{-1}$)	Dureza Total $CaCO_3$ ($mg.L^{-1}$)	$Ferro_{Tot}$ (mg/L)	Manganês (mg/L)
3100002612	30/10/1978	-	-	-	1,5	106,62	-	-
3100008099	23/01/2011	165	6,93	95	69	114	4,9	0,01
3100005343	27/07/1996	291	8,04	-	109	105	-	-
3100007072	10/10/1995	178,89	7,56	0,88	89,3	79,24	0,07	-
3100007073	25/08/2004	147	7,2	1	85,7	84,7	0,37	-
3100018696	09/03/2002	100	8,2	0,53	-	60	0,08	0,04
3100018780	28/11/2004	84,6	6,4	1	41,33	36,54	0,12	-
3100018781	19/04/2006	175	7,4	3	94,5	72,97	1,06	-
3100021463	25/04/2001	145	7,5	-	87	76	-	-
3100022248	02/02/2015	-	7,3	-	-	38	4,2	-
3100022249	04/03/2015	138	7,8	-	-	42	2,9	-
3100022250	10/03/2015	170	7,1	-	-	42	2,9	-
3100022406	18/07/2013	2237	7,6	-	-	338	2,8	2,5
3100022479	25/07/2013	1075	8,08	-	307,77		1,44	1,57
3100022480	23/07/2013	1070	7,6	-	-	27,3	3,3	1,1
Máximo		**2237**	**8,08**	**95**	**307,77**	**338**	**4,9**	**2,5**
Mínimo		**84,6**	**6,4**	**0,53**	**1,5**	**36,54**	**0,07**	**0,01**

Para que se possa ter uma boa indicação do nível de base das variáveis hidroquímicas, há que se ter muito mais informações do que as atualmente disponíveis, sejam elas relativas a variáveis com limites de admissibilidade normatizados ou não. Se o conhecimento do valor de variáveis com limites normativos estabelecidos é importante, o conhecimento das concentrações das variáveis correspondentes aos constituintes majoritários em solução, também, é, pois são eles que, estando presentes em quase todos os tipos de água, permitem que a água seja classificada pelo seu caráter hidroquímico.

Se observadas a Tabela 83 e Tabela 84, os metais de transição, entre os quais vários com potencial deletério à saúde humana, não se apresentaram em concentrações elevadas. O ferro consta de várias análises e o manganês, de apenas algumas, provavelmente por serem encontrados com frequência em proporções elevadas na água que supre determinados sistemas de abastecimento.

Tabela 84 – Macroconstituintes iônicos encontrados na água de poços cadastrados no SIAGAS.

Código	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
3100002612	33,75	14,2	33,29	3,3	16,6	0,2	1,3	-	-
3100008099	-	-	-	-	10,8	-	3,34	-	-
3100005343	44,3	4,9	-	-	6,9	52,6	-	0,31	-
3100007072	18,11	8,26	-	-	1,04	2	-	-	-
3100007073	-	-	-	-	2,1	-	-	-	-
3100018696	-	-	-	-	3,5	8,85	-	-	0,22
3100018780	9,75	2,96	4,42	2,69	0,5	5	-	-	-
3100018781	18,95	6,23	9,85	3,3	1,5	-	-	-	-
3100021463	-	-	-	-	3	-	0,58	-	0,66
3100022248	-	-	-	-	7,1	18,4	-	-	0,14
3100022249		-	-	-	6,3	9,9			0,47
3100022250	-	-	-	-	6,3	9,9	-		0,47
3100022406	-	-	-	-	332	540	-	-	0,18
3100022479	-	-	-	-	85,59	111,89	0,4	-	-
3100022480	-	-	-	-	76,4	22,8	-	-	-
Máximo	**44,3**	**14,2**	**33,29**	**2,69**	**85,59**	**111,89**	**3,34**		**0,66**
Mínimo	**9,75**	**2,96**	**4,42**	**3,3**	**0,5**	**0,2**	**0,4**		**0,14**

Nota: As datas de coleta são as mesmas referenciadas na Tabela 83.

O conhecimento de informações sobre a composição da água de poços em condições comparáveis, com base na literatura e o relato de operadores de sistemas de abastecimento da região visitada, faz ver que o ferro, por exemplo, pode ser identificado em concentrações maiores do que 4,9 $mg.L^{-1}$, o máximo anotado na Tabela 83. Algo semelhante ocorre também com o manganês. Visto isso, não faz sentido se calcular médias dos valores apresentados para essas variáveis.

No caso do pH, que é parâmetro muito importante para qualquer sistema de coleta e distribuição, assim como o cloreto, os dados disponíveis são mais abundantes. O pH apresentado se situa em uma faixa que pode ser considerada como normal, entre 6,4 a 8,08. O cloreto, medido na maioria dos casos considerados na Tabela 84, já levanta suspeitas de uma anormalidade na amostra 3100022479 (Tumiritinga-Copasa Sede), com concentração de 85,89 $mg.L^{-1}$. Não se configura uma desconformidade com respeito à Resolução CONAMA nº 286, porém é um valor anômalo frente às concentrações apresentadas para os outros poços.

O sulfato é um parâmetro que apresentou variação entre 0,5 e 112 $mg.L^{-1}$, podendo variar mais do que isso em condições naturais.

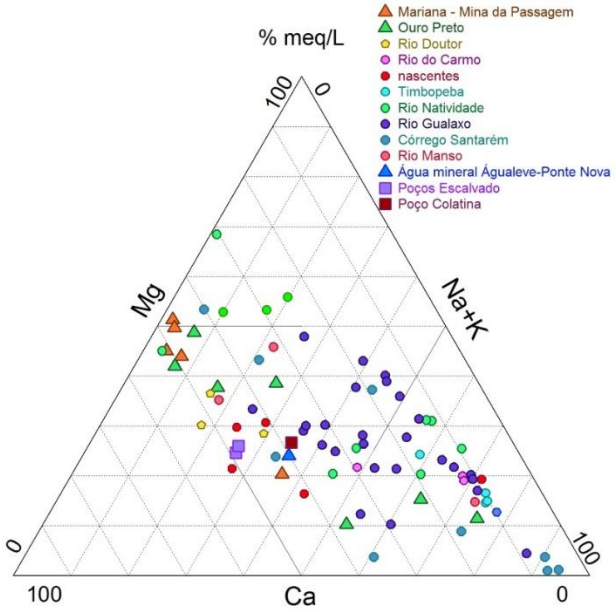
Algumas informações com respeito à presença de metais pesados em pontos de água, superficiais e subterrâneas podem ser obtidas em trabalhos realizados em locais específicos da BHRD. Entre estes, destacam-se os estudos acadêmicos desenvolvidos em sítios minerados, como a mina da Passagem em Mariana e em Ouro Preto, onde atenção especial foi dada ao arsênio (BORBA; FIGUEIREDO, 2004; BORBA; FIGUEIREDO; CAVALCANTI, 2004). Costa (2001) desenvolveu estudos na bacia do rio Gualaxo do Norte, fortemente impactado por atividades minerárias.

A variedade do caráter geoquímico da água na bacia do rio Doce pode ser observada na Figura 207, elaborada com dados obtidos de Costa (2001), Borba, Figueiredo e Cavalcanti (2004), CPRM (2017) e dados obtidos de uma análise da água mineral Água Leve de Ponte Nova, na bacia do rio Doce (análise Lamin nº 062, de 9 de março de 2015). Na referida figura, é feita uma caracterização quanto aos cátions majoritários Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} e K^{+}. Esse tipo de

diagrama é muito adequado a correlações da composição da água com a litologia drenada. O fato do diagrama utilizar dados percentuais elimina a influência do fator diluição. O diagrama foi elaborado principalmente com dados de água superficial devido à disponibilidade desses dados. Fica evidenciado que, ao menos nas áreas consideradas, a água da região é predominantemente mista ou sódica, ou seja: está situada nos triângulos central e inferior direito do diagrama. A dispersão maior de dados obtidos, em ocasiões diferentes em um mesmo ponto, normalmente é muito maior em água superficial do que em água subterrânea devido à maior mistura e variação composicional da primeira.

A Figura 207, a despeito de utilizar apenas elementos majoritários dissolvidos na água, também aponta para a impossibilidade de se estabelecer uma linha-base abrangente para outros elementos químicos, contando com número restrito de análises. As características da circulação e mobilidade da água subterrânea levam a crer que a composição química de um determinado poço seja, via de regra, bem mais constante do que a de um ponto de água superficial. As possibilidades de variação são bem mais restritas.

Figura 207 – Representação em diagrama trilinear das relações entre os cátions majoritários em amostras de água superficial e subterrânea na bacia do rio Gualaxo do Norte, em dois poços profundos e em uma água mineral da bacia hidrográfica do rio Doce.



Fonte: Costa (2001), Borba, Figueiredo e Cavalcanti (2004), CPRM (2017) e análise LAMIN nº 062/2015.

A distribuição e concentração de elementos químicos majoritários e minoritários, anotada por Costa (2001) no sistema hídrico do rio Gualaxo do Norte, tem origem tanto em processos naturais quanto desencadeados por ação humana. A litologia e o tipo de alteração intempérica, que regulam a partição dos elementos entre o solo e material particulado e a água, são fatores tipicamente naturais. Por outro lado, a influência da ação humana é desencadeada na mineração ou uso do solo em geral, seja pelo emprego de insumos químicos, alterações que instabilizam quimicamente ambientes naturais, ou por poluições de diversas origens. Costa (2001) identificou um caráter sódio bicarbonatado à água do rio Gualaxo do Norte, atribuindo as altas concentrações de sódio e bicarbonato ao processo de tratamento do minério de ferro. As elevadas concentrações de Fe e Mn são atribuídas às "fontes litogênicas associadas às atividades garimpeiras e ao enriquecimento desses elementos no ambiente secundário, que também é explorado pelo garimpo" (COSTA, 2001).

O garimpo de Antonio Pereira, nas cabeceiras do rio Gualaxo do Norte, seria a principal fonte, ativada por ação humana, de concentrações dos elementos tóxicos arsênio, manganês, antimônio, bário e mercúrio, em sedimentos. Saliente-se que esses sedimentos, por alterações físico-químicas no ambiente em que eles vieram a se depositar, podem ser parcialmente liberados para a solução. Anomalias nas concentrações de cobre, chumbo e zinco identificadas em Bento Rodrigues são atribuídas aos depósitos auríferos arqueanos. Outro fato constatado por Costa (2001) foi a correlação positiva nos sedimentos, de arsênio, bário, antimônio, mercúrio, níquel, chumbo, cobre e zinco, com o manganês. Essa associação pode estar relacionada a uma rocha-fonte comum ou, o que não é raro, à forte capacidade de captura, por sorção desses elementos, a minerais oxidados de manganês.

Foi constatado que um dos principais contaminantes minerais de água subterrânea, no QF, é o arsênio, que está presente em depósitos auríferos sulfetados. Borba, Figueiredo e

Cavalcanti (2004) encontraram, em águas de algumas minas auríferas subterrâneas e nascentes das regiões de Ouro Preto e Mariana, concentrações de arsênio total variando de 2 a 2980 $\mu g.L^{-1}$ e de arsênio trivalente de 1 até 86 $\mu g.L^{-1}$. Os referidos autores observaram que as maiores concentrações de arsênio são encontradas nos "aquíferos hospedados em rochas que possuem sulfetos e carbonatos, embora as concentrações nos aquíferos que possuem somente sulfetos também foram elevadas" (p. 45), sendo disperso seu modo de ocorrência. Em Ouro Preto, amostras de água coletadas em minas distantes de apenas 200 m apresentaram águas com arsênio total de 24 $\mu g.L^{-1}$ e de 260 $\mu g.L^{-1}$. Na mina de Passagem de Mariana, foi anotada variação no referido elemento de 4 $\mu g.L^{-1}$ a 2980 $\mu g.L^{-1}$.

Borba e Figueiredo (2004) atribuem a origem do arsênio presente em água subterrânea na região ao processo de oxidação natural da arsenopirita e da pirita presentes nas rochas auríferas sulfetadas. Tais minerais por oxidação formam a escorodita, um óxido hidratado de ferro e arsênio, um arsenato de ferro pobremente cristalizado, e liberam parte do arsênio em solução para a água subterrânea. Esses minerais secundários contendo arsênio podem, por elevação do pH do meio, liberarem o arsênio de sua estrutura para a água.

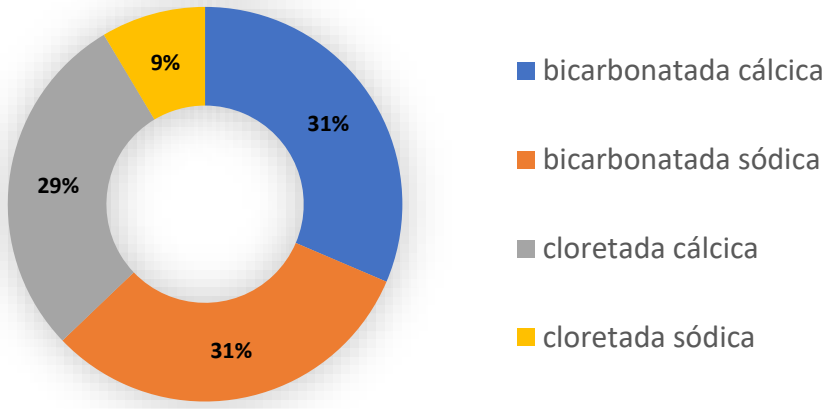
Considerando o caso específico da bacia do rio Doce, com uma importante província mineral em parte de suas cabeceiras, a drenagem foi alimentada por minerais secundários enriquecidos em elementos com potencial deletério à saúde humana. Inicialmente esses processos foram naturais de intemperismo e erosão, que, posteriormente, foram acelerados, intensamente, pela mineração ao longo de décadas e recentemente pelo evento do rompimento da barragem de Fundão. Esse material transportado foi sendo distribuído em depósitos nas várzeas ao longo do curso dos rios, passando a se constituir em potencial fonte secundária desses elementos, passíveis de serem liberados por alterações físico-químicas no seio do ambiente sedimentar.

Aspecto relevante a ser observado é o estado sob o qual os elementos serão analisados. A despeito da legislação apontar como parâmetro a concentração total de determinado elemento na água, a fração transportada em solução é a principal a ser considerada no ambiente hídrico subterrâneo. Os valores obtidos de variáveis, da solução na água superficial, são mais prontamente influenciados pela água subterrânea do que aqueles relacionados com o material particulado.

Independentemente de ter sido realizado após o desastre que está sendo avaliado, no estado do Espírito Santo foi desenvolvido um trabalho (MDGEO, 2016) que levantou algumas características gerais importantes de águas subterrâneas da região de Linhares. Características como o caráter geoquímico das águas, por exemplo, não poderiam ter sido modificadas em sua essência pelo fluxo de lama no rio. Foram feitas determinações do nível do freático para avaliação de direções de fluxo no aquífero livre. Foram determinadas variáveis físico-químicas e químicas obtidas em 35 pontos selecionados de um conjunto de 95 poços cadastrados, distribuídos em uma faixa ao longo do baixo curso do rio Doce. Em campo, foram analisados o pH, temperatura, potencial de oxidação, condutividade e turbidez. Em laboratório, foram feitas determinações de constituintes majoritários e minoritários, que foram submetidas a testes de consistência. Conforme a classificação hidroquímica, 11 amostras se enquadraram como bicarbonatadas cálcicas, 11 como bicarbonatadas sódicas, 10 como cloretadas sódicas e 3 como cloretadas cálcicas (Figura 208).

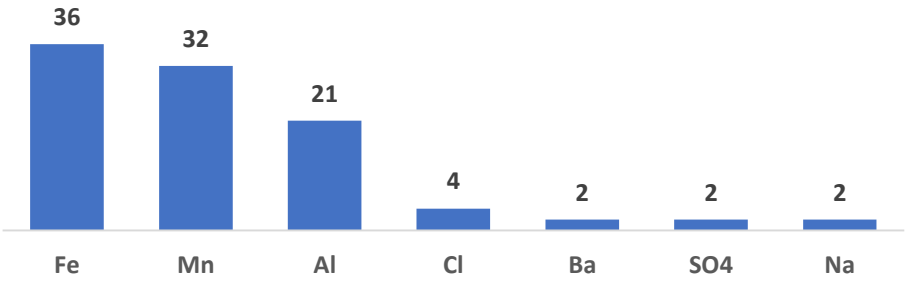
Se cotejadas com os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 396, no conjunto das 35 amostras, foram detectadas 17 não conformidades para o ferro, 15 para o manganês, 10 para o alumínio, 2 para o cloreto, e 1 para o bário, sulfato e sódio (Figura 209). As não conformidades são atribuídas pelos autores a fatores locais, não apresentando aparente relação com a lama de rejeito. Em alguns pontos há evidências de influência marinha.

Figura 208 – Caráter hidroquímico determinado em 35 amostras de água na região de Linhares.



Fonte: MDGEO (2016).

Figura 209 – Percentual com valores superiores ao VMP para cada componente químico em 35 amostras de água da região de Linhares.



Fonte: MDGEO (2016).

O estudo da MDGEO apontou, para a área avaliada, a predominância de direções de fluxo subterrâneo tendendo para o rio Doce, à exceção do segmento muito próximo ao oceano, para onde linhas de fluxo também se dirigem.

Entre junho de 2016 e janeiro de 2017, Torres et al. (2017) realizaram um levantamento visando avaliar o impacto do rompimento da barragem de Fundão, na agricultura familiar, por meio de entrevistas e determinação da concentração de metais pesados na água utilizadas por agricultores familiares da região do rio Doce. Foram avaliadas concentrações de alguns elementos químicos minoritários em vários pontos de coleta de água subterrânea e superficial em três localidades às margens do rio Doce, Novo Oriente, Governador Valadares e Colatina, cujos resultados serão considerados posteriormente. Da mesma fora que foram apresentados os

resultados para o Espírito Santo, embora esses dados tenham sido levantados após o rompimento da barragem, estes são importantes para a caracterização hidroquímica da região estudada.

Pretende-se, com a sequência do presente trabalho, determinar os tipos hidrogeoquímicos para diferentes segmentos da bacia do rio Doce, contextualizando, assim, os ambientes estabelecidos pelos constituintes dissolvidos dominantes. O conhecimento de características desses ambientes é componente necessário para a avaliação de possíveis distúrbios causados pelo fluxo de lama na água subterrânea da região.

Na interpretação dos resultados de concentrações de elementos como o ferro, alumínio, manganês e outros, deve ser levado em conta que se considera em solução os valores obtidos em amostras filtradas em membrana de 0,45 mícrons. Esse é um valor arbitrário, pois esses elementos podem estar compondo partículas com dimensões inferiores a esse valor. Isso pode explicar, em parte, a identificação de concentrações elevadas na água desses elementos sem que, em princípio, eles estejam disponíveis em solução verdadeira, para assimilação por organismos.

Modelagens hidroquímicas do comportamento do ferro em ambiente subterrâneo indicam situações bastante diversas conforme o ambiente físico-químico e os minerais presentes em contato com a água. Deutsch (1997) avaliou que o ferro, por exemplo: apresenta solubilidade baixíssima (Fe = 0,0005 $mg.L^{-1}$) em ambiente levemente alcalino (pH = a 7,5) e ambiente oxidante (Eh = +400 mV); em ambiente ácido (pH = 3,5) e oxidante (Eh = +400 mV) a concentração é elevada (Fe = 554 $mg.L^{-1}$); em ambiente levemente ácido (pH = 6,3) e oxidante (Eh = +400 mV) a concentração é baixa (Fe = 0,01 $mg.L^{-1}$); em ambiente também levemente ácido (pH = 6,3) e menos oxidante (Eh = +150 mV) a concentração em solução passa a ser novamente elevada (Fe + 112 mg. L^{-1}); e em ambiente levemente ácido (pH = 6,4) e redutor (Eh = -150 mV) a concentração em solução é bem mais elevada (Fe = 0,8 $mg.L^{-1}$). Modelagens semelhantes também podem ser feitas para o manganês e outros metais de valência variável.

A aplicação de modelos hidrogeoquímicos será feita neste trabalho, visando avaliar a especiação química de elementos, ou seja, determinar sob que forma os elementos ocorrem, aspecto importante para que se possa entender situações de concentrações elevadas dos referidos componentes químicos. O conhecimento da razão da presença elevada de elementos potencialmente deletérios à saúde na água, seja subterrânea ou mesmo superficial, é de utilidade incontestável para a gestão dos recursos hídricos para abastecimento humano.

3.7.7 Considerações finais

As avaliações realizadas até o momento sobre o que diz respeito à qualidade da água subterrânea na bacia do rio Doce apontam ou indicam preliminarmente que:

- Os estudos e levantamentos disponíveis sobre as características hidrogeológicas da bacia hidrográfica do rio Doce sugerem um predomínio de um rio efluente situado na área de descarga dos aquíferos regionais, o que pode ter dificultado a contaminação direta dos mananciais subterrâneos pelos rejeitos de Fundão.
- Independentemente de o fluxo de lama eventualmente não ter afetado significativamente a composição da água dos aquíferos, o estudo das características destes é necessário para que se possa avaliar alterações na

composição da água superficial ao longo de seu curso, continuamente suprida pelos aquíferos.

- O fluxo de lama desencadeado pelo rompimento da barragem de Fundão, ao inviabilizar temporariamente o abastecimento de água retirada diretamente do rio Doce em muitas comunidades ribeirinhas, induziu campanhas intensivas de perfurações de poços tubulares, podendo ter promovido localmente a explotação de aquíferos além de suas capacidades.
- Vários poços foram construídos muito próximo ao rio Doce, podendo, no caso de uma extração inadequada, provocar localmente mudanças na direção do fluxo subterrâneo, aduzindo água veiculada pelo rio.
- Nos trabalhos de campo foi observado que alguns poços, instalados e operantes descontinua ou continuamente, estão situados em condições de vulnerabilidade quanto a contaminações pelo uso do solo em sua área de recarga.
- Elementos ou parâmetros hidroquímicos determinados em poços de abastecimento de água da bacia do rio Doce, que foram identificados com valores acima dos valores máximos permissíveis para usos preponderantes, devem ter sua origem investigada, independentemente de sua relação com o desastre de Mariana.
- O ferro, alumínio, manganês e arsênio que têm apresentado valores relativamente elevados em determinados corpos de água. Esses elementos são absolutamente ou relativamente abundantes em rochas e solos da bacia, de todo modo, devem igualmente ser melhor investigados.
- É necessária a realização de um diagnóstico sistemático da qualidade de água subterrânea que alimenta o rio Doce em diferentes pontos de seu curso, o que está previsto na sequência deste trabalho.
- Há que se realizar avaliações mais detalhadas com respeito às características quantitativas e hidrodinâmicas da água subterrânea na bacia do rio Doce, com base nos poços tubulares produtivos na faixa lindeira do curso do rio Doce.
- Sugere-se a realização de um inventário das condições em que se encontram os poços de abastecimento em utilização ou desativados, ao longo do curso do rio Doce, visando à análise da vulnerabilidade, à contaminação dos aquíferos acessados e à proposição de medidas para sua proteção.
- Os benefícios que poderão advir do diagnóstico das características da água subterrânea na bacia do rio Doce extrapolam bastante os objetivos que motivaram este trabalho.

3.8 Águas Superficiais Fluviais

Água superficial, por definição, é toda água que escoa ou que é armazenada na superfície terrestre. No tocante às águas superficiais fluviais relacionam-se os rios, que são cursos naturais de água doce, na maioria das vezes com canais definidos e fluxos permanente ou sazonal, que migram em direção a um oceano, lago ou outro rio.

No presente capítulo, o enfoque dado às águas superficiais fluviais foi aquele concernente aos seus aspectos qualitativos. De tal modo, apresentam-se os resultados da

avaliação realizada acerca das condições da qualidade da água do rio Doce e tributários de interesse no período anterior ao rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão. Resultados referentes à avaliação das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica também constam no documento.

Nesse contexto, a partir do estabelecimento dessa linha-base será possível avaliar futuramente a magnitude e a dinâmica das possíveis alterações ocorridas na qualidade das águas superficiais fluviais na região afetada.

3.8.1 Importância do tema

A água é um recurso natural de grande importância, sendo um fator de suporte à vida, desde seres unicelulares, até organismos macroscópicos e os ecossistemas em que se inserem (KHAN; ANSARI, 2005). Dessa forma, compreende-se que a água é fundamental para a manutenção da vida, sendo um elemento insubstituível em diversas atividades.

Para que a água possa ser empregada em múltiplos usos (manutenção das comunidades aquáticas, potabilidade, dessedentação de animais, irrigação, lazer, pesca, entre outros), é necessário que se apresente não somente em quantidade, mas também em qualidade adequada.

As condições da qualidade da água são altamente influenciadas pelas características da bacia onde o corpo hídrico está inserido, refletindo os impactos (positivos e negativos) das atividades realizadas no seu entorno, sendo sua avaliação, portanto, indicadora da qualidade ambiental.

3.8.2 Metodologia

Para o estabelecimento das condições limnológicas e de qualidade de água que os recursos hídricos, situados na região impactada pelo rompimento da barragem de Fundão, já apresentavam previamente ao evento de rompimento, foi necessário o cumprimento de diversas etapas metodológicas, descritas nos itens a seguir.

3.8.2.1 Área de estudo e seleção das estações de monitoramento de qualidade de água

A área de estudo refere-se ao rio Doce, e seus tributários, inseridos na região afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana (MG).

Nesse contexto, foram avaliadas as malhas amostrais de programas de monitoramento contínuos de qualidade de água existentes na região, antes do evento de rompimento da barragem, visando ao estabelecimento da linha-base.

No estado de Minas Gerais, a qualidade das águas superficiais na bacia do rio Doce é monitorada pelo Instituto Mineiro da Gestão das Águas (IGAM) e, no Estado do Espírito Santo, pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). O monitoramento da qualidade das águas interiores mineiras vem sendo realizado desde o ano de 1997, no âmbito

do Programa Águas de Minas. O IGAM monitora 64 pontos na bacia do rio Doce, enquanto o IEMA monitora 12 pontos (ANA, 2016), totalizando 76 estações de monitoramento.

Os dados do IGAM foram obtidos em seu próprio *site* (http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/serie-historica), enquanto os dados do IEMA foram obtidos a partir da base de dados *on-line* Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA), no seguinte endereço: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/.

Das 76 estações de monitoramento localizadas na bacia do rio Doce, foram selecionadas 23 estações de monitoramento do IGAM e 7 estações de monitoramento do IEMA (Tabela 85 e Tabela 86), totalizando 30 estações ao longo da área de estudo. Dessas 30 estações, 17 localizam-se no rio Doce e 13 em seus afluentes. Com exceção da estação RDC1C005, do IEMA, foram utilizadas todas as estações situadas no rio Doce. Esse descarte ocorreu em virtude de a estação RDC1C005 estar localizada em região muito próximo à estação RD067, do IGAM, a qual possui período amostral maior, bem como quantidade de parâmetros de qualidade de água monitorados. Para as estações localizadas em afluentes, a seleção priorizou aquelas situadas em locais próximo ao encontro com o rio Doce e com séries de dados mais extensas.

Na Tabela 85 e na Tabela 86, estão listadas as estações de monitoramento situadas no rio Doce e seus afluentes, respectivamente. É possível observar o período em que se iniciaram os eventos de monitoramento em cada uma das estações. Na coluna "Fim do monitoramento", consideraram-se as últimas campanhas realizadas antes do evento de rompimento (5 de novembro de 2015). Convém destacar que o número de eventos monitorados pelo IGAM antes do rompimento da barragem de Fundão foi superior ao do IEMA, uma vez que o monitoramento realizado pelo órgão de Minas Gerais ocorreu de modo mais frequente no período estudado. Além disso, algumas estações de monitoramento foram estabelecidas mais tardiamente: RD072, RD083, RD071, RD073 e RD089, o que também implicou um número inferior de campanhas.

Tabela 85 – Estações de monitoramento de qualidade de água localizadas no rio Doce.

Estação	Órgão	Início do monitoramento	Fim do monitoramento	Município	Distância até a barragem de Fundão (km)	Nº de eventos monitorados
RD072	IGAM	01/10/08	07/10/15	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	111	48
RD019	IGAM	02/09/97	07/10/15	Rio Casca, São Domingos do Prata	167	92
RD023	IGAM	16/09/97	09/10/15	Marliéria, Pingo-d'Água	217	92
RD035	IGAM	05/08/97	09/10/15	Santana do Paraíso	262	85
RD033	IGAM	30/07/97	14/10/15	Belo Oriente, Bugre	291	92
RD083	IGAM	08/07/08	14/10/15	Fernandes Tourinho, Periquito	335	49
RD044	IGAM	21/02/00	14/10/15	Governador Valadares	374	84
RD045	IGAM	30/07/97	14/10/15	Governador Valadares	388	92
RD053	IGAM	04/09/97	19/10/15	Galileia, Tumiritinga	415	91
RD058	IGAM	22/02/00	19/10/15	Conselheiro Pena	450	83
RD059	IGAM	04/09/97	16/10/15	Resplendor	486	92

Estação	Órgão	Início do monitoramento	Fim do monitoramento	Município	Distância até a barragem de Fundão (km)	Nº de eventos monitorados
RD067	IGAM	25/03/98	16/10/15	Aimorés (MG), Baixo Guandu (ES)	522	90
RDC1E010	IEMA	18/05/99	09/11/10	Colatina	546	27
RDC1E015	IEMA	18/05/99	12/05/09	Colatina	568	19
RDC1D020	IEMA	18/05/99	09/11/10	Colatina	560	27
RDC1D025	IEMA	18/05/99	21/10/10	Linhares	609	25
RDC1E030	IEMA	12/05/91	21/10/10	Linhares	623	25

Tabela 86 – Estações de monitoramento de qualidade de água em afluentes do rio Doce.

Estação	Órgão	Início do monitoramento	Fim do monitoramento	Município	Afluente	Nº de eventos monitorados
RD009	IGAM	23/07/97	13/01/15	Mariana	Rio do Carmo	66
RD071	IGAM	01/10/08	13/01/15	Barra Longa	Rio do Carmo	29
RD013	IGAM	23/07/97	14/01/15	Ponte Nova	Rio Piranga	89
RD018	IGAM	15/02/00	14/01/15	Rio Casca, São Pedro dos Ferros	Rio Casca	64
RD073	IGAM	17/10/08	16/01/15	Bom Jesus do Galho, Pingo-d'Água	Ribeirão Sacramento	29
RD034	IGAM	17/02/00	16/01/15	Coronel Fabriciano, Timóteo	Rio Piracicaba	64
RD039	IGAM	30/07/97	21/01/15	Naque	Rio Santo Antônio	73
RD040	IGAM	18/02/00	21/01/15	Governador Valadares, Periquito	Rio Corrente Grande	64
RD089	IGAM	10/07/08	23/01/15	Governador Valadares	Rio Suaçuí Grande	30
RD057	IGAM	04/09/97	26/01/15	Conselheiro Pena	Rio Caratinga	73
RD065	IGAM	27/08/97	23/01/15	Aimorés	Rio Manhuaçu	73
RDC2C007	IEMA	18/05/99	09/11/10	Afonso Cláudio	Rio Guandu	27
RDC2C012	IEMA	25/06/99	09/11/10	Baixo Guandu	Rio Santa Joana	27

A localização dos pontos de monitoramento avaliados ao longo do rio Doce e seus afluentes é apresentada na Figura 210. Na Tabela 87, constam as coordenadas geográficas das referidas estações (Datum SIRGAS 2000), no sentido montante-jusante do rio Doce.

Figura 210 – Localização das estações de monitoramento de qualidade de água na região de estudo.

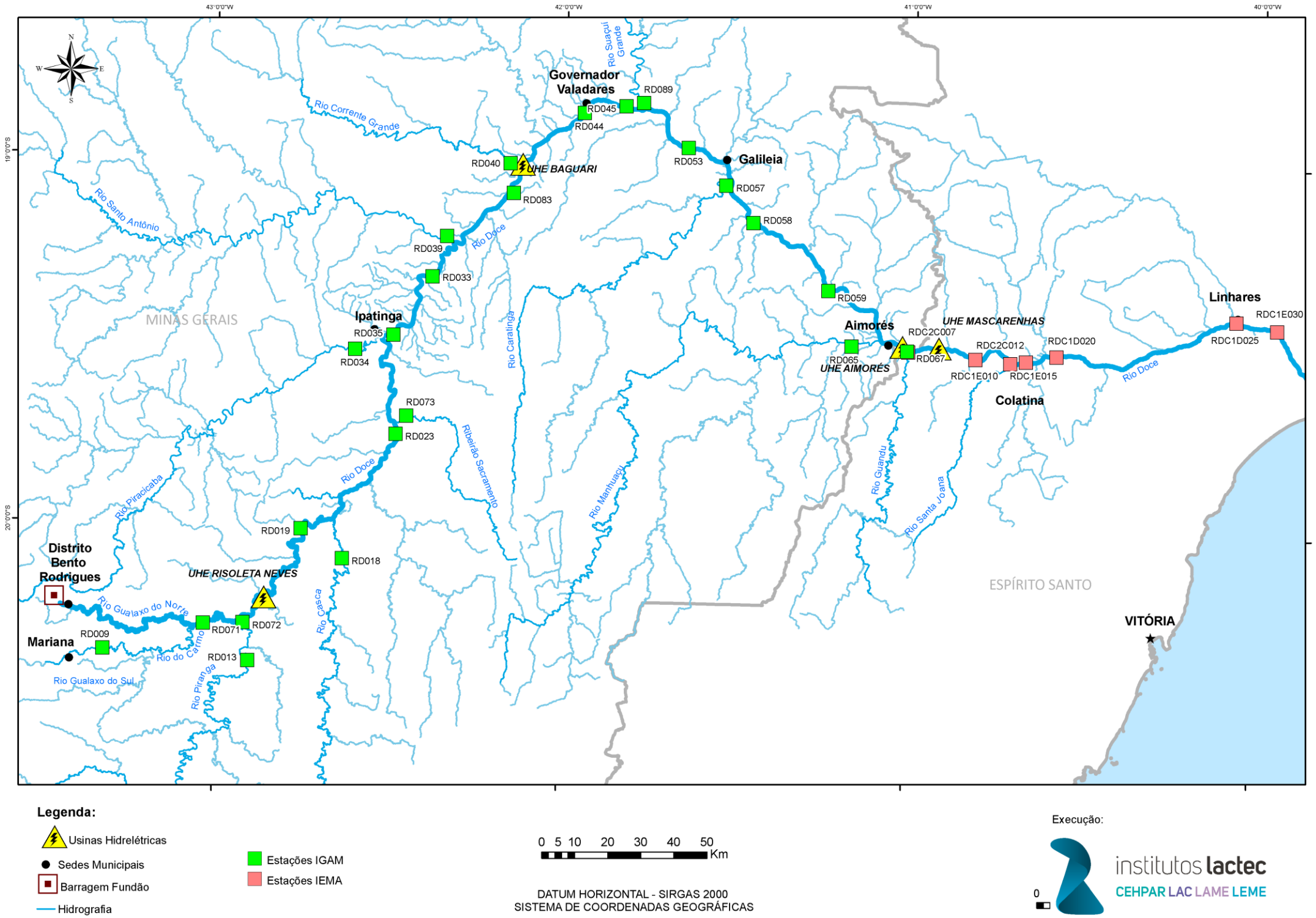


Tabela 87 – Coordenadas geográficas das estações de monitoramento de qualidade de água na área de estudo.

Ponto	Órgão	Rio	Latitude	Longitude
RD009	IGAM	Rio do Carmo	-20,35	-43,32
RD071	IGAM	Rio do Carmo	-20,28	-43,03
RD072	IGAM	Rio Doce	-20,27	-42,92
RD013	IGAM	Rio Piranga	-20,38	-42,9
RD018	IGAM	Rio Casca	-20,1	-42,63
RD019	IGAM	Rio Doce	-20,02	-42,75
RD023	IGAM	Rio Doce	-19,76	-42,48
RD073	IGAM	Ribeirão Sacramento	-19,71	-42,45
RD034	IGAM	Rio Piracicaba	-19,53	-42,6
RD035	IGAM	Rio Doce	-19,49	-42,49
RD033	IGAM	Rio Doce	-19,33	-42,38
RD039	IGAM	Rio Santo Antônio	-19,22	-42,34
RD083	IGAM	Rio Doce	-19,1	-42,15
RD040	IGAM	Rio Corrente Grande	-19,02	-42,16
RD044	IGAM	Rio Doce	-18,88	-41,95
RD045	IGAM	Rio Doce	-18,86	-41,83
RD089	IGAM	Rio Suaçuí Grande	-18,85	-41,78
RD053	IGAM	Rio Doce	-18,97	-41,65
RD057	IGAM	Rio Caratinga	-19,07	-41,54
RD058	IGAM	Rio Doce	-19,17	-41,46
RD059	IGAM	Rio Doce	-19,35	-41,24
RD065	IGAM	Rio Manhuaçu	-19,5	-41,17
RD067	IGAM	Rio Doce	-19,51	-41,01
RDC2C007	IEMA	Rio Guandu	-19,51194	-41,00667
RDC1E010	IEMA	Rio Doce	-19,52806	-40,81278
RDC2C012	IEMA	Rio Santa Joana	-19,53722	-40,71222
RDC1E015	IEMA	Rio Doce	-19,53194	-40,6675
RDC1D020	IEMA	Rio Doce	-19,51639	-40,58
RDC1D025	IEMA	Rio Doce	-19,41056	-40,065
RDC1E030	IEMA	Rio Doce	-19,43167	-39,9475

3.8.3 Parâmetros de qualidade de água e base legal

Para o estabelecimento da linha-base, no tocante às águas superficiais doces, foi avaliado um total de 46 parâmetros de qualidade de água, incluindo parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Em virtude de monitorar um conjunto de parâmetros de qualidade de água inferior ao do IGAM/MG, para a série histórica de dados do IEMA/ES, foi possível avaliar somente 8 dos 46 parâmetros de qualidade de água, conforme apresentado na Tabela 88.

Para a avaliação dos parâmetros, em termos de desacordos ambientais, utilizaram-se como base os padrões de qualidade de água dispostos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2 (BRASIL, 2005) (Tabela 88). O rio Doce, assim como a grande maioria de seus afluentes, não possui enquadramento aprovado no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Dessa forma, conforme orientação da Resolução CNRH nº 91/2008 (artigo 15, parágrafo 2º) (BRASIL, 2008), até que se estabeleça o enquadramento do corpo hídrico, poderá ser adotada a Classe 2.

Convém destacar que, no estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008), assim como a Resolução CONAMA nº

357/2005, também dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e impõe as diretrizes ambientais de enquadramento. Contudo, não há diferenças entre a Deliberação Normativa Conjunta e a referida resolução no que diz respeito aos limites para águas de Classe 2. Exceção se faz para o parâmetro "sólidos suspensos totais", que apresenta valor de referência somente na Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

Desse modo, por ter o rio Doce suas nascentes no estado de Minas Gerais e sua foz no estado do Espírito Santo – sendo considerado rio de domínio da União – optou-se por utilizar os valores de referência (limites) dispostos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Para a avaliação dos resultados de "sólidos suspensos totais" na porção mineira, entretanto, foi utilizado o valor de referência da COPAM/CERH-MG 01/08.

Tabela 88 – Variáveis de qualidade de água avaliadas e respectivos limites dispostos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2.

Variáveis físicas			
Variável de qualidade de água	**IGAM/MG**	**IEMA/ES**	**Limite para rios de Classe 2**
Cor verdadeira	X		≤ 75 UC
Sólidos totais	X	X	-
Sólidos dissolvidos totais	X		≤ 500 mg.L^{-1}
Sólidos em suspensão totais	X		≤ 100 mg.L^{-1}*
Turbidez	X	X	≤ 100 UNT
Variáveis químicas			
Variável de qualidade de água	**IGAM/MG**	**IEMA/ES**	**Limite para rios de Classe 2**
Alcalinidade de bicarbonato	X		-
Alcalinidade total	X		-
Cianeto livre	X		≤ 0,005 mg.L^{-1}
Condutividade elétrica in loco	X		-
Cloreto total	X		≤ 250 mg.L^{-1}
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	X	X	≤ 5 mg.L^{-1}
Dureza total	X		-
Fenóis totais	X		≤ 0,003 mg.L^{-1}
Fósforo total	X	X	≤ 0,1 mg.L^{-1}
Nitrato	X		≤ 10 mg.L^{-1}
Nitrito	X		≤ 1 mg.L^{-1}
Nitrogênio amoniacal	X		3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Nitrogênio orgânico	X		-
Nitrogênio total	X	X	Ambientes lóticos: < 2,18 mg.L^{-1}; quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização.
Oxigênio dissolvido (OD)	X	X	≥ 5,00 mg.L^{-1}
pH in loco	X	X	6,0 a 9,0
Selênio total	X		≤ 0,01 mg.L^{-1}
Sulfato total	X		≤ 250 mg.L^{-1}

Variáveis químicas (metais e semimetais)			
Variável de qualidade de água	**IGAM/MG**	**IEMA/ES**	**Limite para rios de Classe 2**
Alumínio dissolvido	X		≤ 0,1 mg.L^{-1}
Alumínio total	X		-
Arsênio total	X		≤ 0,01 mg.L^{-1}
Bário total	X		≤ 0,7 mg.L^{-1}
Boro dissolvido	X		-

Boro total	X		≤ 0,5 mg.L^{-1}
Cádmio total	X		≤ 0,001 mg.L^{-1}
Cálcio total	X		-
Chumbo total	X		≤ 0,01 mg.L^{-1}
Cobre dissolvido	X		≤ 0,009 mg.L^{-1}
Cobre total	X		-
Cromo hexavalente	X		-
Cromo trivalente	X		-
Cromo total	X		≤ 0,05 mg.L^{-1}
Ferro dissolvido	X		≤ 0,3 mg.L^{-1}
Magnésio total	X		-
Manganês total	X		≤ 0,1 mg.L^{-1}
Mercúrio total	X		≤ 0,0002 mg.L^{-1}
Níquel total	X		≤ 0,025 mg.L^{-1}
Potássio dissolvido	X		-
Sódio dissolvido	X		-
Zinco total	X		≤ 0,18 mg.L^{-1}
Variáveis microbiológicas			
Variável de qualidade de água	**IGAM/MG**	**IEMA/ES**	**Limite para rios de Classe 2**
Coliformes termotolerantes	X	X	≤ 1.000 NMP.100mL^{-1}

Nota: * Limite da Classe 2 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 01/2008.

Observa-se na Tabela 88 que nem todas as variáveis listadas são abrangidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Nesse caso, foram utilizados alternativamente, para efeitos de avaliação dos resultados, mas não em termos de não conformidade, valores de referência da Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011), bem como valores dispostos na literatura consultada.

Além desses parâmetros de qualidade de água, foram avaliadas também as comunidades fito e zooplanctônica, apresentadas em itens à parte. Convém destacar que os programas de monitoramento de qualidade de água contínuos na região de estudo (base de dados IGAM/MG e IEMA/ES) não consideravam a avaliação da comunidade zooplanctônica antes do desastre.

O presente relatório também contemplou a avaliação dos ensaios ecotoxicológicos com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*, realizados pelo IGAM antes do evento do rompimento da barragem de Fundão.

3.8.4 Avaliação dos dados físicos, químicos e microbiológicos da água

Inicialmente, procedeu-se à organização e análise exploratória da base de dados preexistente ao rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão. Foram reunidos os dados referentes a todas as campanhas realizadas antes do evento do rompimento da barragem de Fundão (5 de novembro de 2015), considerando-se as estações de monitoramento descritas no item 3.8.2.1 e os parâmetros de qualidade de água listados na Tabela 88.

Calcularam-se medidas estatísticas para cada série de dados (mínimo, máximo, média e mediana), além do número de observações. Tais informações encontram-se no **Apêndice Q**. Ressalta-se que, nos casos em que os resultados das análises dos parâmetros de qualidade de

água resultaram em valor inferior ao Limite de Quantificação do método (LQ), utilizou-se o próprio valor do LQ para fins de cálculo.

Complementarmente, visando à avaliação da distribuição das séries de dados de cada um dos parâmetros de qualidade de água, para cada uma das estações de monitoramento, foram elaborados gráficos de caixa (*box plot*). Esse tipo de gráfico é formado por cinco medidas: limite inferior, primeiro quartil, mediana (ou segundo quartil), terceiro quartil e limite superior. Quartis são valores que dividem uma amostra de dados em quatro partes iguais (Tabela 89), cada uma possuindo o mesmo número de observações.

Tabela 89 – Definição de quartis.

Quartil	Descrição
1º quartil (Q1)	25% dos dados são menores que ou iguais a este valor.
2º quartil (Q2) ou mediana	50% dos dados são menores que ou iguais a este valor.
3º quartil (Q3)	75% dos dados são menores que ou iguais a este valor.
Amplitude interquartílica (AIQ)	A distância entre o 1º e o 3º quartil (Q3-Q1).

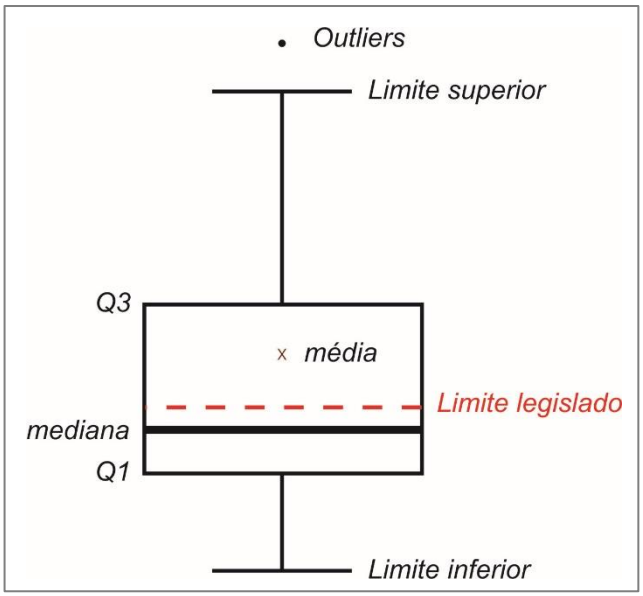
Os limites inferior e superior são os valores mínimo e máximo do conjunto em questão, descontando-se os valores discrepantes ou *outliers*. Estes foram calculados do seguinte modo:

- *Outlier* superior = Q3 + (1,5 × AIQ);
- *Outlier* inferior = Q1 - (1,5 × AIQ).

Na presente avaliação, foram ainda adicionados à configuração original do gráfico o valor da média do conjunto (representada por um "x" na cor vermelha) e o limite da Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005.

A Figura 211 mostra a representação esquemática do gráfico *box plot* adotada no presente trabalho.

Figura 211 – Representação esquemática do gráfico *box plot*.



Os gráficos de distribuição (*box plot*) serão apresentados no **Apêndice Q**. Quando necessário, foi apresentado detalhamento dos gráficos, buscando uma melhor visualização dos resultados.

3.8.4.1 Avaliação do período seco e chuvoso

Com vistas à avaliação da influência da sazonalidade nos resultados dos parâmetros de qualidade de água, os conjuntos de dados – quando pertinente – foram divididos em "período seco" e "período chuvoso". Na região, o período chuvoso ocorre, normalmente, entre outubro e março, e o período seco, entre abril e setembro (IGAM, 2016).

3.8.4.2 Avaliação de não conformidade dos parâmetros de qualidade de água

Para a determinação dos parâmetros de qualidade de água que já mostravam alterações mais relevantes antes do desastre, foram calculados para os três períodos (total, chuvoso e seco) os percentuais de desacordos em relação aos limites dispostos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (item 3.8.3). Percentuais de desacordos acima de 20% foram destacados em vermelho. Esse foi o mesmo critério utilizado no Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no âmbito da Bacia do Rio Doce (CONSÓRIO ECOPLAN-LUME, 2010a) para a definição de parâmetros prioritários. Ou seja, os parâmetros de qualidade de água com desacordos em relação ao limite legislado em mais de 20% dos eventos de monitoramento foram considerados mais relevantes no sentido da gestão da bacia do rio Doce no referido Plano Integrado de Recursos Hídricos.

Para os parâmetros de qualidade de água não contemplados pela Resolução CONAMA nº 357/2005, não foram calculados percentuais de desacordos.

3.8.4.3 Avaliação espacial dos dados de monitoramento de qualidade de água

Para a avaliação espacial dos dados, ou seja, de variações ao longo do rio Doce e dos seus tributários, foram gerados gráficos de medianas. A mediana é uma medida estatística de posição, dividindo a série de dados (ordenada em modo crescente) em partes iguais. Assim, sabe-se que 50% das observações da série têm valor superior à mediana, enquanto a outra metade das observações possui valor inferior à mediana. Dessa forma, quando a mediana é superior ao limite legislado, tem-se como resposta imediata que em pelo menos 50% das observações (eventos) do monitoramento, o parâmetro de qualidade de água encontrou-se em desacordo com a legislação. Além disso, a mediana não é tão sensível a valores discrepantes, como a média. A média, ao contrário da mediana, é uma medida muito influenciada por valores "muito altos" ou "muito baixos", mesmo que esses valores surjam em baixa frequência na amostra. Desse modo, a média pode não representar adequadamente o conjunto dos dados. Nos gráficos de mediana, foram plotados os valores de mediana dos períodos total, seco e chuvoso de determinada variável de qualidade de água nas estações monitoradas, sendo possível observar o comportamento da variável em questão ao longo da área de estudo.

3.8.4.4 Avaliação temporal dos dados de monitoramento de qualidade de água

Visando avaliar as possíveis alterações dos parâmetros de qualidade de água ao longo do tempo, foram utilizados gráficos de dispersão para cada uma das variáveis de qualidade de água, colocando-se na forma gráfica os dados do período seco e chuvoso em comparação ao limite legislado adotado, considerando toda a série de dados da referida variável.

3.8.5 Avaliação da comunidade fitoplanctônica

Extensa pesquisa bibliográfica foi realizada buscando informações sobre o fitoplâncton da bacia do rio Doce, anteriores ao rompimento da barragem de Fundão, ocorrido em 5 de novembro de 2015. Livros, teses de doutorado, dissertações de mestrado, monografias de conclusão de curso, publicações científicas nacionais e internacionais, relatórios técnicos e demais dados obtidos em bases de dados científicos e literatura especializada foram consultados. As informações de riqueza e ocorrência de espécies do fitoplâncton no rio Doce e seus afluentes, obtidas do IGAM, foram compiladas na Tabela 153, que está apresentada no item 3.8.13.1. Dados de clorofila-a, densidade de organismos do fitoplâncton e de células de cianobactérias foram apresentados em gráficos e avaliados com relação ao período seco e chuvoso.

3.8.6 Avaliação da comunidade zooplanctônica

Foram realizadas buscas por publicações em bases de dados científicos, assim como em bibliografia especializada, referentes ao zooplâncton de água doce, com foco nos grupos Rotifera, Copepoda e Cladocera. As buscas foram específicas para a bacia do rio Doce e para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. A busca abrangeu livros, artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, teses de doutorado e dissertações de mestrado, trabalhos publicados em eventos técnicos e acadêmicos e documentos técnicos como relatórios de monitoramento ambiental, estudos de impactos, entre outros. Todos os trabalhos encontrados, desenvolvidos anteriormente ao dia 5 de novembro de 2015, foram analisados. Entre os dados disponíveis para a bacia, foram considerados os trabalhos que apresentaram dados para o leito principal do rio Doce e lagoas marginais, e para os afluentes selecionados para a avaliação da qualidade da água, listados na Tabela 86.

3.8.7 Avaliação dos ensaios de ecotoxicidade com *Ceriodaphnia dubia*

Os ensaios de ecotoxicidade consistem na determinação do potencial tóxico de um agente químico ou de uma mistura complexa, sendo os efeitos desses poluentes detectados a partir da resposta de organismos vivos (IGAM, 2014).

O IGAM utilizou o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* como organismo indicador para descrever os eventuais efeitos deletérios sobre os organismos aquáticos. Esse método consiste na exposição de indivíduos jovens desse organismo, a várias concentrações da água bruta, por um período de sete dias nas condições prescritas na norma ABNT NBR 13373.

O teste apresenta as seguintes respostas: Efeito Agudo, Efeito Crônico e Não Tóxico. O Efeito Agudo é caracterizado por uma resposta severa e rápida a um estímulo, a qual se manifesta nos organismos aquáticos em tempos relativamente curtos (0 a 48h), sendo o efeito morte o mais observado, podendo-se também notar letargia nas espécies amostradas. O Efeito Crônico caracteriza-se pela resposta a um estímulo que continua por longos períodos de exposição do organismo ao poluente (1/10 do ciclo vital até a totalidade da vida), que pode ser expressa a partir de mudanças comportamentais, alterações fisiológicas, genéticas, reprodução etc. (IGAM, 2014).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, entre as condições de qualidade de água, está a "não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente..." Ainda nesse contexto, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 também ressalta que para as condições de qualidade de água deve ser observada a "não verificação de efeito tóxico agudo e crônico a organismos em amostras de água e/ou sedimento, de acordo com os critérios a serem estabelecidos pelo COPAM". Sendo assim, todas as respostas Efeito Agudo e Efeito Crônico foram consideradas como não conformidades.

Foram avaliadas nove estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Doce, no estado de Minas Gerias (Tabela 90), destas, seis estações estão localizadas no rio Doce e três em afluentes.

Assim como para os parâmetros de qualidade de água, as observações foram separadas entre os períodos seco e chuvoso. Ressalta-se que nem sempre o número de eventos realizados, bem como o período amostrado, foi igual para todas as estações de monitoramento. Os dados avaliados estão compreendidos entre os anos de 2011 até a data do

desastre (5 de novembro de 2015), com exceção das estações RD083, cujo monitoramento foi realizado desde 2008 e possui então uma série maior de dados, e as estações RD034 e RD045, com dados avaliados entre os anos de 2001 e 2003.

Tabela 90 – Estações de monitoramento de qualidade de água com avaliação de ensaios de ecotoxicidade.

Estação	Órgão	Início do monitoramento	Fim do monitoramento	Rio	Número de eventos ecotoxicológicos monitorados
RD023	IGAM/MG	07/10/11	09/10/15	Rio Doce	17
RD034	IGAM/MG	16/08/01	02/05/03	Rio Piracicaba	8
RD035	IGAM/MG	07/10/11	09/10/15	Rio Doce	17
RD039	IGAM/MG	13/10/11	21/01/15	Rio Santo Antônio	17
RD083	IGAM/MG	08/07/08	14/10/15	Rio Doce	30
RD045	IGAM/MG	19/08/01	06/05/03	Rio Doce	8
RD058	IGAM/MG	17/10/11	19/10/15	Rio Doce	17
RD065	IGAM/MG	17/10/11	23/01/15	Rio Manhuaçu	17
RD067	IGAM/MG	16/10/11	16/10/15	Rio Doce	17

3.8.8 Resultados

3.8.8.1 Resultados das variáveis físicas da água

Cor verdadeira

Segundo a CETESB (2016), a cor de uma amostra de água está relacionada à redução da intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, sendo esse processo associado à concentração de sólidos dissolvidos. Alterações na cor da água podem ter origem natural, advindas da decomposição da matéria orgânica. Também de origem natural e que conferem cor à água podem ser citados os coloides orgânicos, como os ácidos fúlvicos e húmicos, e os óxidos de ferro e manganês, estes últimos advindos do solo. Já as alterações de origem antropogênica são oriundas, geralmente, de resíduos industriais (contendo taninos ou anilinas, por exemplo) e esgotos domésticos (SPERLING, 2005; CETESB, 2016).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar valores de cor verdadeira de até 75 Unidades de Cor (UCs). Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 91) e seus afluentes (Tabela 92), de montante para jusante.

Tabela 91 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cor verdadeira no rio Doce.

Rio Doce							
Cor verdadeira							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	14	14%	7	0%	7	29%
	RD019	37	24%	19	5%	18	44%
	RD023	46	17%	23	0%	23	35%
	RD035	43	14%	21	0%	22	27%
	RD033	37	24%	19	0%	18	50%
	RD083	15	13%	8	0%	7	29%
	RD044	32	25%	16	0%	16	50%
	RD045	37	24%	19	0%	18	50%
	RD053	37	22%	19	0%	18	44%
	RD058	41	22%	20	0%	21	43%
	RD059	37	24%	19	0%	18	50%
	RD067	44	20%	22	0%	22	41%

Nota: n: número de observações.

De acordo com a Tabela 91, no período seco, não foram registrados desacordos em relação à cor verdadeira nas estações do rio Doce com o limite legislado. Exceção se fez na estação RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata), onde se registrou 5% de desacordos, em um total de 19 eventos. No período chuvoso, em contrapartida, observaram-se percentuais de desacordos superiores a 20% (mínimo: 27% e máximo: 50%) em todas as estações do rio Doce. Os maiores percentuais de desacordos foram relativos às estações RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), RD044 e RD045 (no município de Governador Valadares), e RD059 (no município de Resplendor), nas quais em 50% do tempo monitorado foram registrados valores não conformes com a legislação.

Tabela 92 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cor verdadeira em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Cor verdadeira							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	34	12%	17	0%	17	24%
	RD071	14	7%	7	0%	7	14%
	RD013	37	24%	19	11%	18	39%
	RD018	32	28%	16	13%	16	44%
	RD073	14	21%	7	0%	7	43%
	RD034	32	16%	16	0%	16	31%
	RD039	46	17%	23	0%	23	35%
	RD040	32	31%	16	13%	16	50%
	RD089	16	19%	8	13%	8	25%
	RD057	37	24%	19	0%	18	50%
	RD065	46	17%	23	0%	23	35%

Nota: n: número de observações.

Em relação aos afluentes do rio Doce (Tabela 92), no período seco, para a maioria das estações não foram observados desacordos com o limite legislado. Exceções ocorreram nas estações RD013 (rio Piranga), RD018 (rio Casca), RD040 (rio Corrente Grande) e RD089 (rio Suaçuí Grande), com percentuais de desacordos entre 11% e 13%. No período chuvoso, os

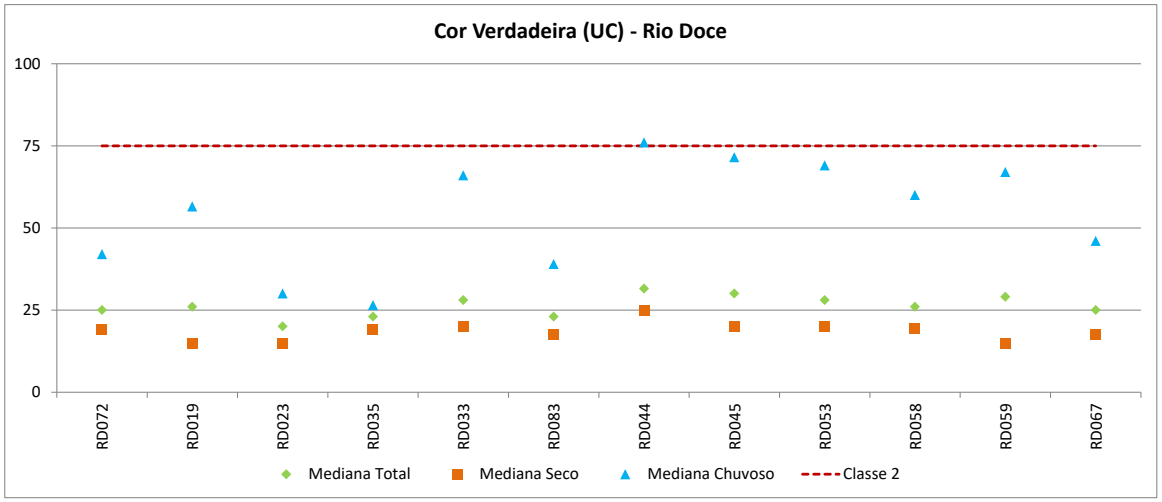
percentuais de desacordos aumentaram, variando de 14% a 50%, sendo que em 90% das estações os desacordos foram superiores a 20%. Os maiores percentuais de desacordos foram observados nas estações RD040 (rio Corrente Grande) e RD057 (rio Caratinga), sendo iguais a 50%.

Avaliação espacial

A Figura 212 apresenta as medianas dos valores de cor verdadeira para cada uma das estações de monitoramento localizadas ao longo do rio Doce, de montante para jusante, para os períodos total, seco e chuvoso. Para o período seco, os valores de mediana mostraram-se mais uniformes ao longo das estações. No período chuvoso, contudo, observou-se maior heterogeneidade entre as estações, bem como valores mais elevados. De modo geral, a partir da estação RD044 (no município de Governador Valadares), observaram-se valores mais elevados em termos de mediana.

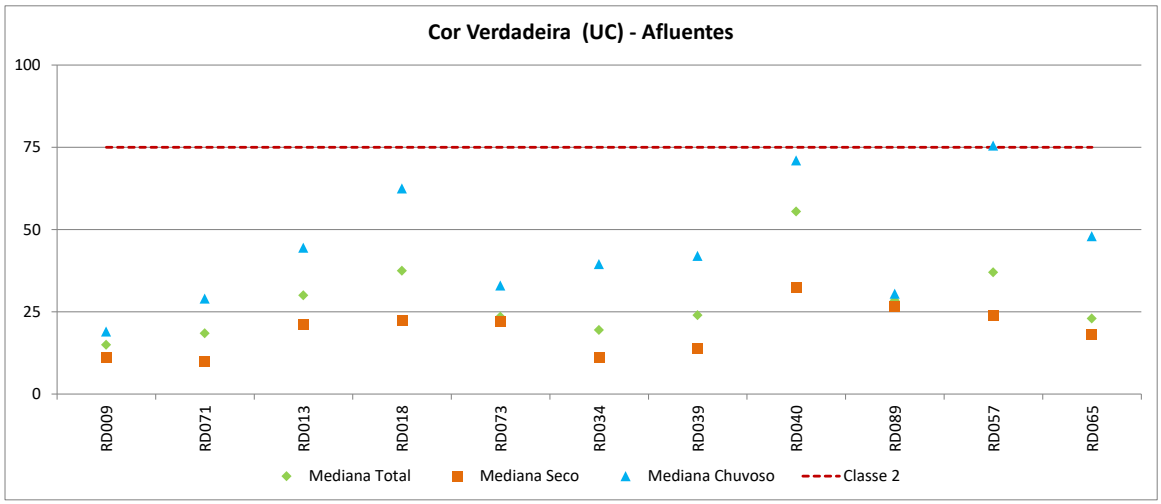
Considerando as medianas do período total, observa-se para a estação RD023, na região do Parque Estadual do Rio Doce, uma redução no valor da cor verdadeira em relação às estações de montante. A partir da estação RD035, a jusante de Ipatinga (MG), as concentrações voltam a se elevar, com pico na estação RD044, no município de Governador Valadares (MG). Ressalta-se que Ipatinga (MG) e Governador Valadares (MG) são os municípios mais populosos da região de estudo.

Figura 212 – Medianas dos valores de cor verdadeira para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Em relação aos afluentes, os valores das medianas apresentaram-se mais heterogêneos ao longo das estações (Figura 213). As estações do rio do Carmo (RD009 e RD071), mais a montante, apresentaram valores menores, quando considerada a mediana dos dados. As estações RD013 (rio Piranga), RD018 (rio Casca) e RD040 (rio Corrente Grande) apresentaram valores mais elevados. Em certas estações, houve diferenças significativas entre os resultados do período seco e do período chuvoso: RD018 (rio Casca), RD040 (rio Corrente Grande) e RD057 (rio Caratinga).

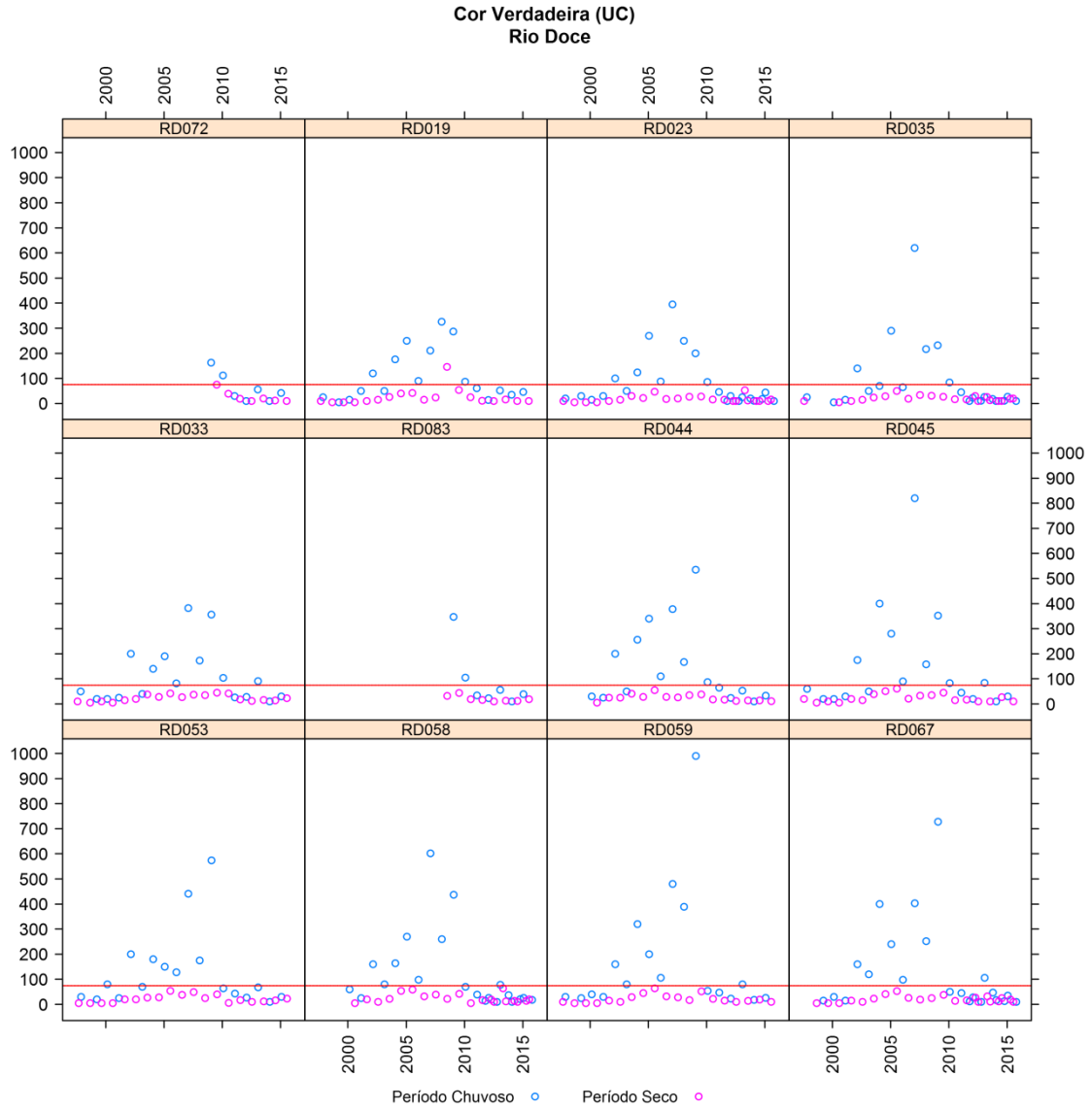
Figura 213 – Medianas dos valores de cor verdadeira para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

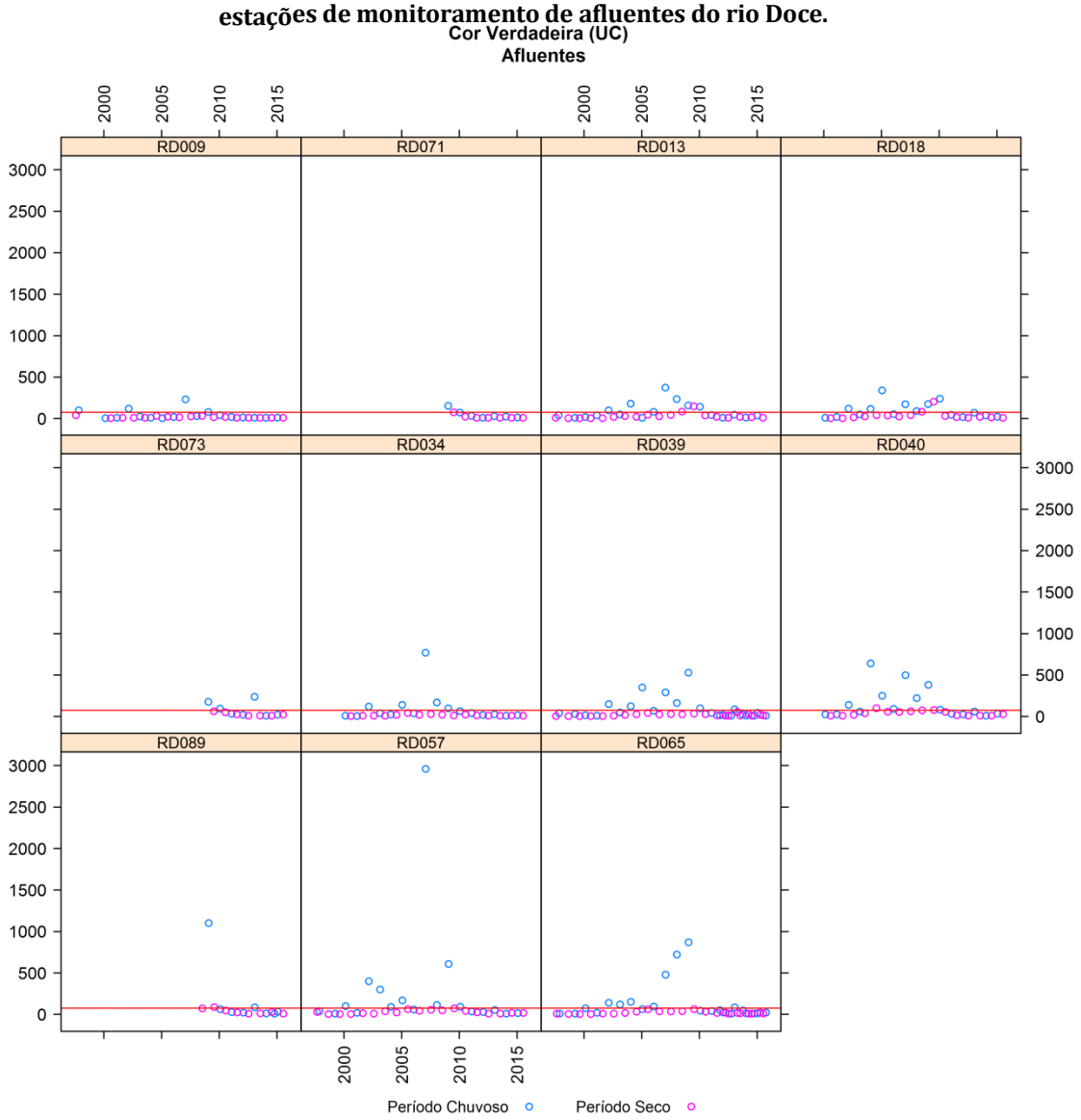
Em relação à Figura 214, que mostra a evolução temporal dos dados de cor verdadeira para cada uma das estações do IGAM/MG no rio Doce, observou-se que os desacordos em relação ao limite legislado ocorreram majoritariamente no período chuvoso. Além disso, os picos de desacordos ocorreram entre 2005 e 2010. Nos eventos de monitoramento mais recentes, notou-se uma tendência à redução dos valores de cor verdadeira.

Figura 214 – Gráficos de dispersão dos dados de cor verdadeira ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



No que diz respeito às estações localizadas em afluentes do rio Doce (Figura 215), assim como observado para as estações de monitoramento do rio Doce, os desacordos ocorreram em sua grande maioria no período chuvoso, entre os anos de 2005 e 2010 e com tendência à redução de valores em eventos de monitoramento mais recentes. Nas estações RD009 e RD071 (no rio do Carmo), RD073 (ribeirão do Sacramento) e RD089 (rio Suaçuí Grande), o número de desacordos foi mínimo em relação às demais estações. Na estação RD057 (rio Caratinga), observou-se valor excepcionalmente elevado, próximo a 3.000 UCs, em janeiro de 2007.

Figura 215 – Gráficos de dispersão dos dados de cor verdadeira ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.8.2 Sólidos totais

De forma geral, sólidos em águas correspondem a toda a matéria que permanece como um resíduo, após a evaporação. Estes são classificados de acordo com o tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos), sendo o procedimento selecionado para o ensaio analítico que define qual dessas frações será obtida (CETESB, 2016).

Em ambientes naturais, o excesso de sólidos na água pode causar danos aos peixes e à vida aquática, pois, uma vez sedimentando no leito dos rios, podem alterar as características do fundo (substrato), influenciando negativamente os ambientes de desova ou, ainda, alterar a biota bentônica que serve de alimento aos peixes. É importante salientar que sólidos retêm bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, propiciando um ambiente adequado à decomposição anaeróbia (CETESB, 2016).

Para a variável sólidos totais, foram avaliadas as séries de dados do IGAM/MG e do IEMA/ES. Em relação ao número de observações, registrou-se um maior número de dados

disponíveis na base do IGAM, sendo que o IEMA descontinuou a avaliação da referida variável no ano de 2010. Conforme mencionado no item 3.8.3, não há valor máximo de referência disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos totais, dessa forma, não foram calculados os percentuais de desacordos.

Avaliação espacial

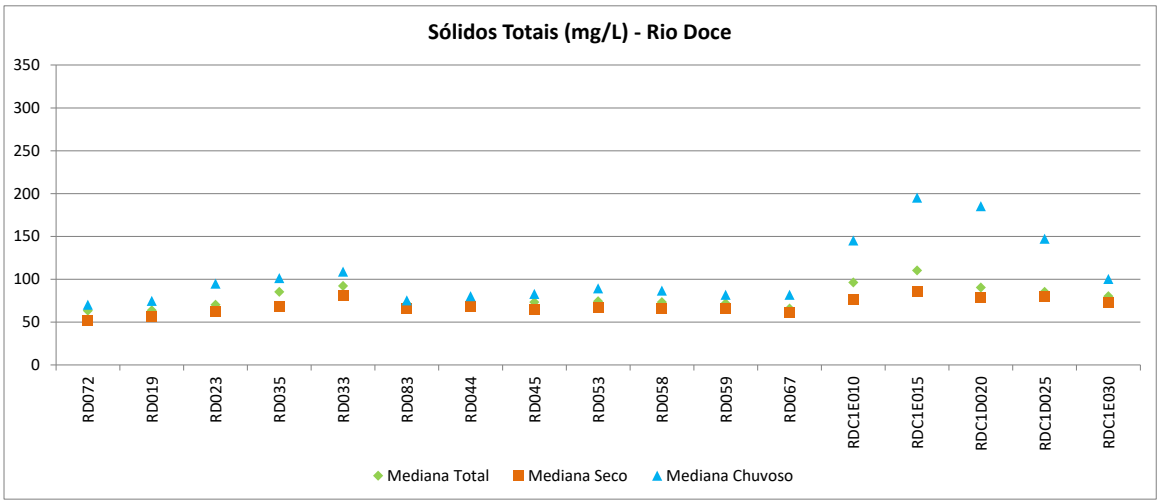
A Figura 216 e a Figura 217 apresentam os valores de mediana das séries de sólidos totais em cada uma das estações de monitoramento do rio Doce e seus afluentes, respectivamente.

Para as estações de monitoramento do rio Doce, no estado de Minas Gerais (RD072 a RD067), as medianas do período chuvoso foram levemente superiores àquelas do período seco. Já para as estações do rio Doce localizadas no Espírito Santo, a diferença entre as medianas do período seco e chuvoso foi mais evidente. Destaca-se, todavia, que o número de observações do período chuvoso foi inferior ao do período seco na rede operada pelo IEMA (vide **Apêndice Q**), o que pode ter influenciado nas diferenças entre as medianas.

Para o período seco, observou-se maior homogeneidade entre as medianas das estações do rio Doce (MG e ES). Já no período chuvoso, foram registrados valores mais elevados na porção capixaba em relação à porção mineira.

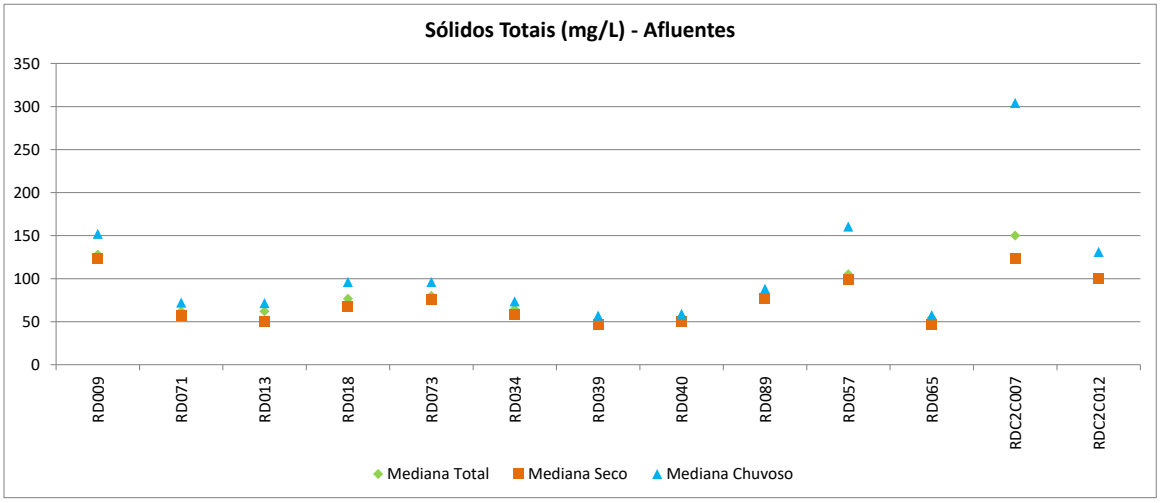
Considerando as medianas do período total, observou-se incremento de valores até a estação RD033, a jusante de Ipatinga (MG). Na estação RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho (MG) e Periquito (MG), pouco populosos, houve uma redução na concentração de sólidos totais. Tal situação persistiu até a estação RD067, entre Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES). Na sequência, já no estado do Espírito Santo, os valores sofreram aumento nas estações mais a montante e voltaram a diminuir a jusante.

Figura 216 – Medianas dos valores de sólidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para os afluentes (Figura 217), diferenças mais significativas entre as medianas do período seco e chuvoso foram observadas nas estações RD057 (rio Caratinga, MG) e RDC2007 (rio Guandu, ES). Em termos de valores mais elevados de medianas, estes ocorreram nas estações RD009 (rio do Carmo, MG), RD057 (rio Caratinga, MG), RDC2007 (rio Guandu, ES) e RDC20012 (rio Santa Joana, ES).

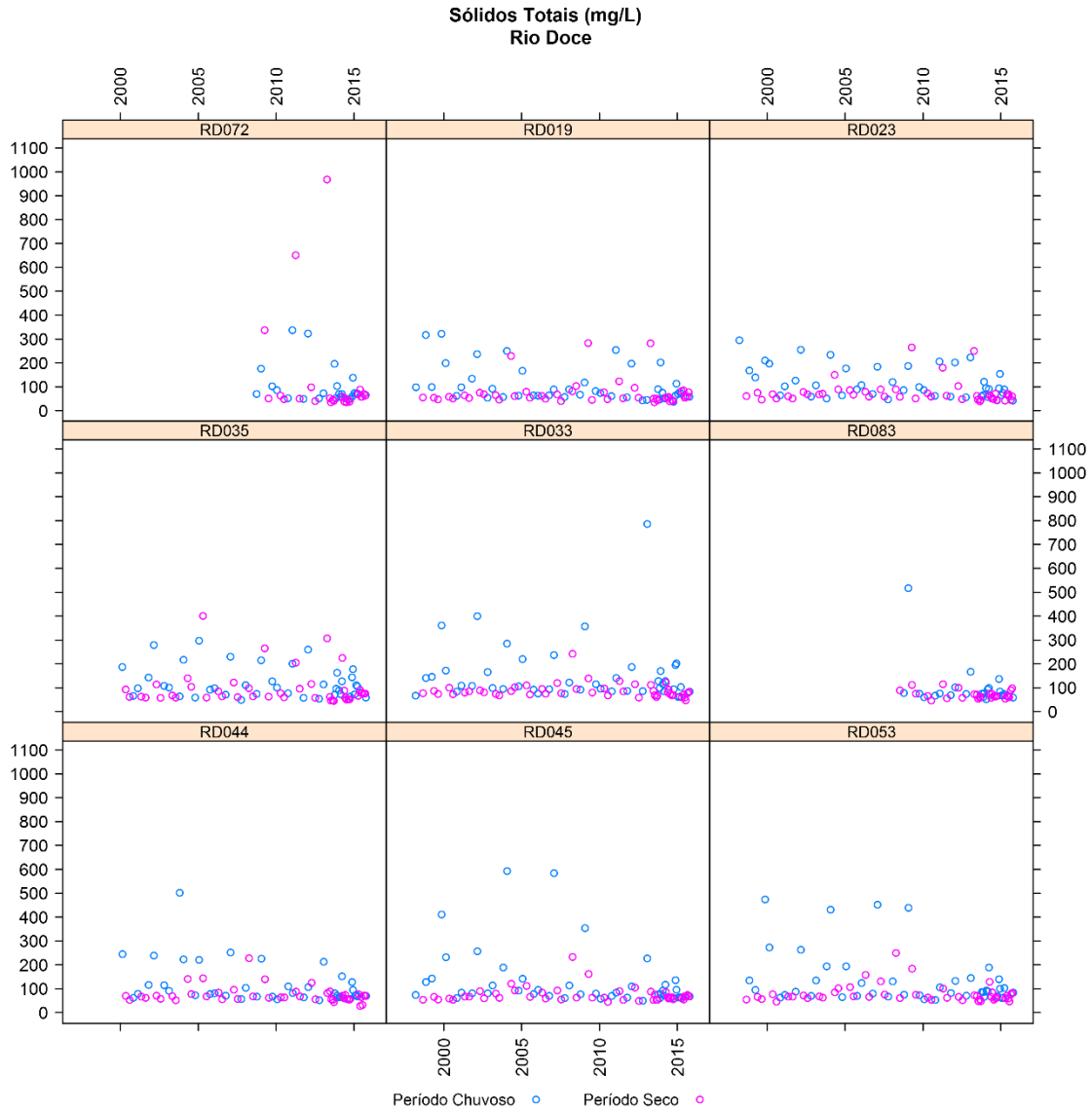
Figura 217 – Medianas dos valores de sólidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



<u>Avaliação temporal</u>

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 218) e parte II (Figura 219).

Figura 218 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).

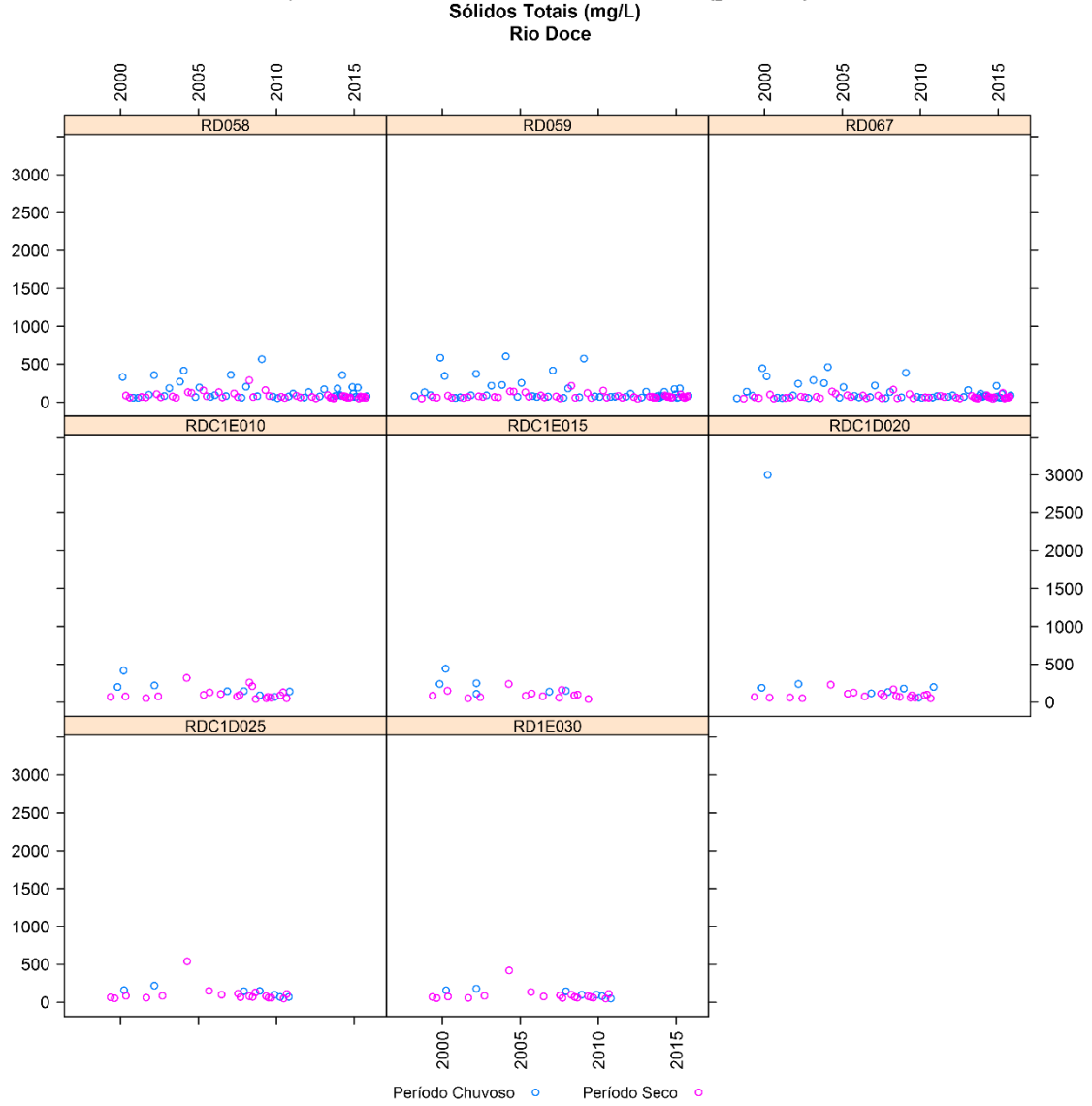


Em 53% das estações do rio Doce (IGAM e IEMA), os valores dos sólidos totais não ultrapassaram 500 mg/L e em 41% delas não passaram de 1.000 mg/L. Na estação RDC1D020 (em Colatina, ES), o valor máximo registrado foi de 2.999 mg/L (março/2003), sendo este o maior valor registrado entre as estações e o único superior a 1.000 mg/L. Deve-se ressaltar, contudo, que a mediana dos dados de sólidos totais na referida estação – em relação ao período total – foi igual a 90 mg/L, indicando que aquele valor foi uma singularidade.

A média das concentrações de sólidos totais, considerando todas as estações no rio Doce, foi de 115 mg/L.

Não foi observada tendência de aumento ou redução de valores ao longo do tempo.

Figura 219 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



Para os afluentes (Figura 220 e Figura 221), em aproximadamente 40% das estações os dados de sólidos totais não ultrapassaram 500 mg/L e em 30% delas não passaram de 1.000 mg/L. Nas estações RD071 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca), RD073 (ribeirão do Sacramento) e RD057 (rio Caratinga), os valores ultrapassaram 1.000 mg/L.

A média das concentrações de sólidos totais, considerando todas as estações situadas em afluentes do rio Doce, foi de 134 mg/L. Valores de média mais elevados foram registrados nas estações do rio do Carmo (RD009 e RD071) e rio Casca (RD018).

Assim como para as estações do rio Doce, não foi observada tendência clara de aumento ou redução de valores ao longo do tempo.

Figura 220 Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I).

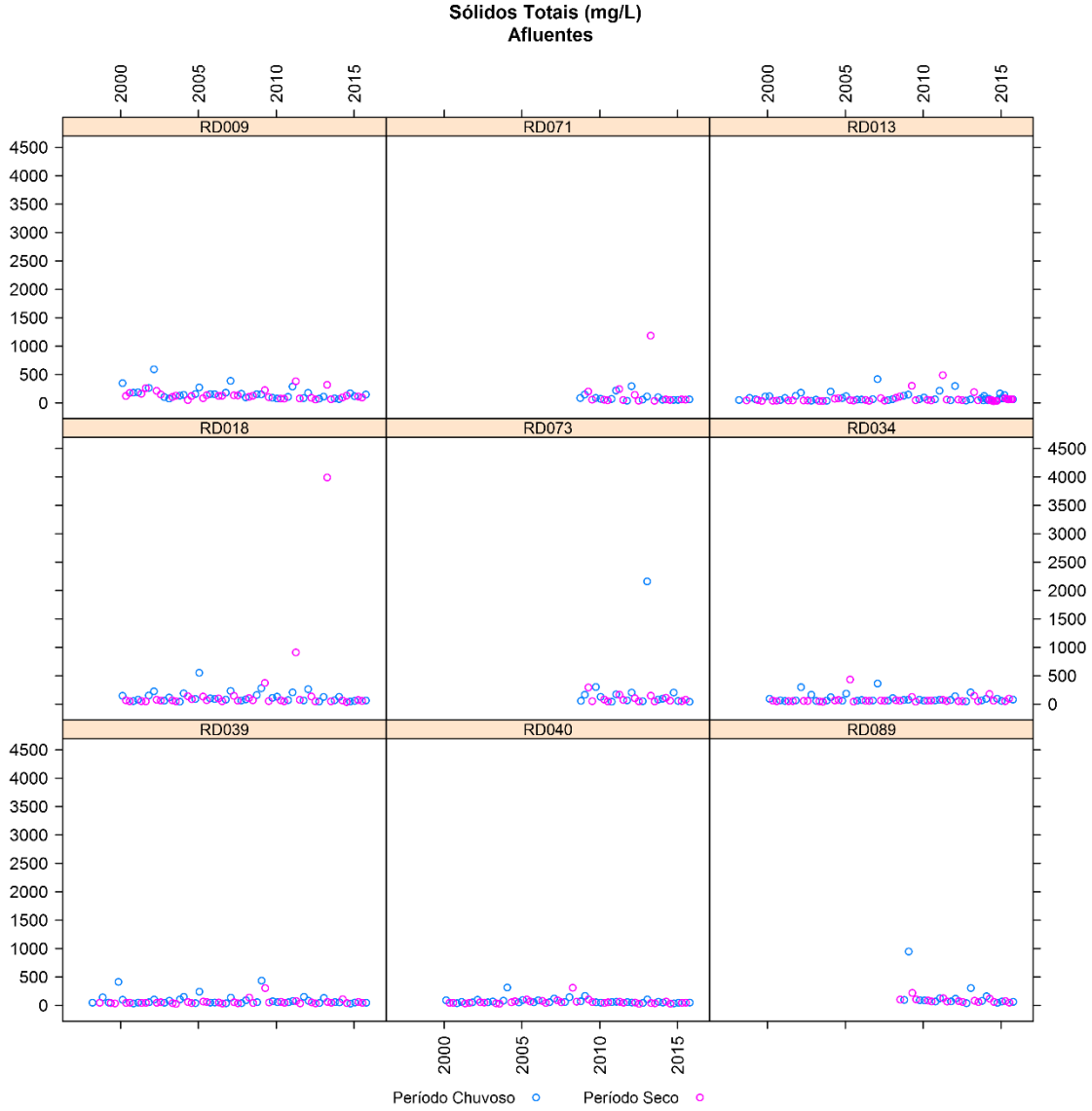
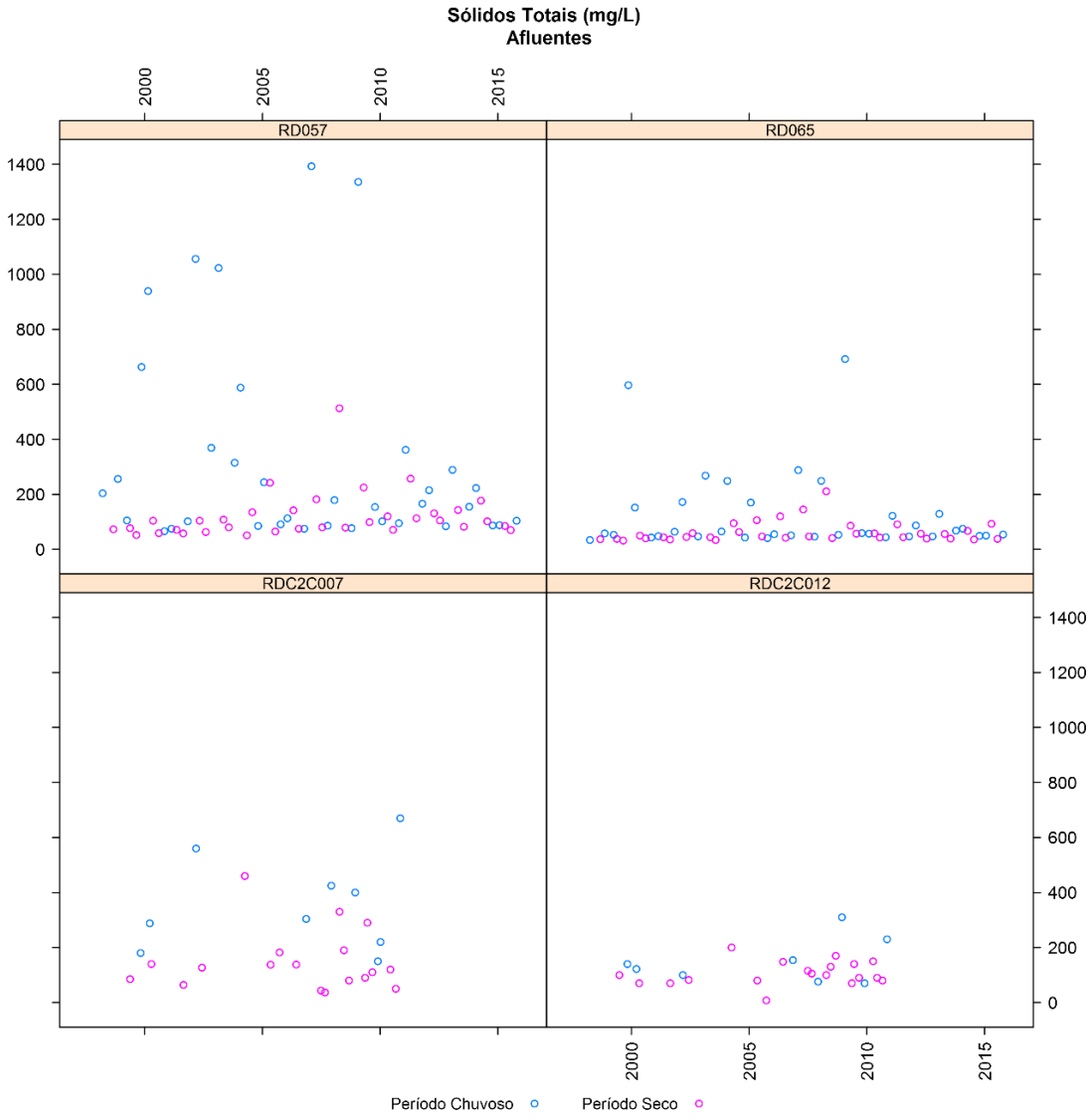


Figura 221 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.8.3 Sólidos dissolvidos totais

Entre os sólidos em água, é principalmente a parcela dissolvida que confere cor verdadeira às águas naturais (LIBÂNIO, 2005). Sólidos dissolvidos incluem matéria ionizada e não ionizada, mas a primeira reflete em sua condutividade. Além disso, águas com excesso de sólidos dissolvidos podem, caso sejam utilizadas para irrigação, promover a salinização do solo (EPA, 2001; PIVELI; KATO, 2005).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de sólidos dissolvidos totais de até 500 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em

relação ao limite legislado. Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 93) e seus afluentes (Tabela 94), de montante para jusante.

Observa-se que tanto para as estações de monitoramento do rio Doce (Tabela 93) quanto para aquelas localizadas em seus afluentes (Tabela 94) não foram registrados desacordos em relação ao limite legislado em todo o período avaliado.

Tabela 93 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos dissolvidos totais no rio Doce.

Rio Doce							
Sólidos Dissolvidos Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	82	0%	42	0%	40	0%
	RD023	83	0%	42	0%	41	0%
	RD035	76	0%	39	0%	37	0%
	RD033	82	0%	42	0%	40	0%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	75	0%	39	0%	36	0%
	RD045	82	0%	42	0%	40	0%
	RD053	81	0%	42	0%	39	0%
	RD058	76	0%	39	0%	37	0%
	RD059	82	0%	42	0%	40	0%
	RD067	83	0%	42	0%	41	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 94 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos dissolvidos totais em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Sólidos Dissolvidos Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	56	0%	28	0%	28	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	79	0%	39	0%	40	0%
	RD018	56	0%	28	0%	28	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	56	0%	28	0%	28	0%
	RD039	64	0%	31	0%	33	0%
	RD040	56	0%	28	0%	28	0%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	63	0%	31	0%	32	0%
	RD065	64	0%	31	0%	33	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 222 e a Figura 223 apresentam os valores de mediana das séries de sólidos dissolvidos totais em cada uma das estações de monitoramento do rio Doce e seus afluentes, respectivamente. Observa-se, de modo geral, que os valores das medianas apresentaram-se mais homogêneos e abaixo do estabelecido pela legislação. Além disso, não houve variação considerável quando comparadas as medianas do período chuvoso e seco.

Figura 222 – Medianas dos valores de sólidos dissolvidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

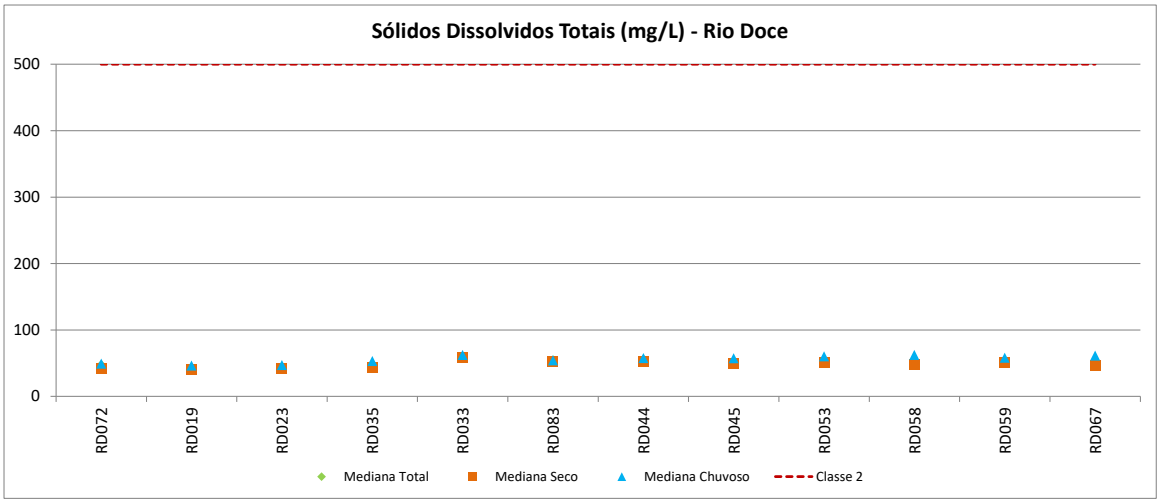
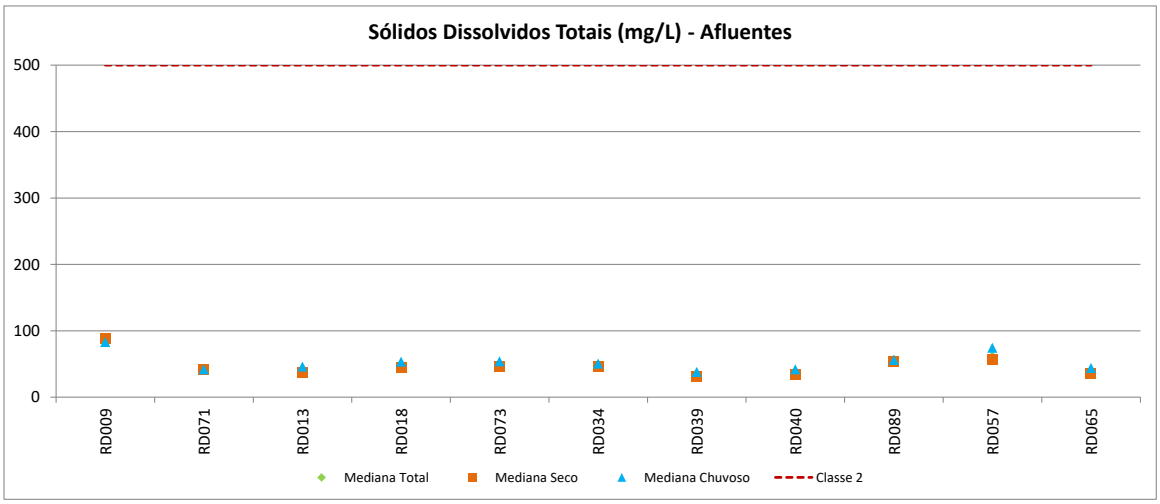


Figura 223 – Medianas dos valores de sólidos dissolvidos totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

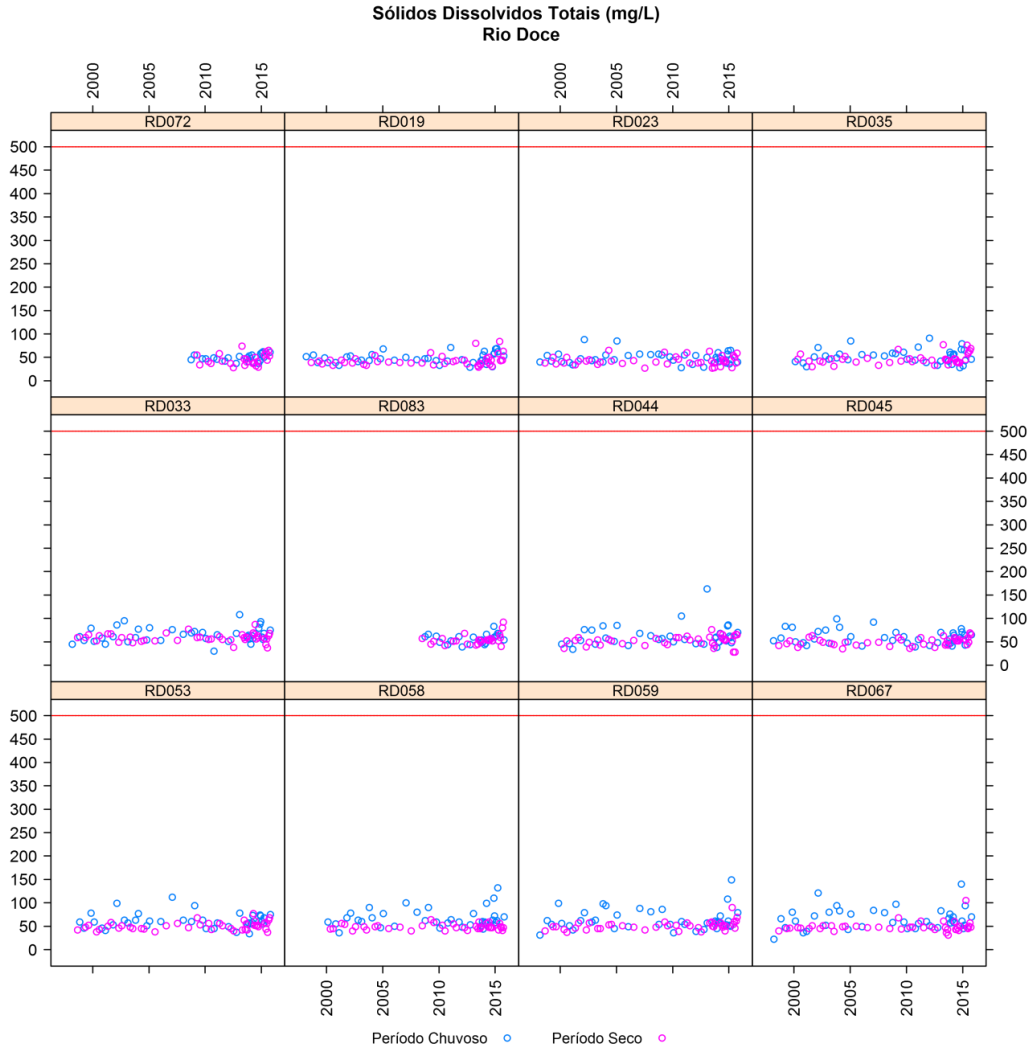


Para as estações no rio Doce (Figura 222), as medianas variaram de 43,00 a 59,50 mg/L, quando considerado o período total. Para aquelas localizadas em afluentes (Figura 223), no período total, as medianas variaram de 35,00 a 84,50 mg/L, sendo mais elevadas na estação RD009, no rio do Carmo.

Avaliação temporal

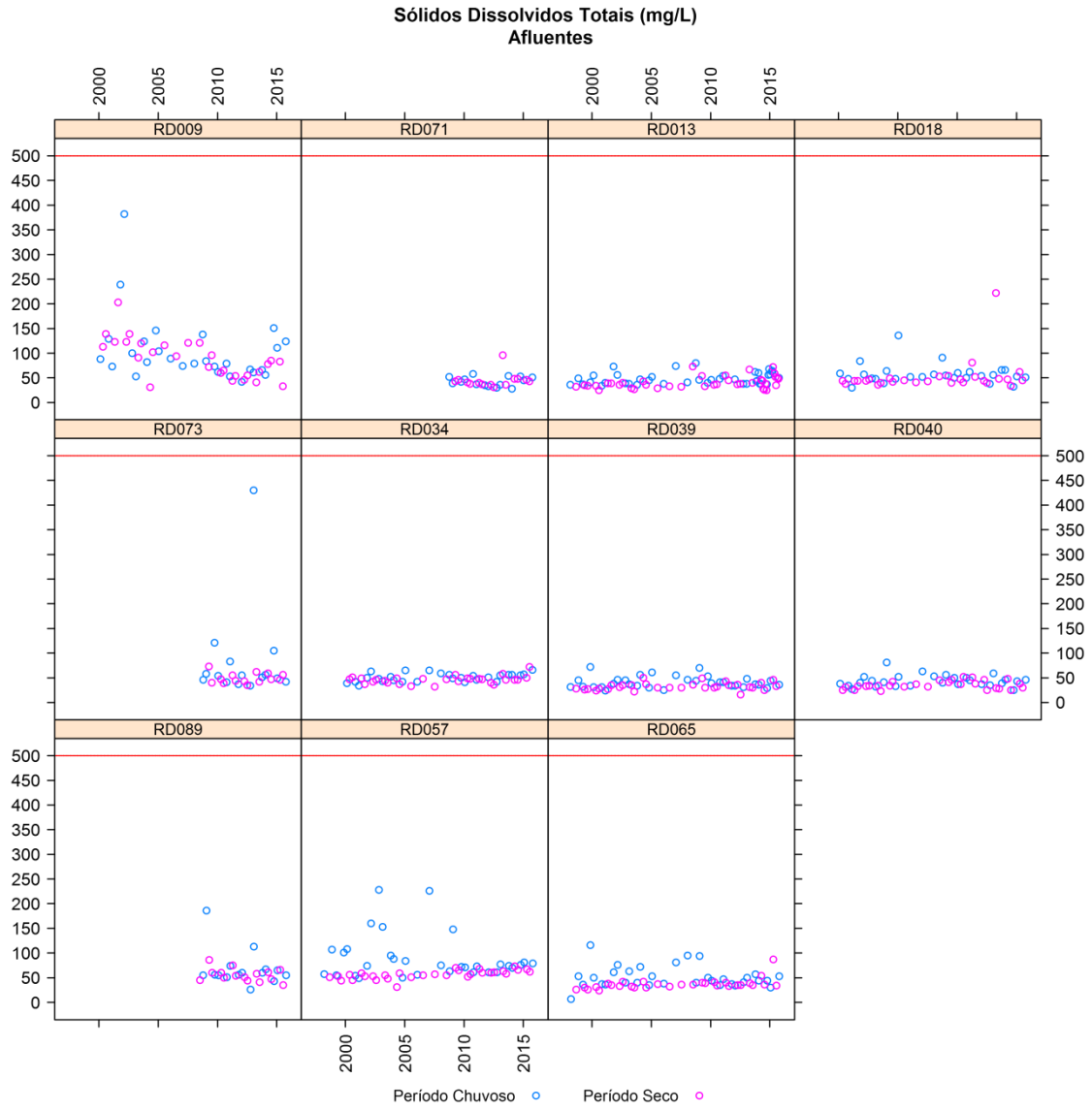
Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de sólidos dissolvidos totais distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante (Figura 224). Observa-se, de modo geral, que as concentrações ocorreram na faixa de 20 a 100 mg/L. Valores superiores a este foram observados nas estações RD044, RD053, RD058, RD059, RD067, localizadas entre os municípios de Governador Valadares (MG) e Baixo Guandu (ES).

Figura 224 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos dissolvidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para os afluentes do rio Doce (Figura 225), maior variação das concentrações de sólidos dissolvidos totais entre as estações monitoradas foi observada. Embora todos os valores tenham sido inferiores ao limite da resolução (500 mg/L), foram registrados valores mais elevados, em algum momento do período avaliado, nas estações RD009 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca), RD073 (ribeirão do Sacramento), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga). Nas demais estações, as concentrações variaram de 7 a 100 mg/L, de modo geral.

Figura 225 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos dissolvidos totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.8.4 Sólidos em suspensão totais

Toda a matéria que fica suspensa na água e que pode causar efeito de turbidez é considerada como sólidos totais em suspensão. Na água corrente, os sólidos mantidos em suspensão pela turbulência podem vir a sedimentar quando a água estiver em repouso (FERNANDES, 1997). Segundo Wetzel (2001 apud SILVA et al. 2009), valores elevados de sólidos em suspensão relacionam-se a altas concentrações de matéria orgânica e inorgânica, valores elevados de turbidez, baixa transparência da água e concentrações elevadas de nutrientes advindos da decomposição da matéria citada anteriormente. Dessa forma, a elevação na concentração de sólidos suspensos pode afetar o metabolismo do ecossistema, influenciando a vida das plantas aquáticas e peixes, em especial por reduzir a entrada de luz para a biota (EPA, 2001).

Avaliação de não conformidades

Para a avaliação dos sólidos em suspensão totais foi utilizado o limite da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 01/08, de 100 mg/L, para rios de Classe 2. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite aplicado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 95) e seus afluentes (Tabela 96), de montante para jusante.

Conforme mostrado na Tabela 95, os percentuais de desacordos superiores a 20% ocorreram somente no período chuvoso, em cinco das 12 estações avaliadas no rio Doce, variando de 21% a 28%. Além disso, três estações atingiram 20% de desacordos. No período seco, em contrapartida, os percentuais de desacordos não passaram de 12%.

Tabela 95 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos em suspensão totais no rio Doce.

Rio Doce							
Sólidos em Suspensão Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	15%	25	12%	23	17%
	RD019	92	13%	47	6%	45	20%
	RD023	92	15%	47	6%	45	24%
	RD035	85	16%	44	11%	41	22%
	RD033	92	14%	47	2%	45	27%
	RD083	49	4%	26	0%	23	9%
	RD044	83	11%	43	5%	40	18%
	RD045	92	10%	47	4%	45	16%
	RD053	91	13%	47	6%	44	20%
	RD058	83	16%	43	5%	40	28%
	RD059	92	11%	47	2%	45	20%
	RD067	89	10%	46	0%	43	21%

Nota: n: número de observações.

Para os afluentes (**Tabela 96**), desacordos superiores a 20% do limite legislado foram observados principalmente no período chuvoso, em cinco das 11 estações avaliadas, variando de 22% a 46%. No período seco, os percentuais de desacordos tenderam a ser menores e não ultrapassaram 20%. Exceção foi observada para a estação RD071 (rio do Carmo), no período seco, quando o percentual de desacordo foi de 29%.

Tabela 96 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sólidos em suspensão totais em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Sólidos em Suspensão Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	17%	33	9%	33	24%
	RD071	29	24%	14	29%	15	20%
	RD013	88	10%	44	7%	44	14%
	RD018	64	16%	32	9%	32	22%
	RD073	29	21%	14	14%	15	27%
	RD034	64	11%	32	6%	32	16%

Afluentes							
Sólidos em Suspensão Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
	RD039	73	7%	36	3%	37	11%
	RD040	64	5%	32	3%	32	6%
	RD089	30	10%	15	7%	15	13%
	RD057	73	32%	36	17%	37	46%
	RD065	73	12%	36	3%	37	22%

Nota: n: número de observações.

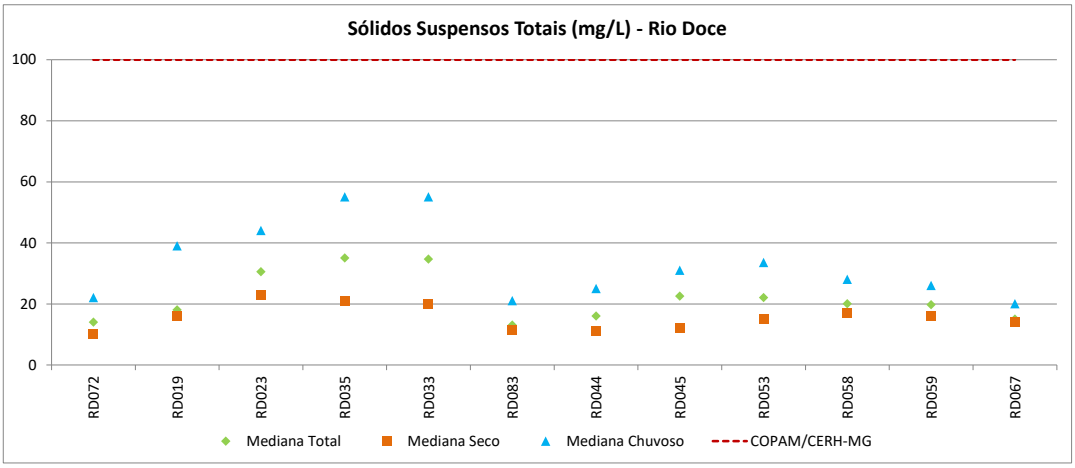
Avaliação espacial

A Figura 226 e a Figura 227 apresentam os valores de mediana das séries de sólidos suspensos totais em cada uma das estações de monitoramento do rio Doce e seus afluentes, respectivamente.

De um modo geral, os valores de mediana para o período chuvoso foram superiores aqueles relativos ao período seco para as estações do rio Doce (Figura 226). A partir da estação RD083, notou-se que a diferença entre os valores do período seco e do período chuvoso decresceu.

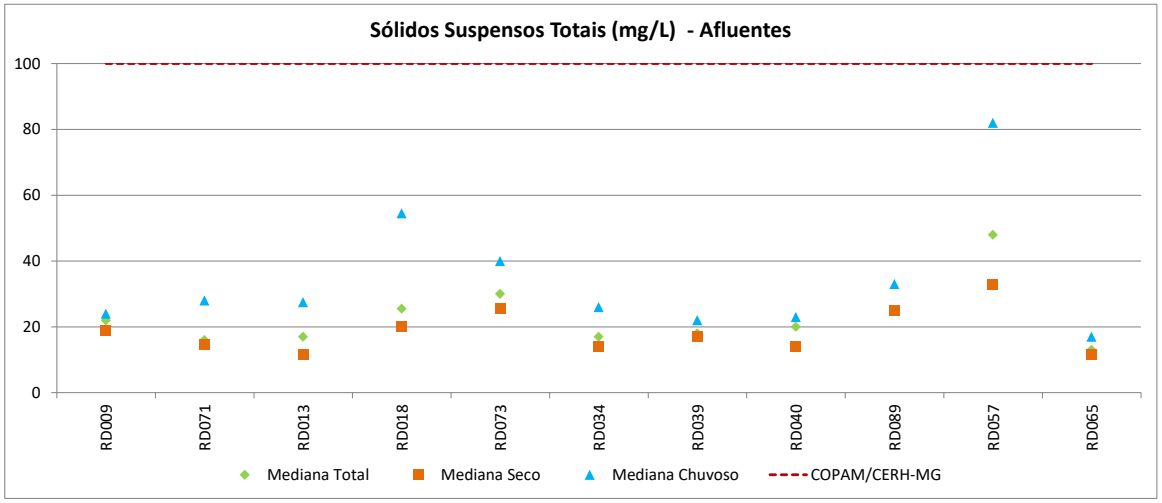
Considerando as medianas do período total, observou-se incremento de valores até a estação RD033, a jusante de Ipatinga (MG). Na estação RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho (MG) e Periquito (MG), pouco populosos, houve uma redução na concentração de sólidos suspensos totais. Na sequência, os valores aumentaram e tornaram-se mais homogêneos. Na última estação monitorada em Minas Gerais, RD067, notou-se uma redução de valor de sólidos suspensos totais.

Figura 226 – Medianas dos valores de sólidos em suspensão totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes (Figura 227), também se observou que para o período chuvoso os valores das medianas tenderam a aumentar. Nas estações RD018 (rio Casca) e RD057 (rio Caratinga), a diferença entre as medianas do período seco e chuvoso foi mais pronunciada. No período seco, pode-se dizer que não houve variações significativas entre as estações, no período chuvoso, entretanto, as variações foram mais visíveis.

Figura 227 – Medianas dos valores de sólidos em suspensão totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

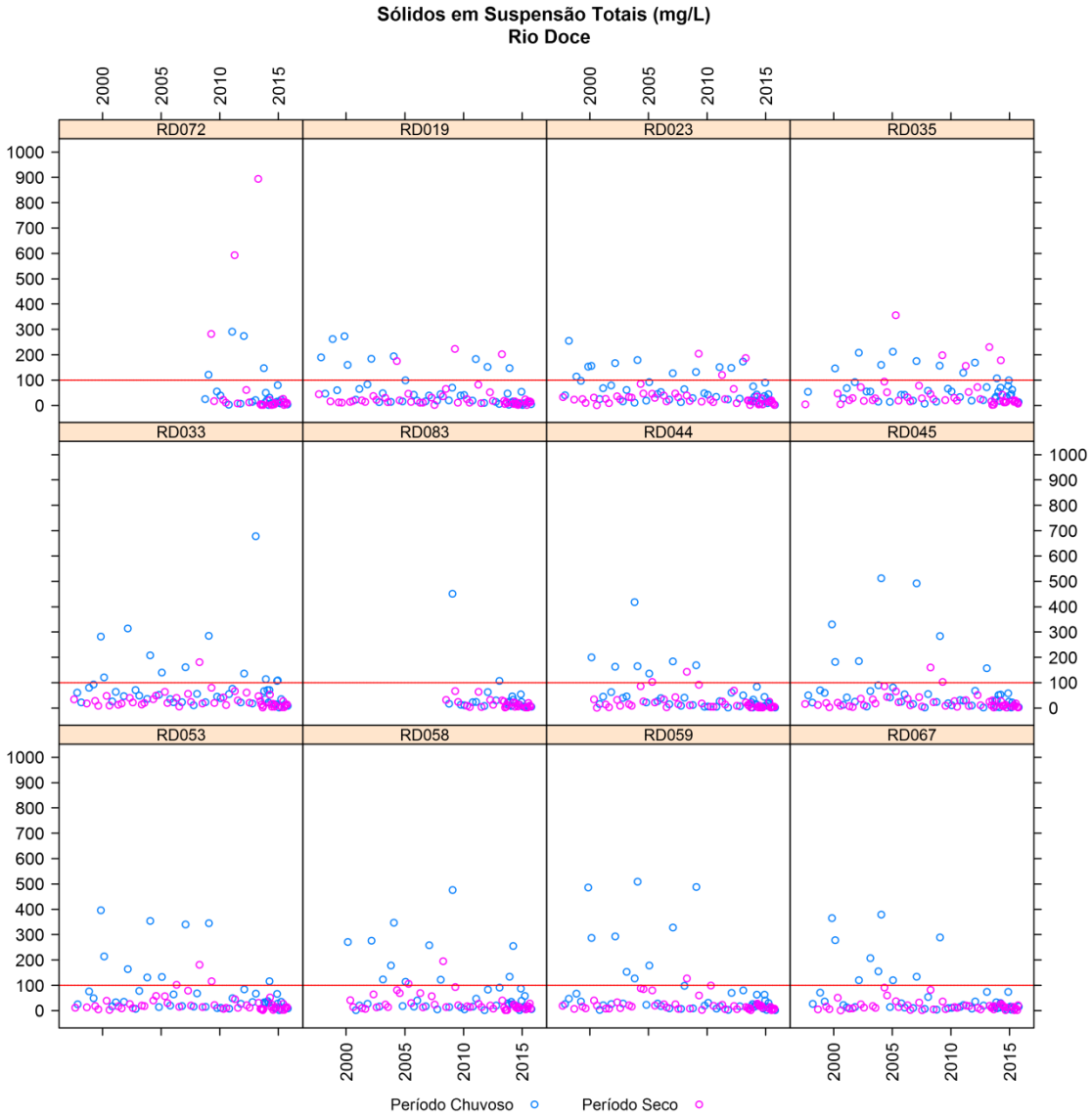


<u>Avaliação temporal</u>

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de sólidos em suspensão totais distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 228) e em seus afluentes (Figura 229), de montante para jusante.

É possível observar, para todas as estações do rio Doce (Figura 228), que em diversos momentos do período avaliado ocorreram desacordos com o limite aplicado (100 mg/L).

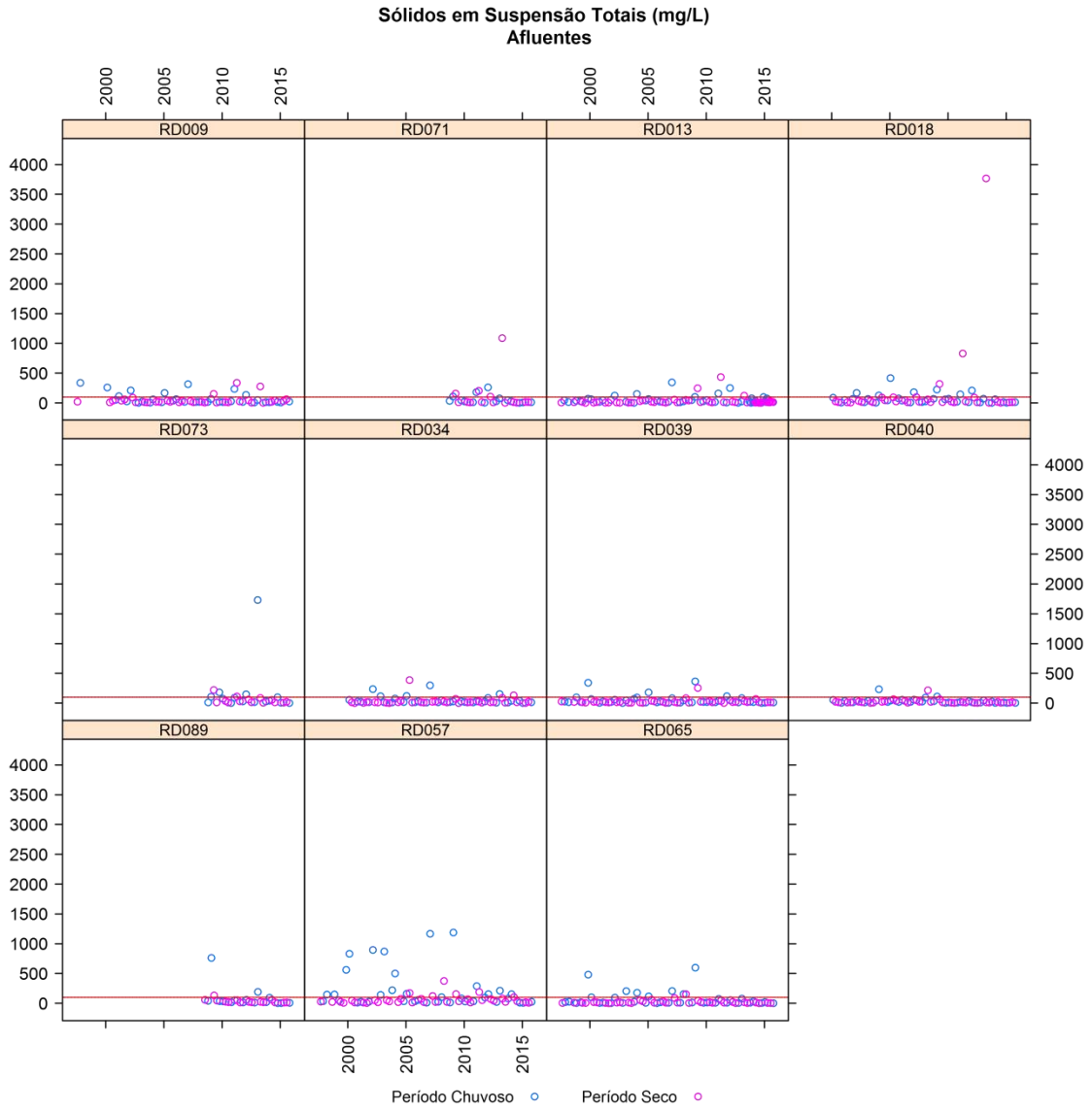
Figura 228 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos em suspensão totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Além disso, a maioria desses desacordos foi registrada no período chuvoso. Convém destacar que a estação RD083 (entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito), com monitoramento iniciado no ano de 2008, foi aquela com menor número de desacordos. Nas estações RD072 (entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado) e RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), observaram-se as maiores concentrações de sólidos suspensos totais: 894 mg/L (abril/2013) e 678 mg/L (janeiro/2013), respectivamente.

Para as estações situadas em afluentes (Figura 229), observaram-se desacordos em algum momento do monitoramento. Nas estações RD034 (rio Piracicaba), RD039 (rio Santo Antônio), RD040 (rio Corrente Grande) e RD089 (rio Suaçuí Grande), os desacordos ocorreram em menor número. Nas estações RD018 (rio Casca), RD073 (ribeirão Sacramento) e RD057 (rio Caratinga), foram registrados os desacordos mais elevados.

Figura 229 – Gráficos de dispersão dos dados de sólidos em suspensão totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.8.5 Turbidez

A turbidez é uma das características físicas da água, e indica o grau de redução da passagem do feixe de luz ao atravessá-la. Essa redução, causada pela absorção ou pelo espalhamento dos feixes de luz, ocorre em função da presença de sólidos em suspensão e detritos de origem orgânica, além dos elementos do plâncton aquático. Entre os fatores que mais contribuem com a turbidez das águas, estão a erosão do solo, os aportes de esgotos ou ainda atividades industriais (efluentes) e minerárias. Esta última contribui para a formação de bancos de lodo e alterações no ecossistema aquático (PIVELI; KATO, 2005).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar turbidez de até 100 UNT. Nesse contexto, foram avaliadas as séries históricas de dados do IGAM/MG e do IEMA/ES, no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 97) e seus afluentes (Tabela 98), de montante para jusante.

De acordo com a Tabela 97, para as estações monitoradas no rio Doce, em sua porção mineira, não foram registrados desacordos superiores a 20%, quando considerado o período total. O mesmo ocorreu para o período seco. No entanto, no período chuvoso, em mais de 60% das estações monitoradas pelo IGAM/MG foram registrados problemas com a turbidez.

Já nas estações do rio Doce, em sua porção capixaba (Tabela 98), foram registrados desacordos superiores a 20% em três de cinco estações de monitoramento para o período total. Para o período seco, o número de desacordos foi inferior a 20% para todas as estações. No entanto, no período chuvoso, todas as estações se destacaram por não conformidades relacionadas à turbidez superiores a 20%.

Tanto nas estações do IGAM/MG quanto nas estações do IEMA/ES, observa-se que a turbidez é uma variável de maior interesse no período chuvoso. De acordo com Piveli e Kato (2005), um fator relevante para a elevação da turbidez em períodos chuvosos é a erosão das margens dos rios. Essa situação é mais expressiva em locais de uso de solo inadequado ou, ainda, em situações de ausência de vegetação ciliar.

Tabela 97 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para a turbidez rio Doce.

Rio Doce							
Turbidez							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	10%	25	12%	23	9%
	RD019	92	12%	47	6%	45	18%
	RD023	92	15%	47	9%	45	22%
	RD035	85	15%	44	9%	41	22%
	RD033	92	15%	47	4%	45	27%
	RD083	49	6%	26	0%	23	13%
	RD044	83	13%	43	7%	40	20%
	RD045	92	14%	47	4%	45	24%
	RD053	91	13%	47	4%	44	23%
	RD058	83	17%	43	7%	40	28%
	RD059	92	16%	47	6%	45	27%
	RD067	90	14%	46	2%	44	27%
ES	RDC1E010	27	30%	19	11%	8	75%
	RDC1E015	19	32%	13	8%	6	83%
	RDC1D020	27	30%	19	11%	8	75%
	RDC1D025	25	16%	18	6%	7	43%
	RDC1E030	25	16%	18	11%	7	29%

Nota: n: número de observações.

Assim como nas estações localizadas no rio Doce, os pontos avaliados nos afluentes (Tabela 98) também apresentaram desacordos em 20% ou mais das amostras coletadas, tanto no período total (em menor proporção) quanto no período chuvoso (em maior

proporção). Da mesma forma do que o avaliado para o rio Doce, também em seus afluentes a chuva contribuiu na elevação da turbidez da água.

Tabela 98 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para a turbidez em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Turbidez							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	17%	33	12%	33	21%
	RD071	14	21%	7	0%	7	43%
	RD013	89	11%	44	7%	45	16%
	RD018	64	20%	32	9%	32	31%
	RD073	29	17%	14	14%	15	20%
	RD034	64	13%	32	9%	32	16%
	RD039	73	14%	36	6%	37	22%
	RD040	64	11%	32	3%	32	19%
	RD089	30	10%	15	7%	15	13%
	RD057	73	25%	36	11%	37	38%
	RD065	73	16%	36	6%	37	27%
ES	RDC2C007	27	41%	18	17%	9	89%
	RDC2C012	27	15%	19	11%	8	25%

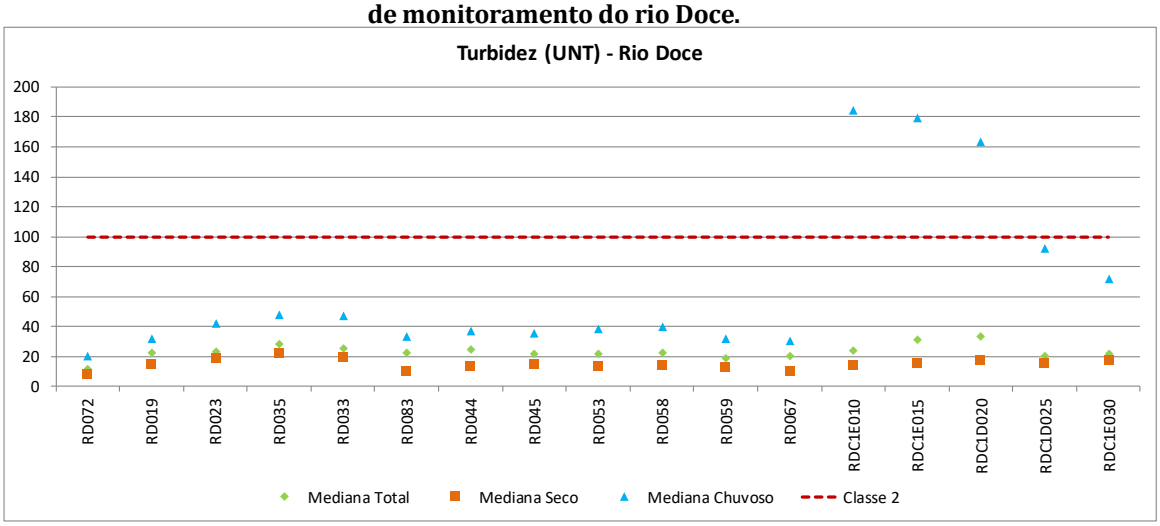
Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

Na Figura 230, apresentam-se as medianas de turbidez para as estações monitoradas no rio Doce considerando o período total dos dados, o período seco e o chuvoso. Observa-se que as estações com medianas mais elevadas, em relação ao período chuvoso, localizaram-se na porção capixaba do rio Doce: RDC1E010, RDC1E015 e RDC1D020 (no município de Colatina).

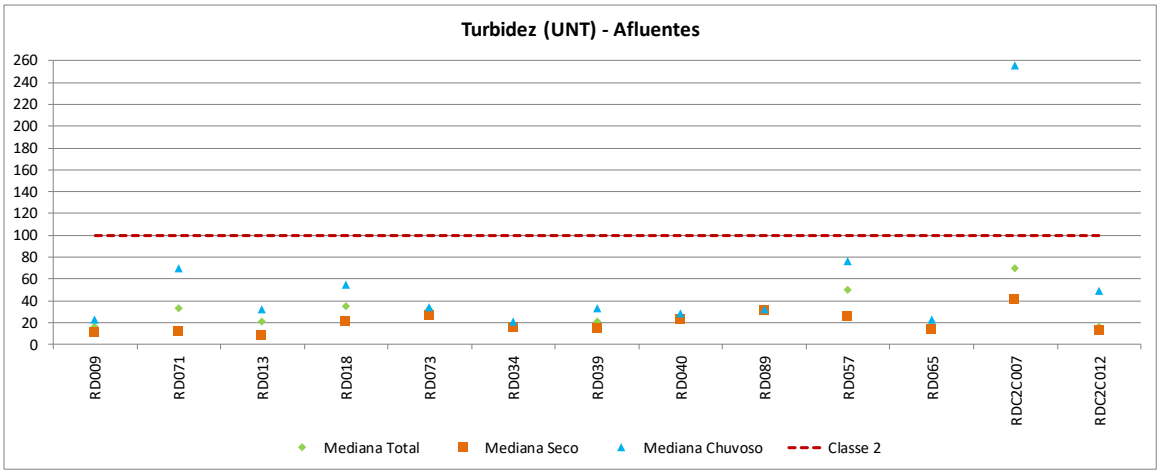
Considerando as medianas do período total, observou-se incremento de valores até a estação RD033, a jusante de Ipatinga (MG). Entre as estações RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho (MG) e Periquito (MG), e RD067, entre Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES), os valores sofreram diminuição e mantiveram-se homogêneos. No estado do Espírito Santo, os valores sofreram aumento nas estações mais a montante e voltaram a diminuir a jusante.

Figura 230 Medianas de turbidez para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Em relação aos afluentes do rio Doce, os valores medianos de turbidez estão apresentados na Figura 231, sendo a estação do tributário rio Guandu (RDC2C007), no município de Afonso Cláudio, a que apresentou valores medianos mais de duas vezes superiores ao limite legislado, em períodos de chuva.

Figura 231 – Medianas de turbidez para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Ainda que não ultrapassando o limite legislado, em termos medianos, ainda merecem atenção as estações de afluentes RD071 (rio do Carmo) e RD057 (rio Caratinga), que apresentaram valores elevados (Figura 231). Considerando-se que a mediana representa a posição central dos dados, uma vez ordenados do menor para o maior, e, assim, que 50% dos dados da série apresentam valor superior à mediana, pode-se inferir que, em ambas as estações, valores superiores ao limite podem ter ocorrido em algum momento do tempo.

Ao se avaliar o mapa de susceptibilidade à erosão (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010b), observou-se que as estações destacadas se localizam em áreas de forte susceptibilidade à erosão (estações do rio Doce) ou, ainda, possuem susceptibilidade muito forte à erosão (rio Guandu). Ressalta-se que um dos fatores que influenciam na turbidez das águas é a presença de sólidos suspensos, muitas vezes advindos do processo de erosão do solo.

Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de turbidez distribuídos ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 232) e parte II (Figura 233).

Conforme pode ser observado na Figura 232, nas estações localizadas no rio Doce, os valores de turbidez estiveram, em maior parte, dentro do limite de 100 UNT, tanto para o período chuvoso quanto para o período seco. Ainda assim, observou-se que a maior parte dos valores em desacordo foi registrada em períodos de chuva, com exceção da estação RD072, em que três dos cinco desacordos registrados foram observados em períodos secos.

Registra-se que, para as estações RD072 e RD083, do IGAM/MG, o início do monitoramento se deu no ano de 2008 (Figura 232) e, para as estações RDC1E10 a RDCE030, do IEMA/ES, só existem dados disponíveis até o ano de 2010 (Figura 233).

Figura 232 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).

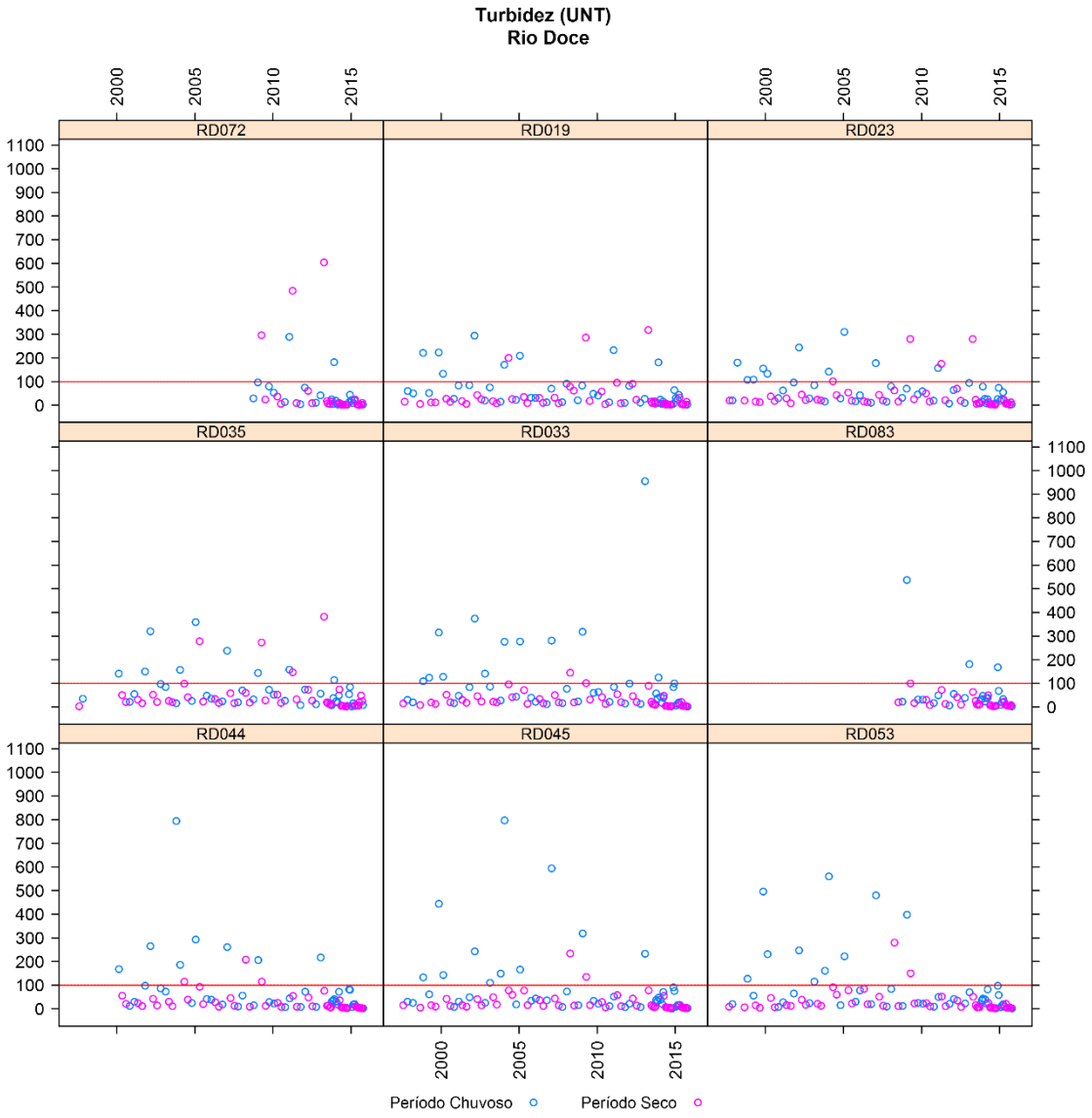
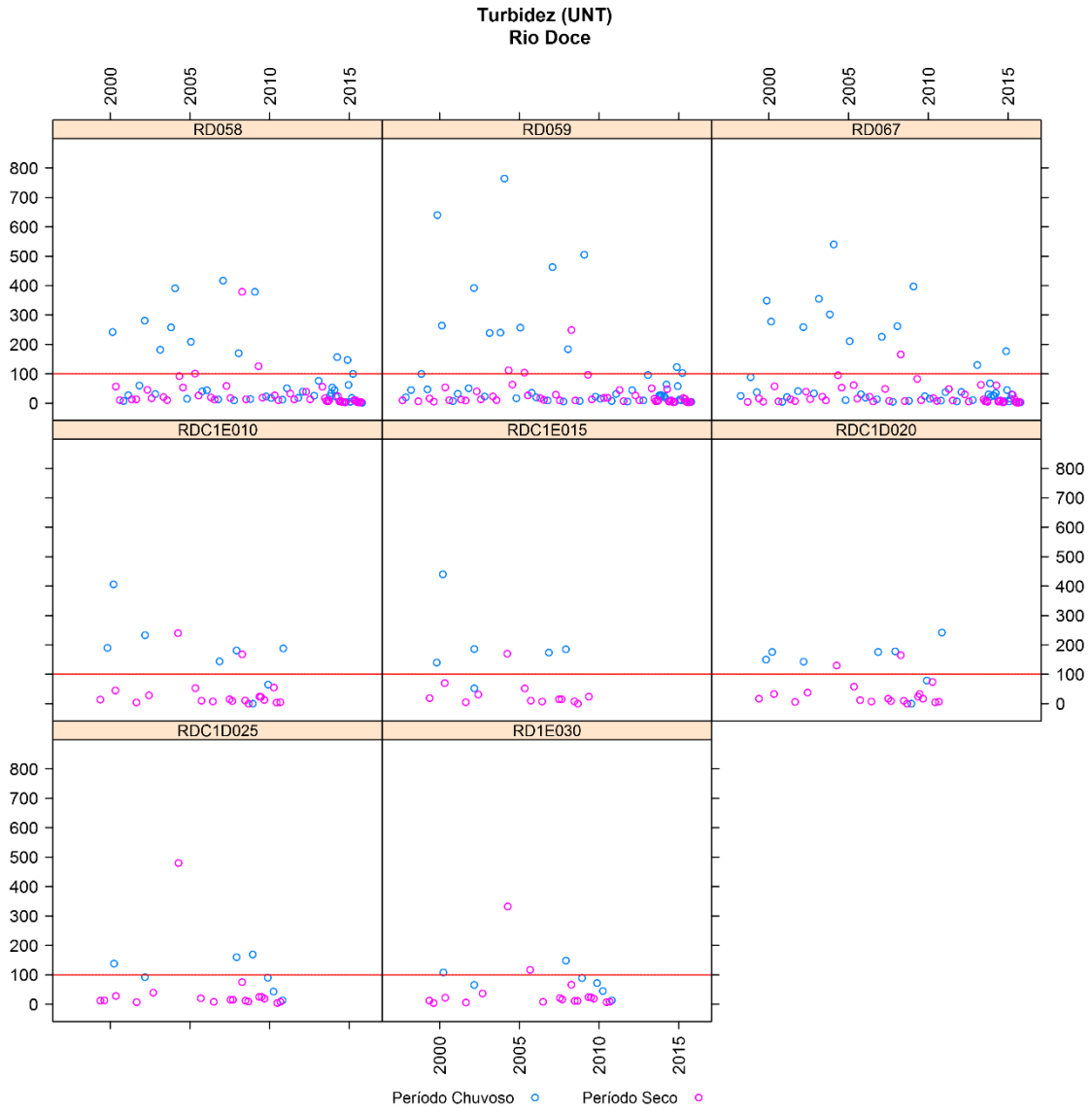


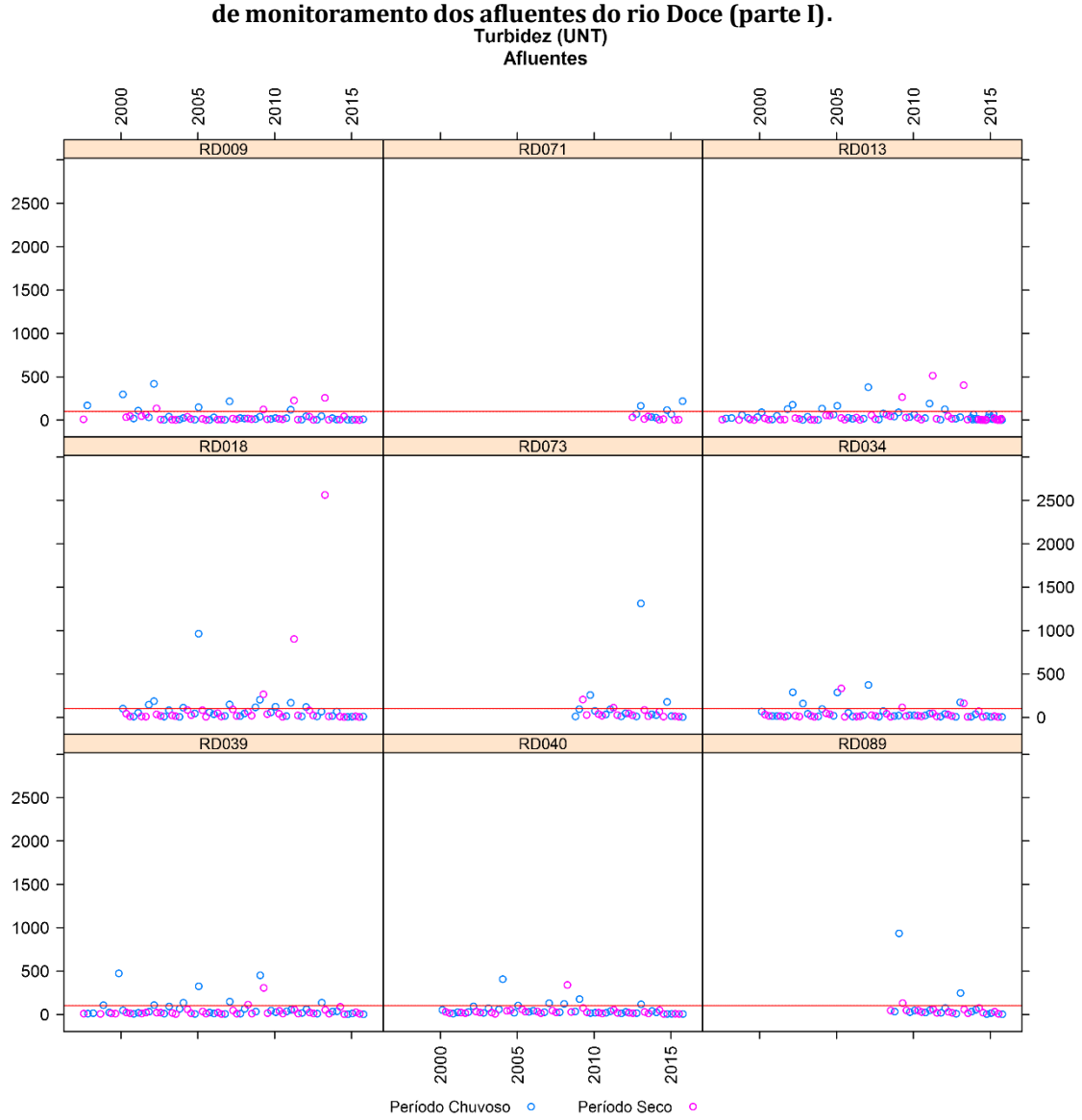
Figura 233 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



Na Figura 234 e na Figura 235, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de turbidez para os afluentes do rio Doce, de montante para jusante.

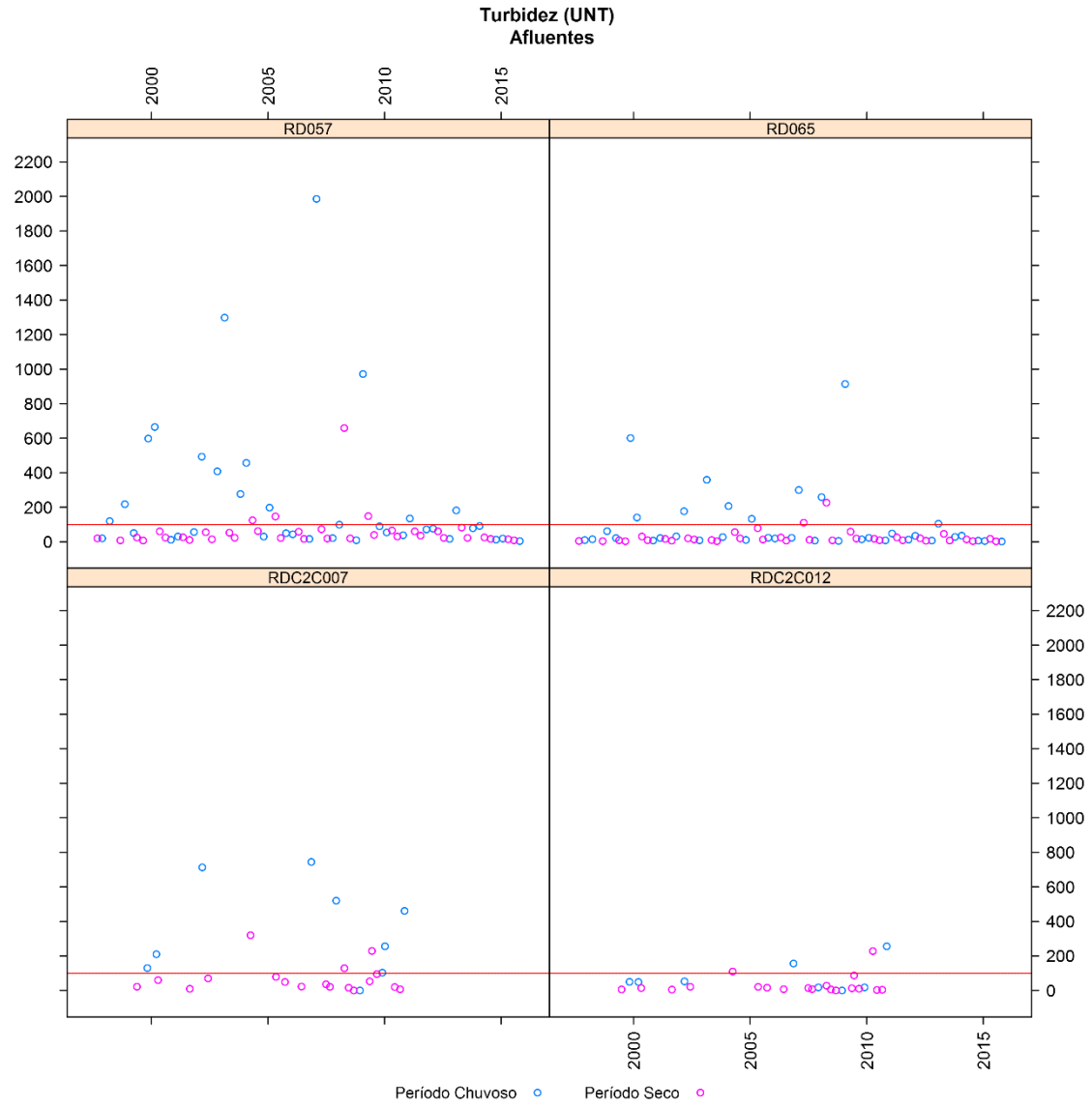
Nos afluentes, os valores de desacordos foram registrados em menor número do que se observa no rio Doce, no entanto, o comportamento da variável é o mesmo, com a maior parte dos valores de turbidez dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, tanto para o período chuvoso quanto para o período seco, com registros de maiores desacordos no período chuvoso. Exceção se fez para a estação RD018, na qual os maiores desacordos ocorreram em períodos secos.

Figura 234 Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte I).



Com relação às séries de dados, tanto nas estações do IGAM/MG quanto nas do IEMA/ES, os períodos avaliados não estão completos para todo o conjunto de estações analisado, o que ocorre para estações de monitoramento mais recentes ou para aquelas que tiveram seu monitoramento interrompido em algum momento.

Figura 235 – Gráficos de dispersão dos dados de turbidez ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte II).



A análise física dos dados relativos à constituição dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDTs) e Sólidos Suspensos Totais (SSTs) pode ser verificada em função de sua influência direta nos parâmetros turbidez e corda água, conforme apresentado na Figura 236 e Figura 237. Os parâmetros turbidez e cor se mostraram correlacionados, com os SSTs e com os SDTs, com a mesma tendência gráfica, respectivamente. No caso específico do ponto RD057, houve, possivelmente, a influência de processos erosivos, ações antropogênicas e/ou assoreamentos locais, como já comentado, com a presença de material particulado em suspensão.

Figura 236 – Comparação entres os dados médios de turbidez e sólidos suspensos totais ao longo das estações de monitoramento.

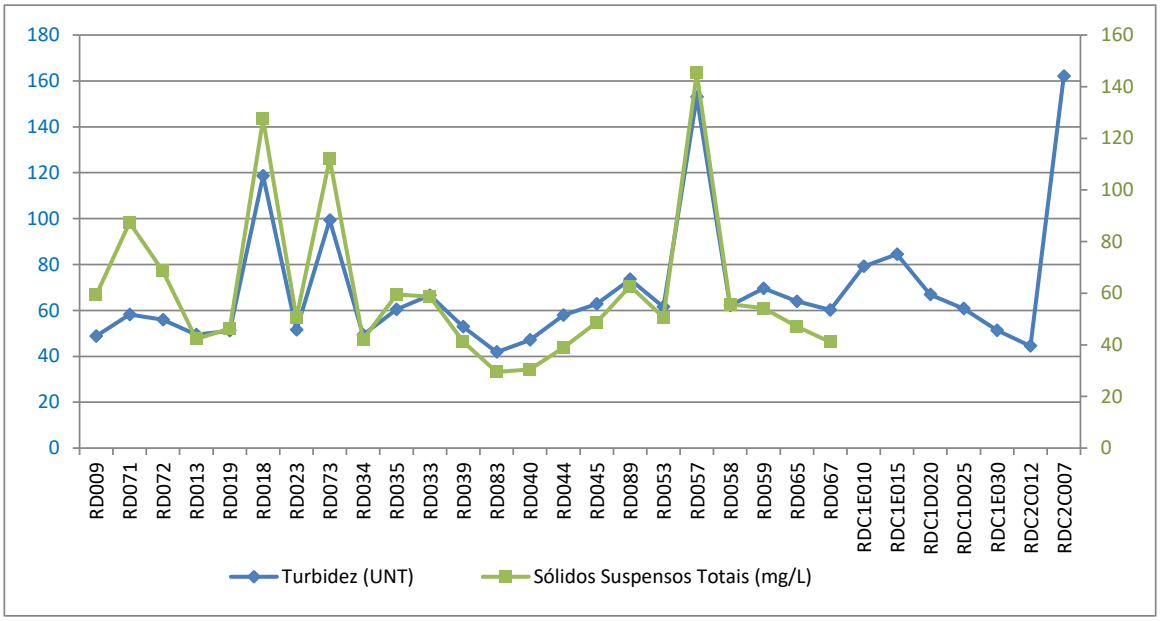
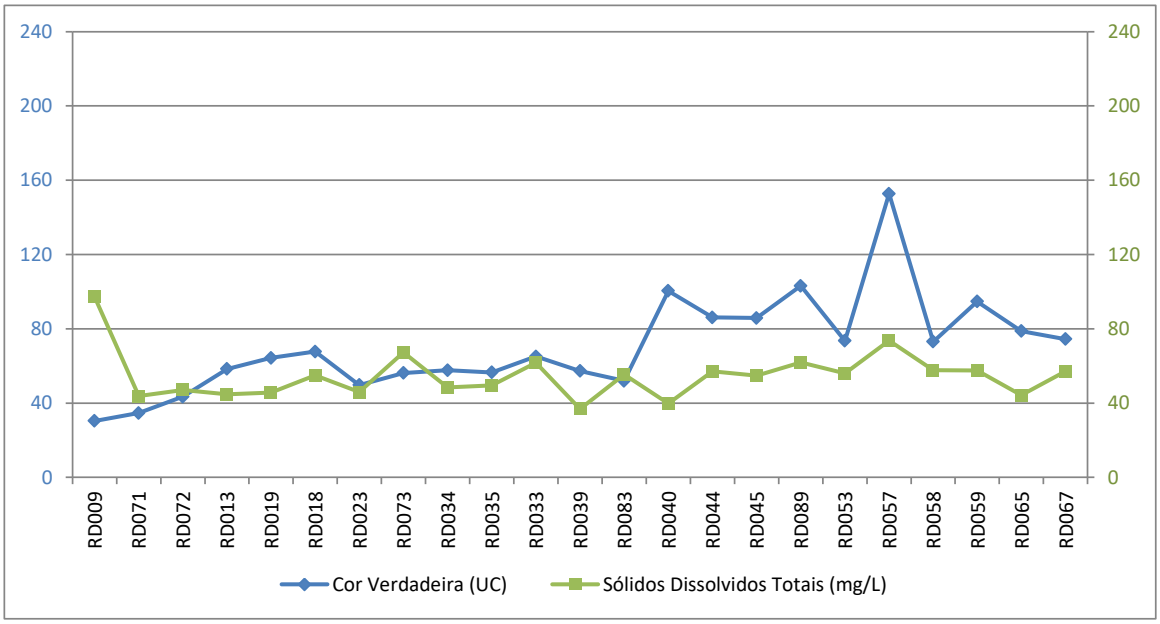


Figura 237 – Comparação entres os dados médios de cor verdadeira e sólidos dissolvidos totais ao longo das estações de monitoramento.



3.8.9 Resultados das variáveis químicas da água (exceto metais e semimetais)

3.8.9.1 Alcalinidade total

A alcalinidade das águas naturais pode ser explicada pela capacidade de neutralizar ácidos ou a capacidade de tamponamento. Esta se constitui principalmente de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Essas três formas de alcalinidade manifestam-se em função do valor do pH da água, a saber:

a) águas de pH entre 4,4 e 8,3: alcalinidade apenas devido a bicarbonatos;
b) águas de pH entre 8,3 e 9,4: alcalinidade devido a carbonatos e bicarbonatos;
c) águas de pH superior a 9,4: alcalinidade devido a carbonatos e hidróxidos (LIBÂNIO, 2005).

Ainda segundo Libânio (2005), águas naturais de origem superficial no Brasil apresentam alcalinidade comumente inferior a 100 mg/L de $CaCO_3$. Valores mais elevados de alcalinidade nos corpos d'água estão associados aos processos de decomposição da matéria orgânica, à atividade respiratória de microrganismos, com liberação e dissolução do gás carbônico (CO_2) na água, e ao lançamento de efluentes industriais.

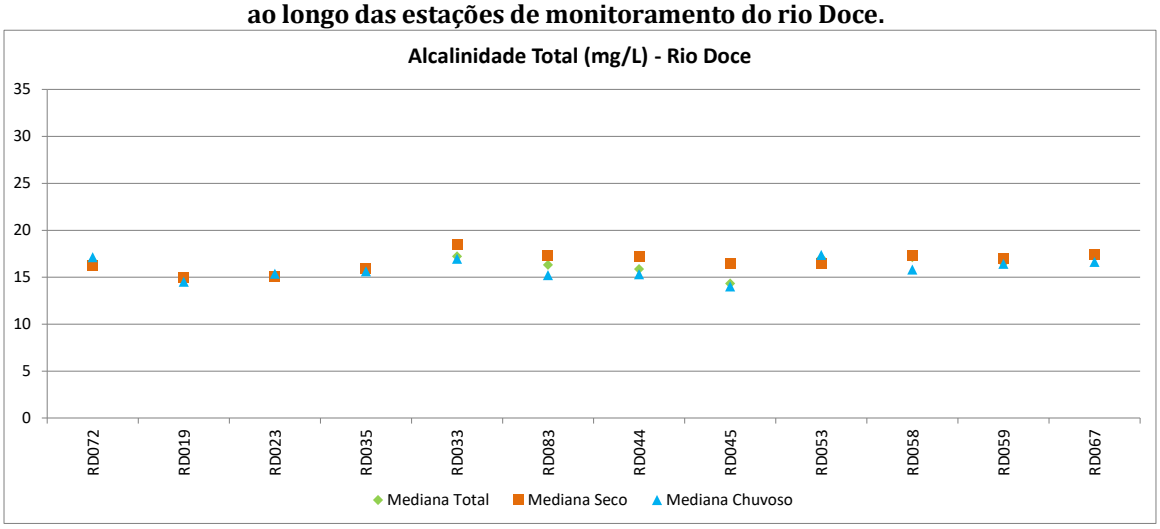
Para a alcalinidade total, foram avaliados os dados disponíveis na base do IGAM/MG. No período anterior ao desastre, o IEMA/ES não realizou avaliações da água em relação a essa variável. Conforme mencionado no item 3.8.3, não há valor máximo de referência disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 para a alcalinidade total, dessa forma, não foram calculados percentuais de desacordos.

Avaliação espacial

Na Figura 238, apresentam-se os valores de mediana das concentrações de alcalinidade total para as estações monitoradas no rio Doce, considerando os períodos total, seco e o chuvoso. De modo geral, não se observou aumento de concentrações no período chuvoso, com registro de valores mais elevados no período seco, em algumas estações. Não houve variações bruscas de valores ao longo do rio Doce, com medianas variando de 14,3 mg/L a 17,2 mg/L, no período total.

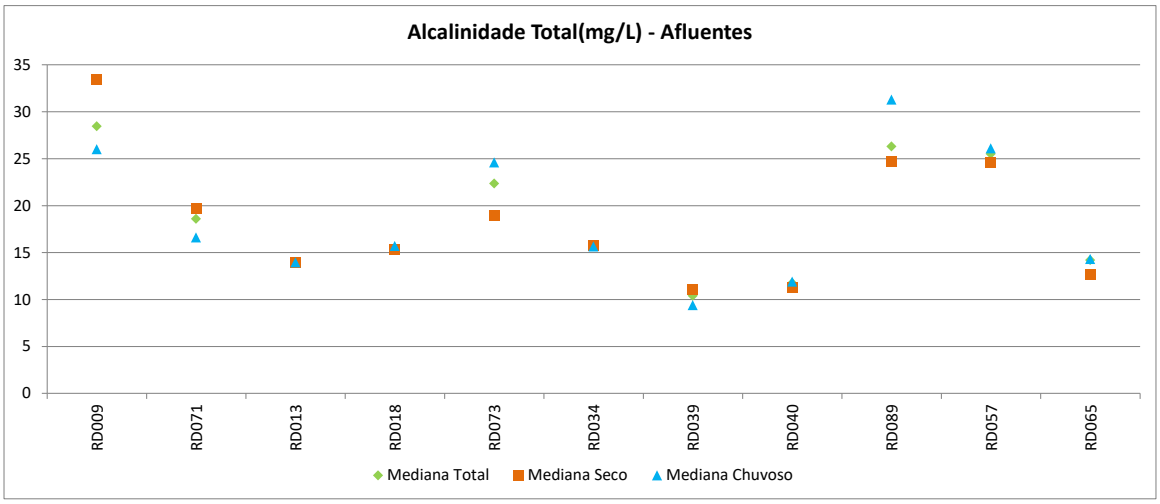
Em relação às medianas do período total, observou-se para a estação RD019, situada a jusante da UHE Risoleta Neves, uma redução de valores de alcalinidade total. Na estação RD023, na região do Parque Estadual do Rio Doce, os valores mantiveram-se mais baixos. A partir da estação RD035, a jusante de Ipatinga (MG), um dos municípios mais populosos da região de estudo, as concentrações voltaram a se elevar. Na estação RD045, a jusante das contribuições do município de Governador Valadares, novamente observou-se redução de valores. A partir daí, os valores voltaram a se elevar e a ficar mais homogêneos.

Figura 238 Medianas dos valores de alcalinidade total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes (Figura 239), em contrapartida, os valores de mediana entre as estações apresentaram maior variação. Nas estações RD009 (rio do Carmo), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga), observaram-se valores mais elevados, assim como registrado para a variável alcalinidade de bicarbonato.

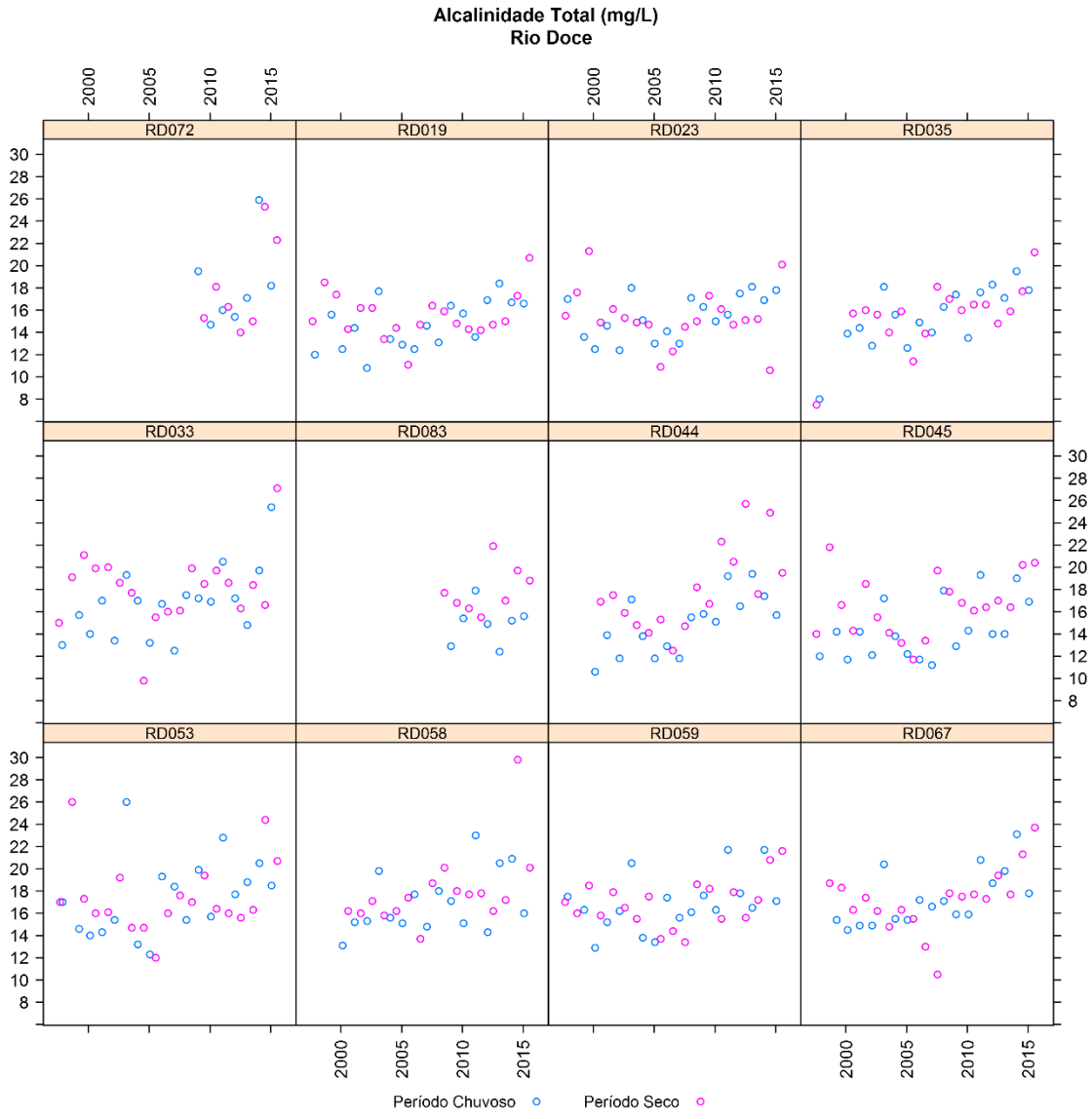
Figura 239 – Medianas dos valores de alcalinidade total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de alcalinidade total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 240) e afluentes (Figura 241), de montante para jusante.

Figura 240 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

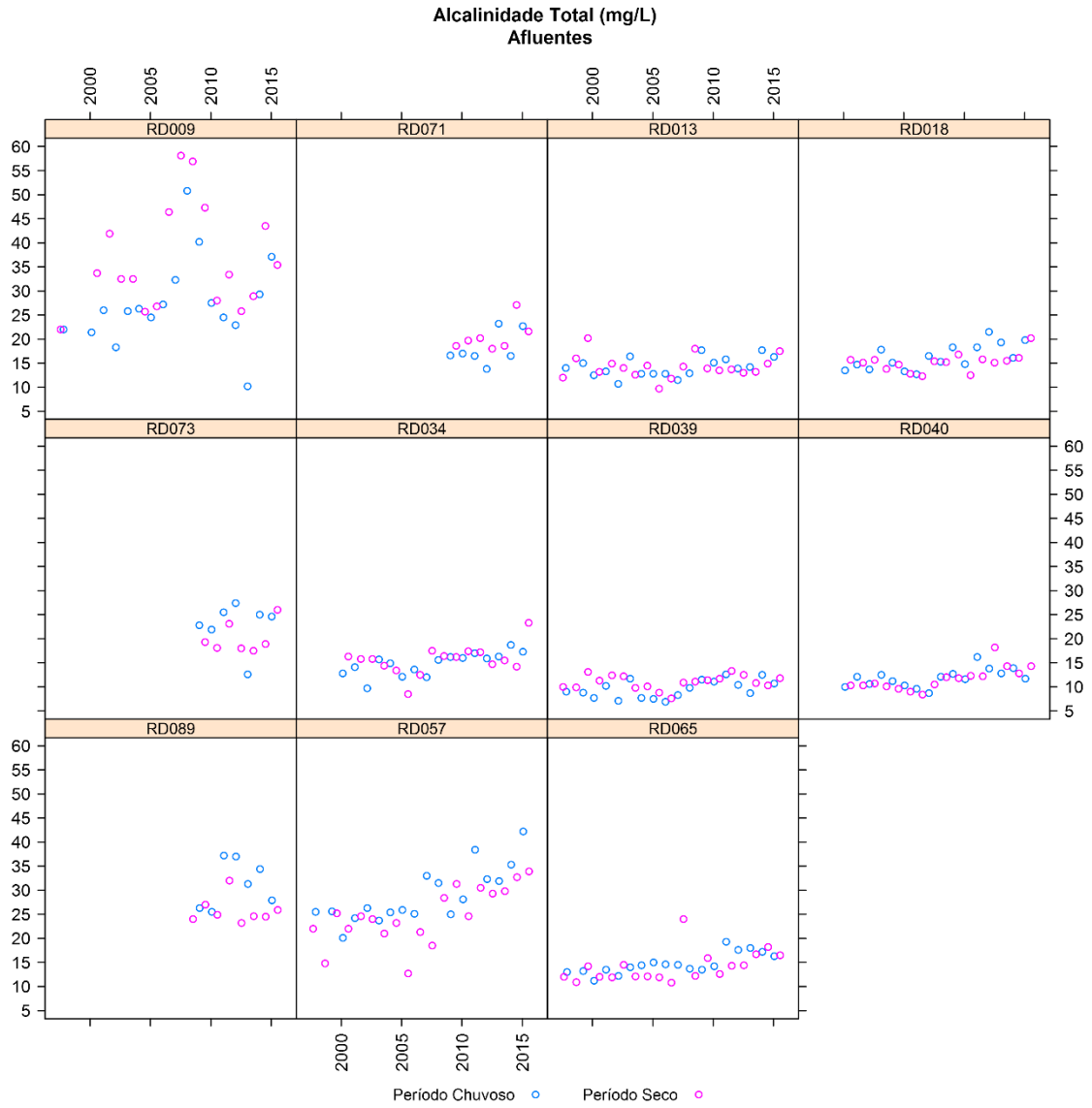


Para as estações do rio Doce (Figura 240), considerando todo o período de dados, os valores de alcalinidade de bicarbonato estiveram entre 7,5 mg/L e 29,8 mg/L, com média de 16,6 mg/L e mediana de 16,4 mg/L, indicando valores normais em relação ao esperado para águas naturais de origem superficial no Brasil (LIBÂNIO, 2005).

Para as estações situadas em afluentes do rio Doce (Figura 241), as concentrações de alcalinidade de bicarbonato não passaram de 30 mg/L, durante o período avaliado. Exceções foram observadas para as estações RD009 (rio do Carmo), RD089 (rio Suaçuí Grande) e

RD057 (rio Caratinga), com valores máximos de 58,1 mg/L, 37,2 mg/L e 42,2 mg/L, respectivamente.

Figura 241 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.2 Alcalinidade de bicarbonato

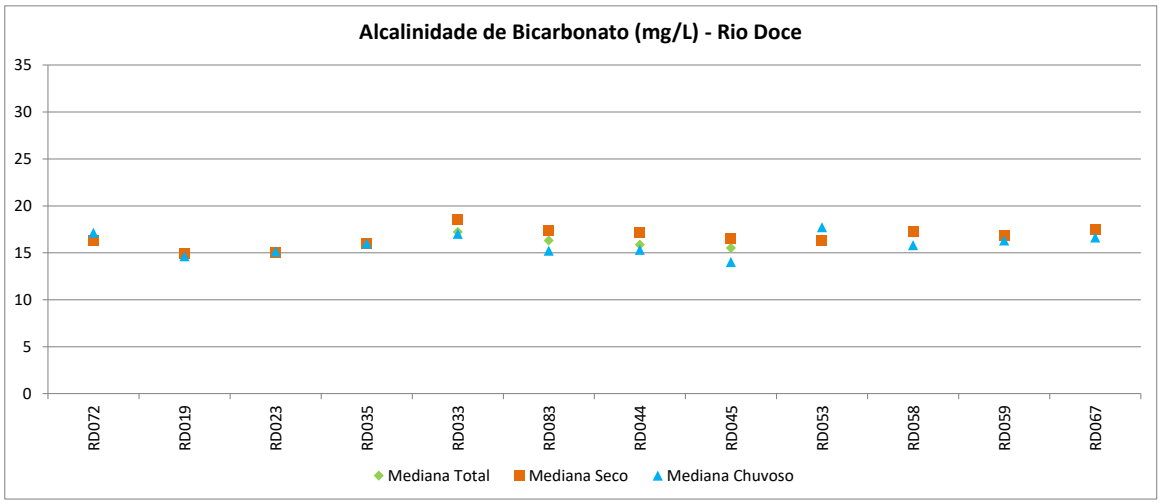
Para mais informações sobre este parâmetro, vide Alcalinidade Total.

Para a alcalinidade de bicarbonato, foram avaliados os dados disponíveis na base do IGAM/MG. No período anterior ao desastre, o IEMA/ES não realizou avaliações da água em relação a essa variável. Conforme mencionado no item 3.8.3, não há valor máximo de referência disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 para a alcalinidade de bicarbonato, dessa forma, não foram calculados percentuais de desacordos.

Avaliação espacial

Na Figura 242, apresentam-se os valores de mediana das concentrações de alcalinidade de bicarbonato para as estações monitoradas no rio Doce, considerando os períodos total, seco e o chuvoso. Não se observou aumento de concentração no período chuvoso. Inclusive, em algumas estações registraram-se valores superiores na estação seca. De modo geral, os valores das medianas foram similares, sem grandes alterações ao longo do rio Doce, variando de 14,8 mg/L a 17,2 mg/L, no período total. Os resultados foram semelhantes aos obtidos para a alcalinidade de bicarbonato. Em águas com pH entre 4,4 e 8,3, a alcalinidade total será devida apenas por íons de bicarbonato (LIBÂNIO, 2005), o que pode explicar essa semelhança.

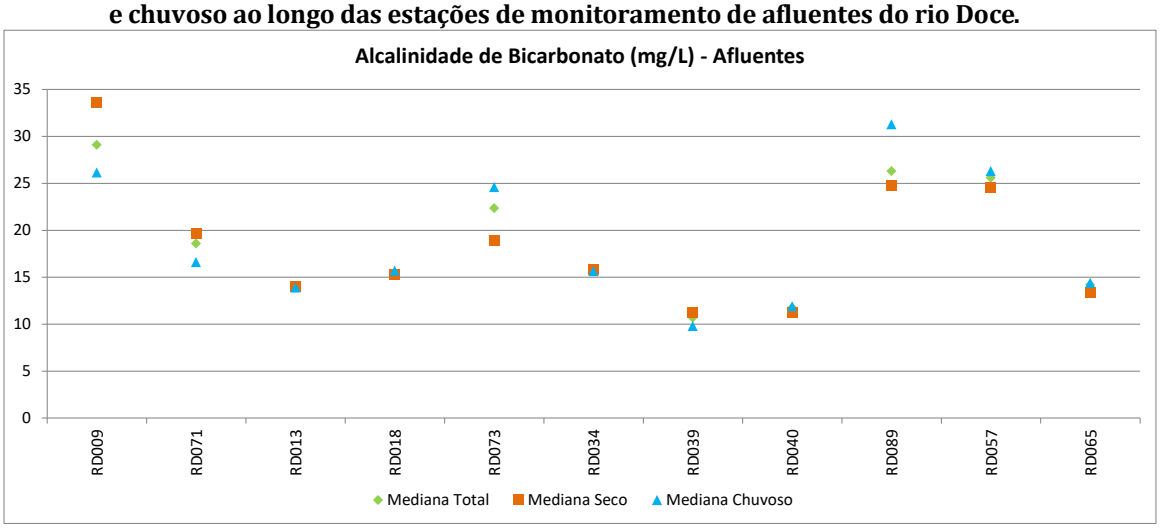
Figura 242 – Medianas dos valores de alcalinidade de bicarbonato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Ainda em relação às medianas do período total, observou-se que na estação RD019, situada após a UHE Risoleta Neves (Candonga), houve uma redução de valores da referida variável. Na estação RD023, na região do Parque Estadual do Rio Doce, os valores mantiveram-se mais baixos. A partir da estação RD035, a jusante de Ipatinga (MG), um dos municípios mais populosos da região de estudo, as concentrações voltaram a se elevar. Na estação RD045, a jusante das contribuições do município de Governador Valadares, novamente observou-se redução de valores. A partir disso, os valores voltaram a se elevar e a ficar mais homogêneos.

Para as estações localizadas em afluentes (Figura 243), em contrapartida, os valores de mediana entre as estações mostraram-se mais heterogêneos. Nas estações RD009 (rio do Carmo), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga), observaram-se valores mais elevados.

Figura 243 – Medianas dos valores de alcalinidade de bicarbonato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de alcalinidade de bicarbonato ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 244) e afluentes (Figura 245), de montante para jusante.

Para as estações do rio Doce (Figura 244), considerando todo o período de dados, os valores de alcalinidade de bicarbonato estiveram entre 9,8 mg/L e 29,8 mg/L, com média de 16,7 mg/L e mediana de 16,4 mg/L. Quando os valores da média e da mediana são similares, presume-se que não existiram valores extremos na série que possam ter influenciado no cálculo da média. É possível observar também que o comportamento da variável em questão foi semelhante ao longo do rio Doce.

Para as estações situadas em afluentes do rio Doce (Figura 245), as concentrações de alcalinidade de bicarbonato não passaram de 30 mg/L durante o período avaliado. Exceções foram observadas para as estações RD009 (rio do Carmo), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga), com valores máximos de 58,1 mg/L, 37,2 mg/L e 42,2 mg/L, respectivamente.

Figura 244 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade de bicarbonato ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

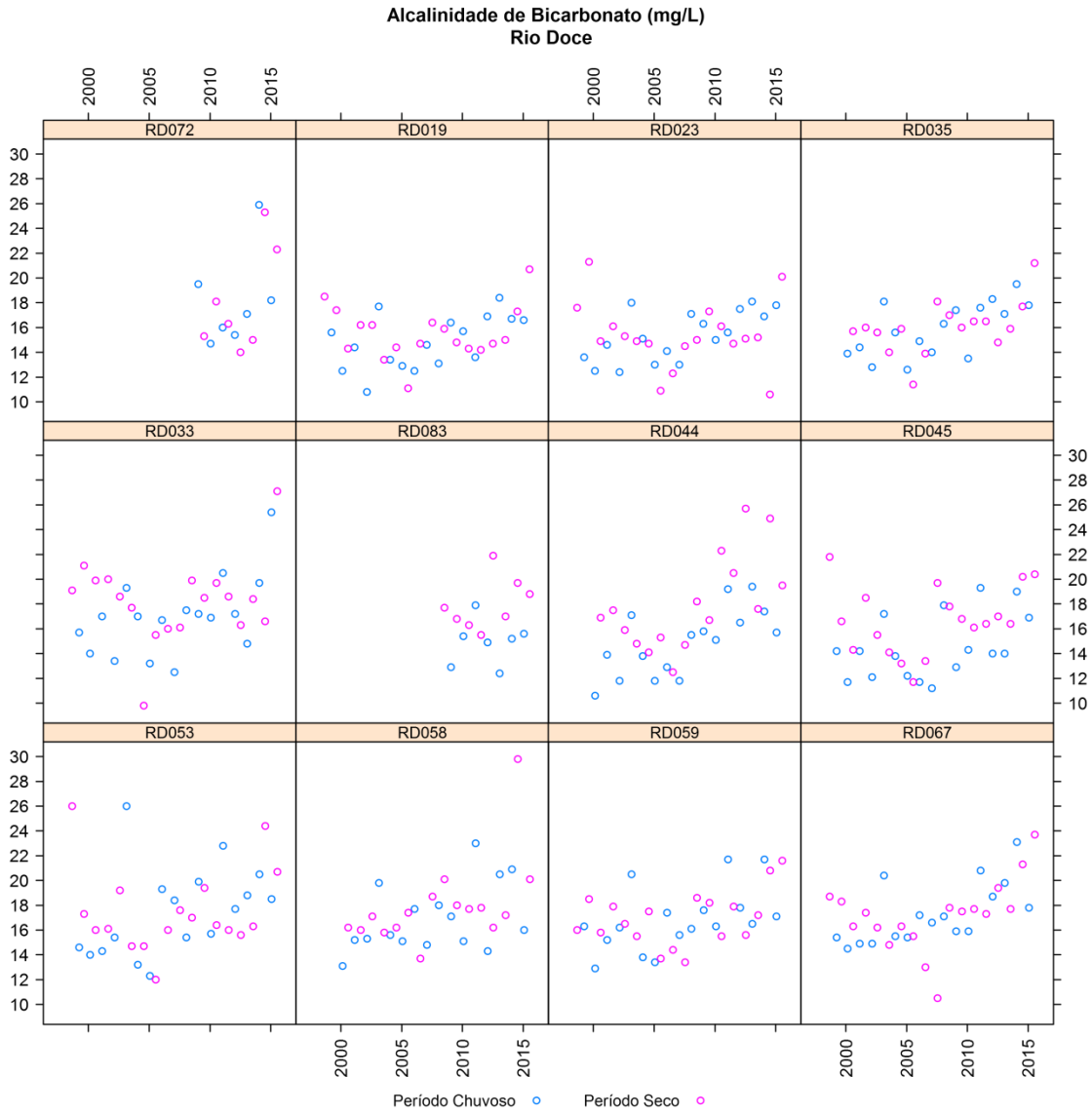
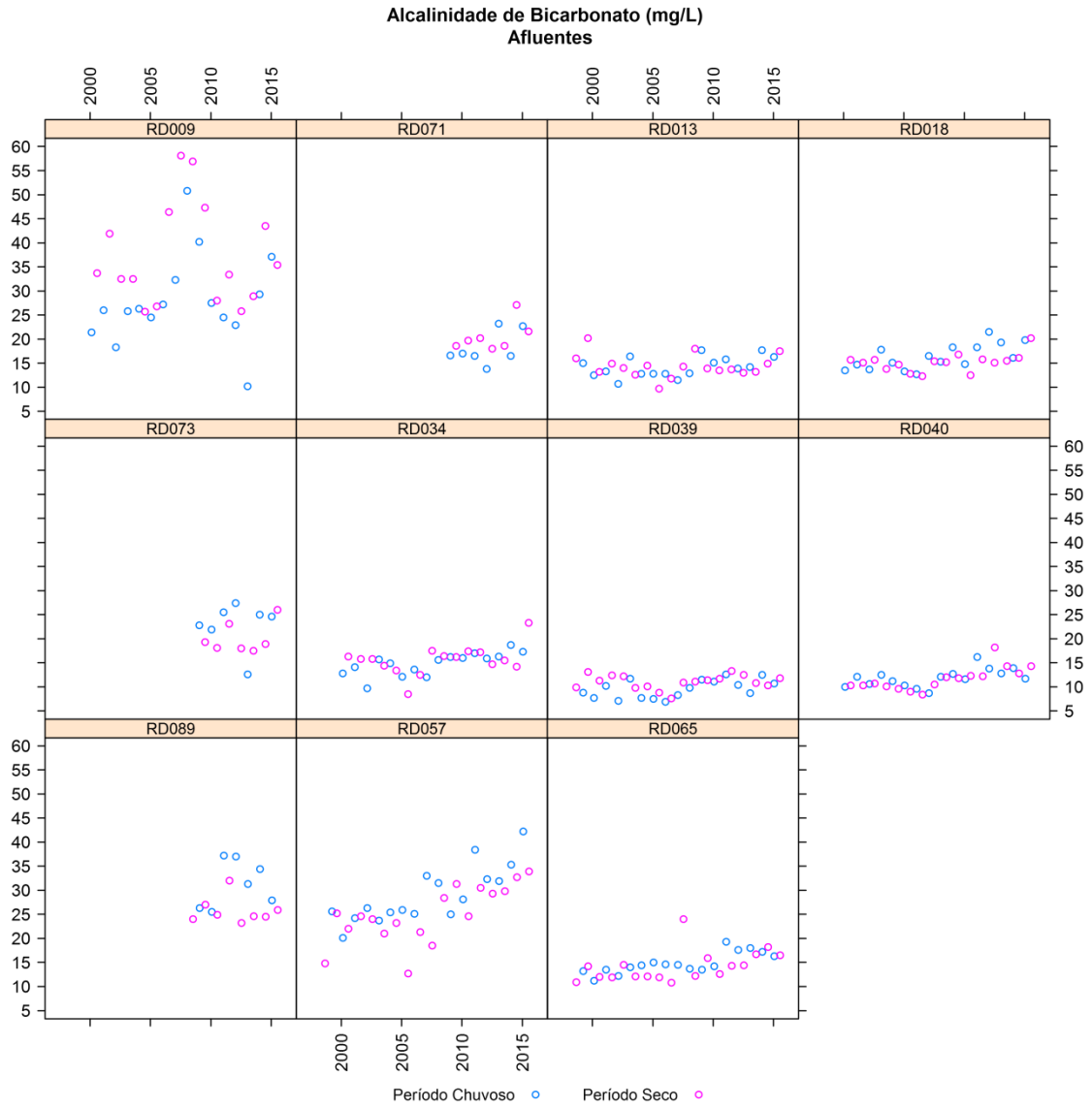


Figura 245 – Gráficos de dispersão dos dados de alcalinidade de bicarbonato ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.3 Cianeto livre

Cianetos livres (CN^- e HCN) são considerados tóxicos, estando essa característica ligada à possibilidade de dissociação do íon complexo para a solução na qual se encontra. Esses compostos podem ser absorvidos rapidamente pela pele, bem como por inalação ou ainda ingestão, sendo transportados através do plasma sanguíneo e afetando diversos constituintes essenciais ao processo vital. Em especial, podem bloquear o transporte de oxigênio no metabolismo, apesar de não apresentarem efeito cumulativo no organismo (BRASIL, 2017).

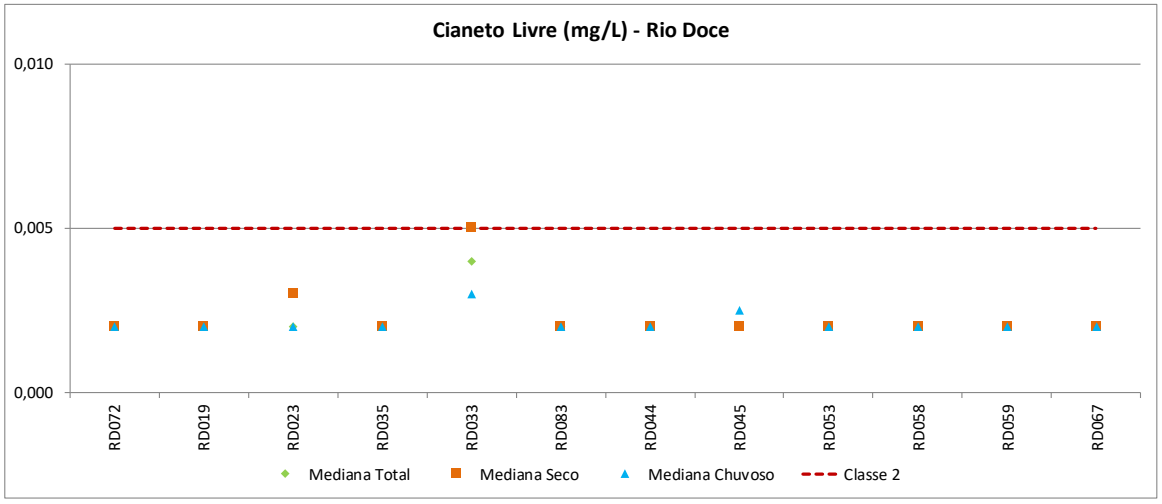
Avaliação de não conformidades

Optou-se por não realizar a análise de não conformidades para essa variável, uma vez que, até 2010, os resultados analisados apresentaram limite de detecção (de 0,01 mg/L) superior ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, de 0,005 mg/L. De qualquer forma, avaliando-se exclusivamente o período em que o limite de detecção foi inferior ao limite da resolução, não foram observados desacordos superiores a 20% do total de eventos avaliados. Além disso, destaca-se também que os dados avaliados são oriundos somente do IGAM.

Avaliação espacial

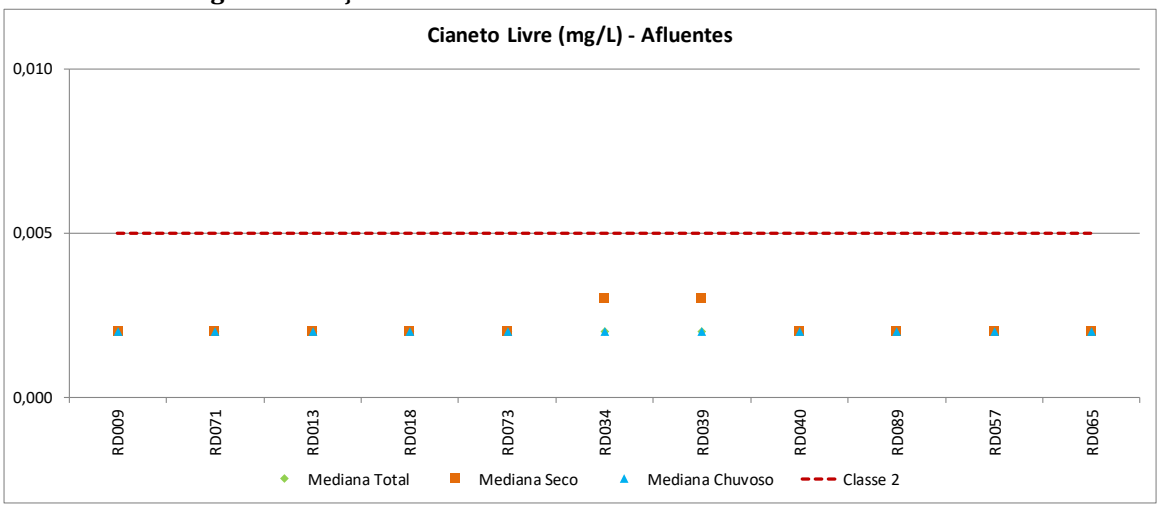
Na Figura 246, apresentam-se os valores de mediana das concentrações de cianeto livre para as estações monitoradas no rio Doce, considerando os períodos total, seco e o chuvoso. Não foram observadas grandes variações nas concentrações de cianeto livre entre os períodos seco e chuvoso, quando comparados com o período total, com medianas variando entre 0,002 mg/L e 0,005 mg/L. No entanto, observa-se valor mediano mais elevado na estação RD033, instalada no rio Doce, entre os municípios de Ipaba e Naque, quando a mediana do período seco chegou ao valor limite da Resolução CONAMA nº 357/2005, de 0,005 mg/L.

Figura 246 – Medianas dos valores de cianeto livre para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Na Figura 247, são apresentados os valores medianos de cianeto livre para os afluentes do rio Doce, na região de estudo, nos períodos seco, chuvoso e total. Conforme se observou, não houve distinção significativa entre os valores medianos calculados para os três períodos. Destacaram-se valores medianos mais elevados nas estações RD034 (rio Piracicaba) e RD039 (rio Santo Antônio), no período seco.

Figura 247 – Medianas dos valores de cianeto livre para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão da concentração de cianeto livre, distribuída ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 248) e em seus afluentes (Figura 249), de montante para jusante.

Tanto para os dados advindos de estações no rio Doce quanto dos tributários, observou-se que concentrações mais elevadas foram registradas em 2010 e anos anteriores. Essa situação esteve relacionada ao limite de quantificação do método, que nesse período era de 0,010 mg/L, ou seja, o dobro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,005 mg/L). No ano de 2011, o limite de quantificação passou a ser de 0,002 mg/L e, dessa forma, a partir desse período foram observadas flutuações nas concentrações medidas, mas, ainda assim, normalmente abaixo do limite legislado. Não foram observadas diferenças quantitativas entre desacordos ocorridos no período de chuva ou seca.

Figura 248 – Gráficos de dispersão dos dados de cianeto livre ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

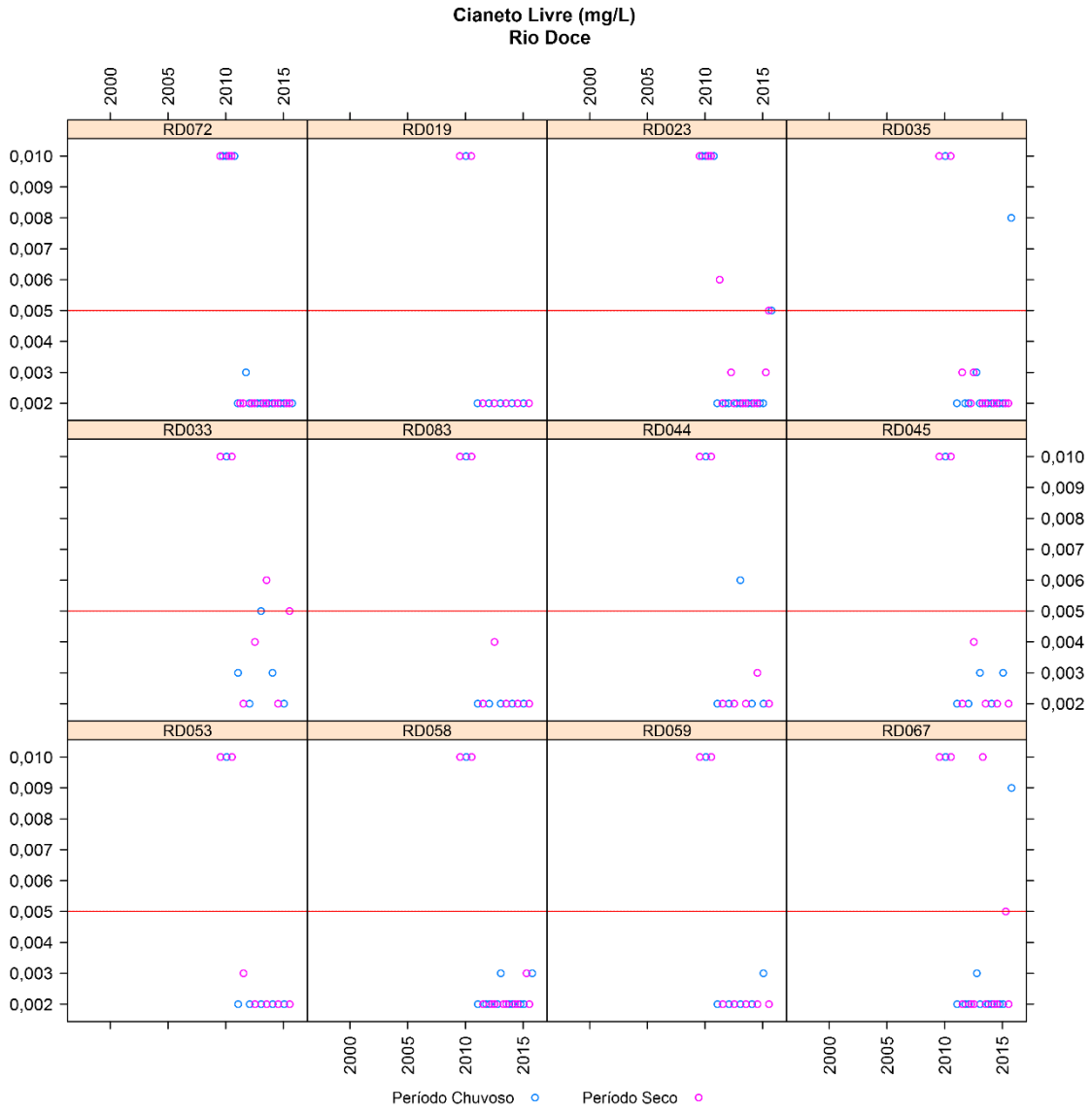
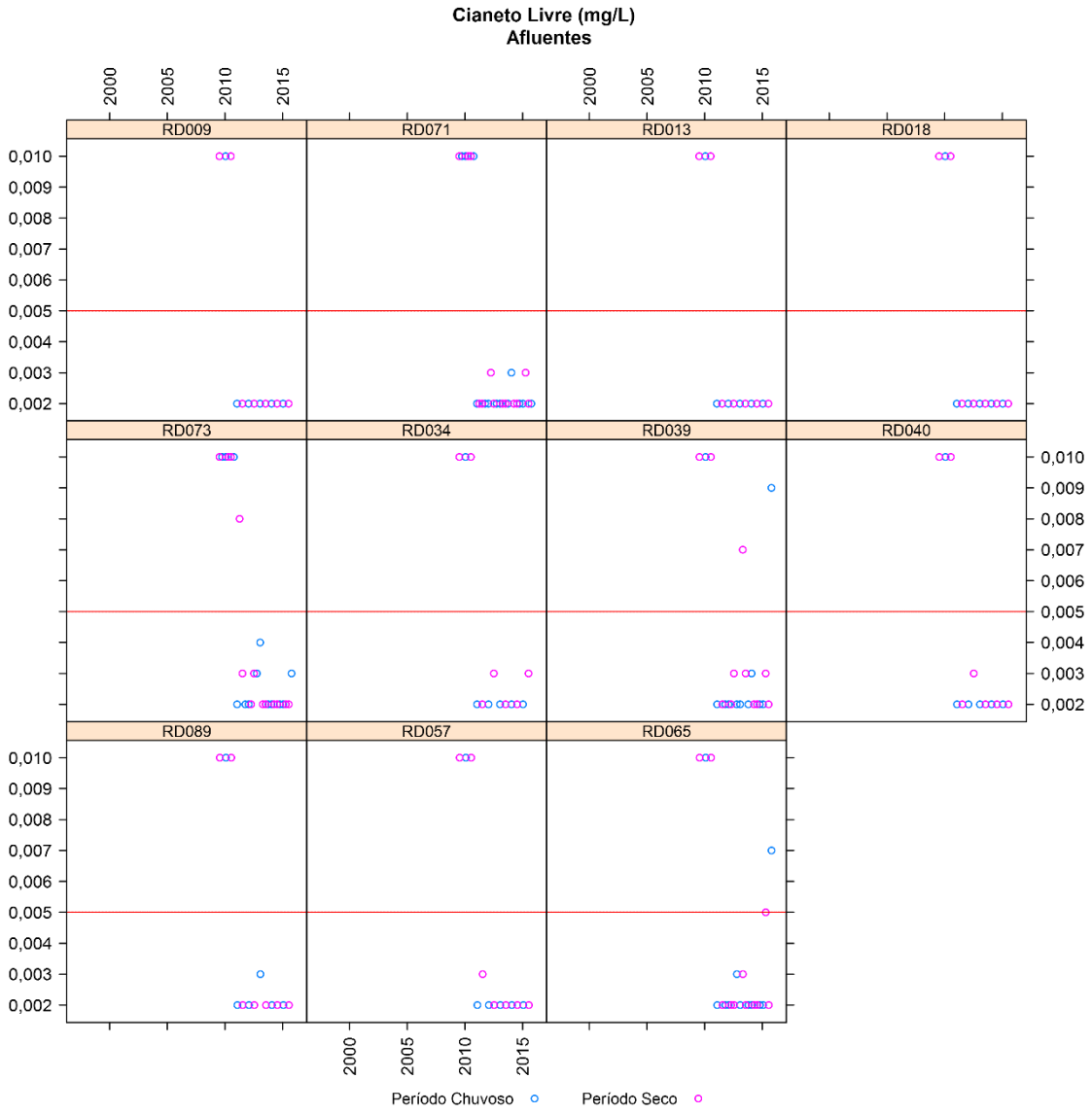


Figura 249 – Gráficos de dispersão dos dados de cianeto livre ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.4 Cloreto total

De acordo com a CETESB (2016), o cloreto (ânion Cl^-) nas águas superficiais tem sua origem em fontes como as descargas de esgotos sanitários, que apresentam elevada concentração do ânion, composto relevante da urina humana. Além disso, outros tipos de efluente industriais também podem contribuir com cloreto para a água superficial, como as indústrias de petróleo, farmacêutica e de curtumes. Com relação à saúde humana, com exceção de casos de deficiência do metabolismo de cloreto de sódio, como situações de insuficiência cardíaca congestiva, o cloreto não apresenta toxicidade.

Tanto a Resolução CONAMA nº 357/2005 quanto a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelecem o valor máximo de 250 mg/L de cloreto na água.

Avaliação de não conformidades

A avaliação do conjunto total de dados de cloreto total demonstrou que não foram registrados desacordos em nenhum dos períodos avaliados (seco, chuvoso e total), tanto para as estações de monitoramento instaladas no rio Doce (Tabela 99) quanto para as instaladas em seus afluentes (Tabela 100).

Tabela 99 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cloreto total no rio Doce.

Rio Doce							
Cloreto Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	92	0%	47	0%	45	0%
	RD023	92	0%	47	0%	45	0%
	RD035	85	0%	44	0%	41	0%
	RD033	92	0%	47	0%	45	0%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	83	0%	43	0%	40	0%
	RD045	92	0%	47	0%	45	0%
	RD053	91	0%	47	0%	44	0%
	RD058	83	0%	43	0%	40	0%
	RD059	92	0%	47	0%	45	0%
	RD067	90	0%	46	0%	44	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 100 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cloreto total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Cloreto Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	0%	33	0%	33	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	89	0%	44	0%	45	0%
	RD018	64	0%	32	0%	32	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	64	0%	32	0%	32	0%
	RD039	73	0%	36	0%	37	0%
	RD040	64	0%	32	0%	32	0%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	73	0%	36	0%	37	0%
	RD065	73	0%	36	0%	37	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

Conforme pode ser observado pela análise da Figura 250 e da Figura 251, os valores medianos de cloreto, avaliados para o período chuvoso, seco e total, não apresentaram

distinção ou variação entre si, tanto nas estações monitoradas no rio Doce quanto em seus afluentes. Também não foram observadas variações espaciais significativas nas concentrações medianas de cloretos, para os três períodos estudados, tanto para o rio Doce quanto para seus afluentes. No rio Doce, os valores medianos variaram entre 1,7 mg/L e 4,9 mg/L e para os afluentes a variação das medianas esteve entre 1,2 mg/L e 3,9 mg/L.

Figura 250 – Medianas dos valores de cloreto total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

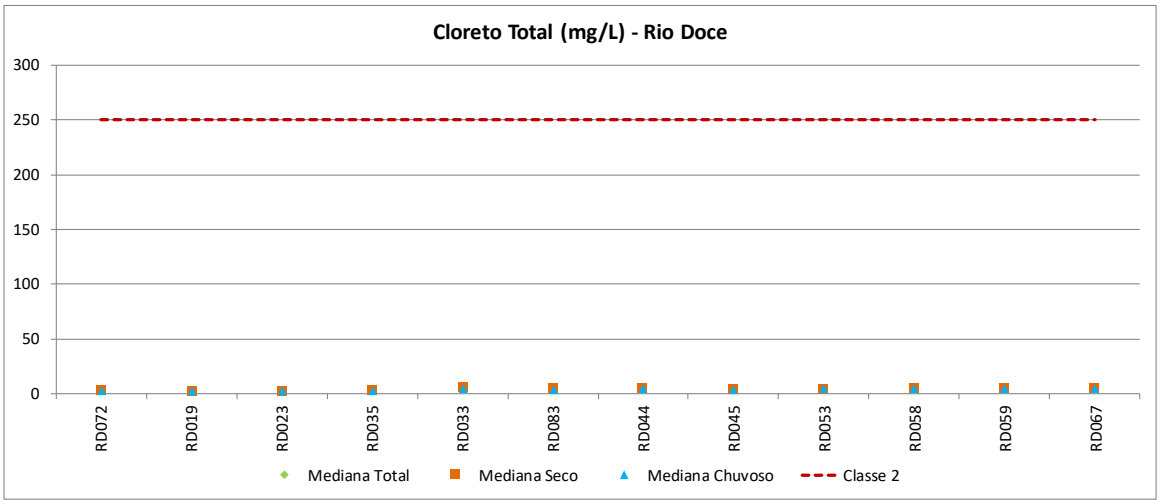
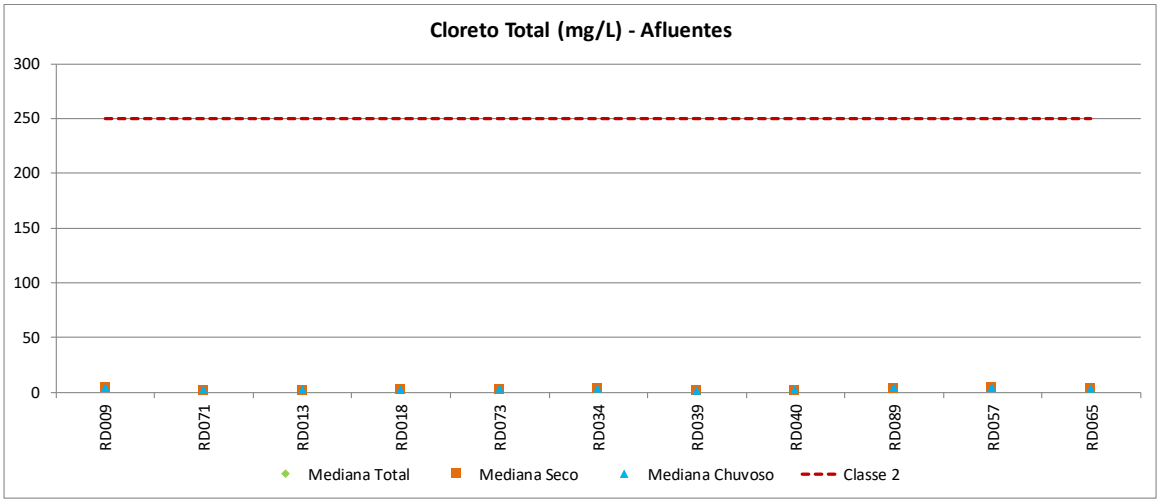


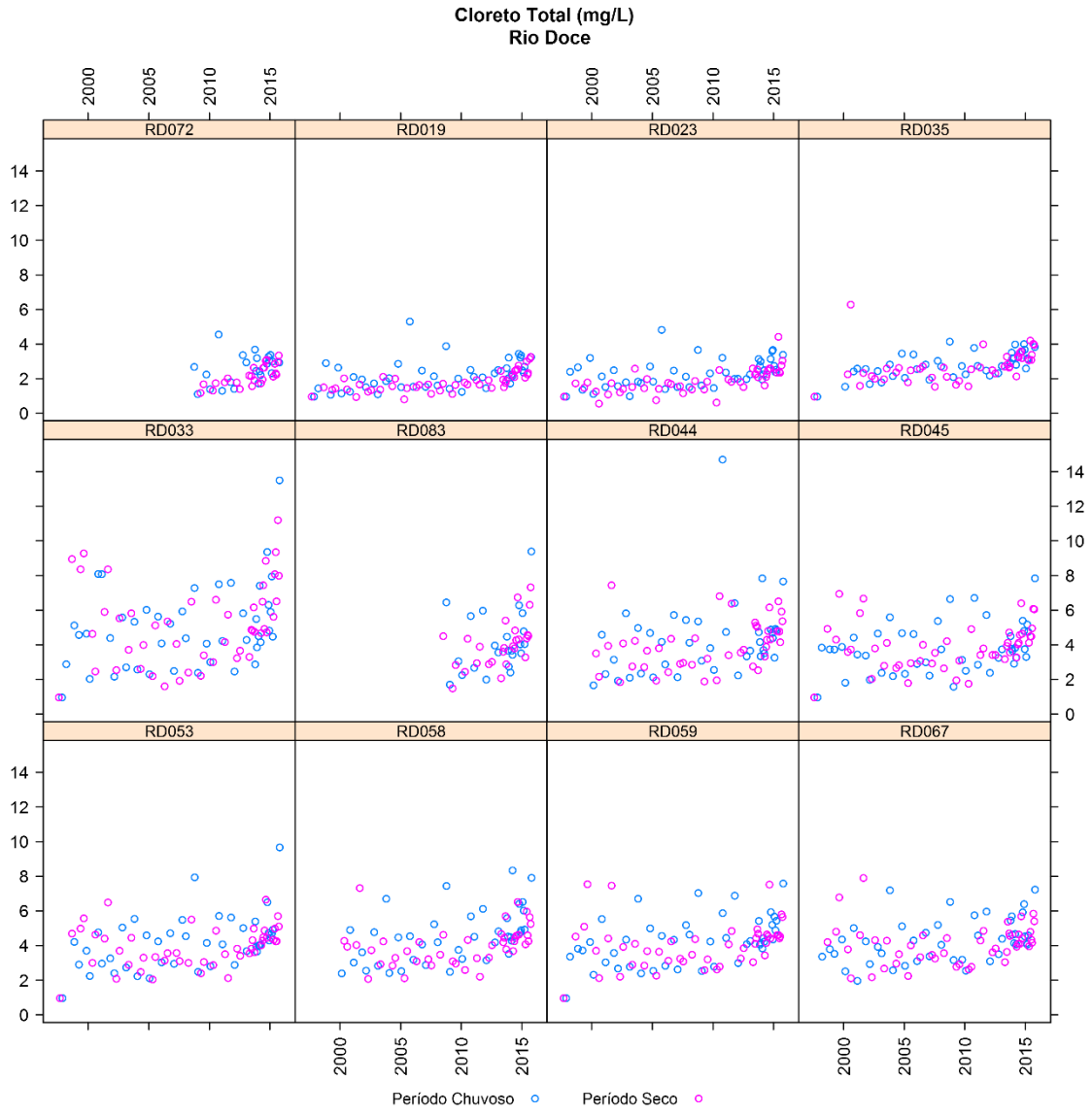
Figura 251 – Medianas dos valores de cloreto total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cloreto total, distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 252) e em seus afluentes (Figura 253), de montante para jusante.

Figura 252 – Gráficos de dispersão dos dados de cloreto total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



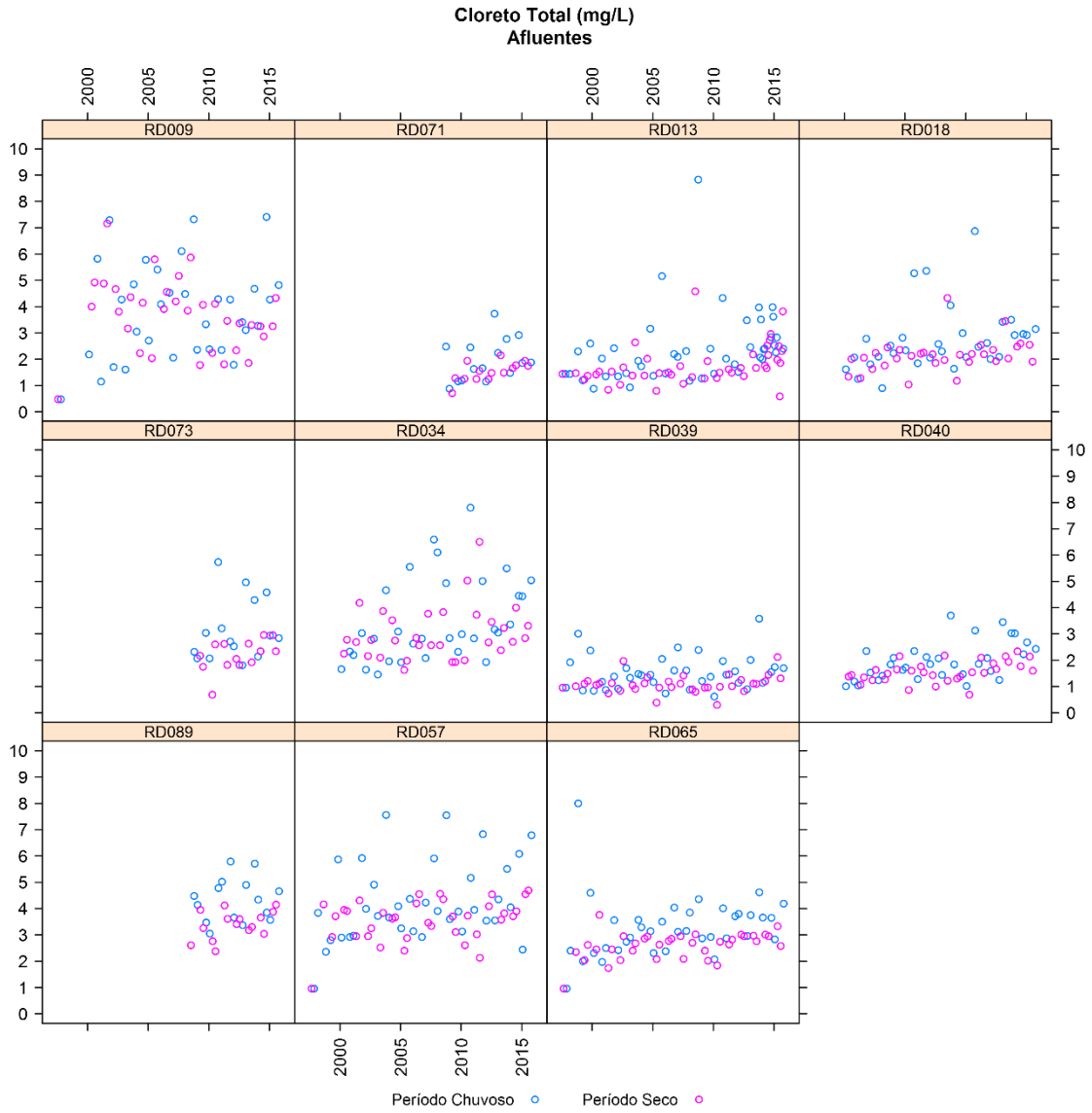
Com relação aos resultados obtidos a partir as estações de monitoramento do rio Doce, em termos espaciais, assim como observado para a condutividade elétrica, nas estações RD072, RD019, RD023 e RD035, localizadas mais a montante, a variação dos valores de cloretos totais foi menor do que o observado em estações mais a jusante. Também nas quatro estações citadas, foram registrados valores menores, quando comparados com os demais. Ainda assim, as concentrações de cloretos totais não ultrapassaram 14,7 mg/L nas estações

do rio Doce. Em termos sazonais, ao longo do período monitorado observaram-se valores levemente superiores para o período de chuva.

Quanto ao monitoramento dos afluentes, a estação RD009, localizada no rio do Carmo, no município de Mariana, apresentou grande variação de valores, mas sempre inferiores a 8,8 mg/L, que foi o valor máximo observado no conjunto dos afluentes.

Destaca-se que os valores registrados são bem inferiores ao limite indicado na Resolução CONAMA nº 357/2005, de 250 mg/L. Este também é o motivo pelo qual a linha indicativa do limite da resolução não está marcada nas figuras apresentadas na sequência.

Figura 253 – Gráficos de dispersão dos dados de cloreto total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.5 Condutividade elétrica in loco

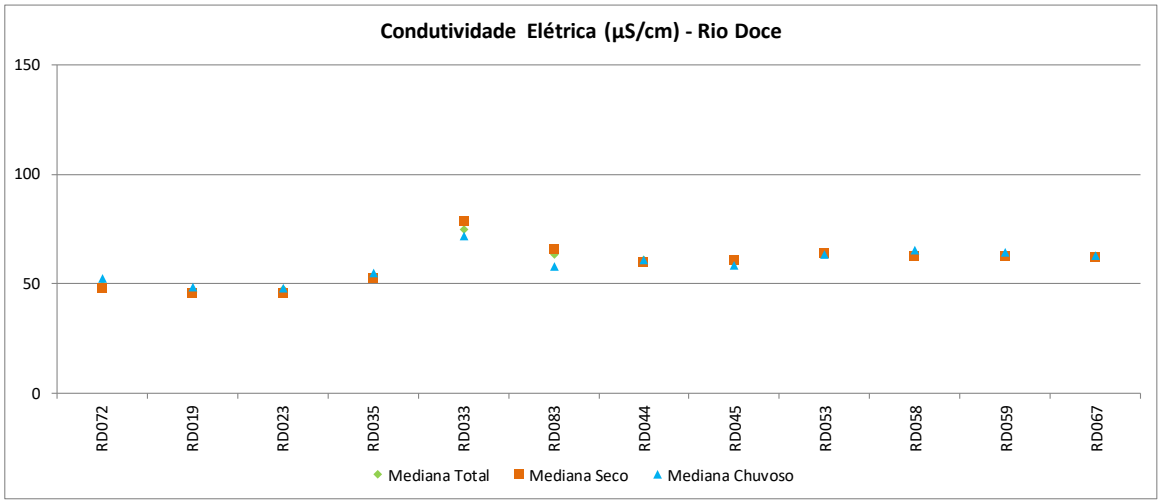
Substâncias dissolvidas na água, que se dissociam em ânions e cátions, são responsáveis pela capacidade das águas naturais em transmitir corrente elétrica, parâmetro conhecido como condutividade elétrica. Esse parâmetro é importante para a detecção de lançamentos de efluentes, por relacionar-se à concentração de sólidos dissolvidos. A princípio, águas naturais apresentam condutividade, normalmente, inferior a 100 µS/cm, podendo chegar a valores de 1.000 µS/cm, em águas com altas cargas de efluentes (LIBÂNIO, 2005).

Esse parâmetro não apresenta limite legislado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e, dessa forma, não foram calculados percentuais de desacordos.

Avaliação espacial

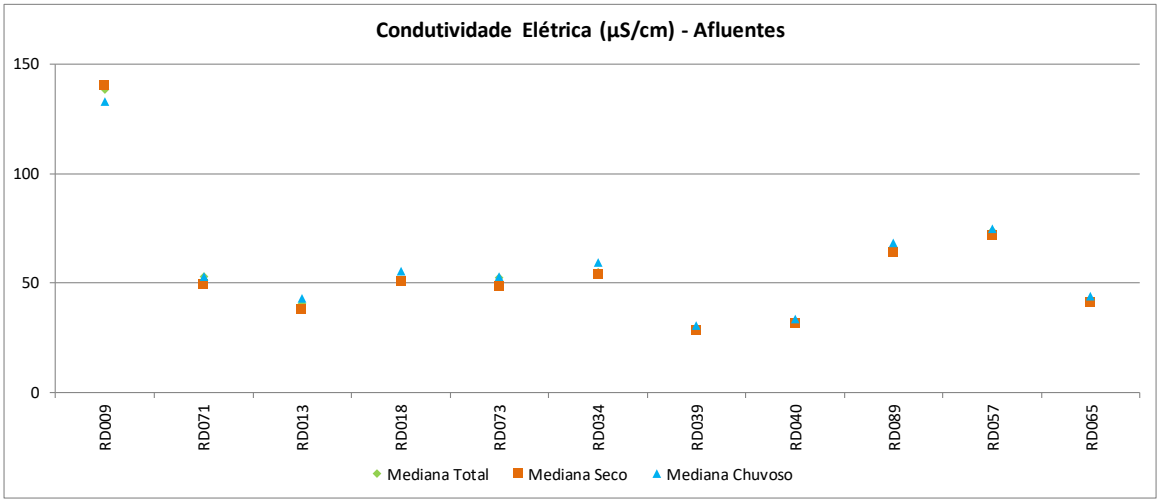
Na Figura 254, são apresentados os valores medianos de condutividade elétrica para as estações de monitoramento do rio Doce, nos períodos seco, chuvoso e total. Não foram observadas diferenças relevantes entre as medianas dos três períodos. Com relação à variação entre as estações, valores mais elevados de medianas foram observados a partir da estação RD033, localizada entre os municípios de Bugre e Belo Oriente. De forma geral, os valores medianos variaram entre 45 µS/cm e 78 µS/cm.

Figura 254 – Medianas dos valores de condutividade elétrica *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Na Figura 255, são apresentados os valores medianos de condutividade elétrica para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce, nos períodos seco, chuvoso e total. Assim como para as estações do rio Doce, não foram observadas diferenças relevantes entre as medianas dos três períodos. No entanto, com relação à variação entre as estações, valores elevados de medianas foram observados na estação RD009, localizadas no rio do Carmo, no município de Mariana. Nessa estação, o valor mediano atingiu 140 µS/cm no período seco, valor que pode ser considerado alto, quando comparado com os demais registrados. Conforme observado anteriormente, valores de condutividade de até 100 µS/cm podem ser considerados normais. Nas demais estações, os valores medianos variaram entre 28 µS/cm e 74 µS/cm.

Figura 255 – Medianas dos valores de condutividade elétrica *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de condutividade elétrica distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 256) e em seus afluentes (Figura 257), de montante para jusante.

Com relação aos resultados obtidos a partir as estações de monitoramento do rio Doce, observou-se uma menor variação de valores de condutividade elétrica, em termos espaciais, nas estações RD072, RD019, RD023 e RD035, localizadas mais a montante. Registra-se que maior variação nos valores de condutividade foi observada a partir da estação RD0033.

Em termos temporais, ao longo do período monitorado entre os anos de 2000 e 2014, as concentrações registradas variaram entre 40 µS/cm e 80 µS/cm, aproximadamente. No entanto, também se observou uma elevação nessas concentrações, com valores mais elevados no ano de 2015, sendo este um padrão verificado para os períodos de seca e cheia, em todas as estações de monitoramento.

No tocante ao monitoramento dos afluentes, na estação RD009, localizada no rio do Carmo, no município de Mariana, apresentou valores mais elevados que as demais, com grande variação e valores sempre superiores a 50 µS/cm (até 350 µS/cm, aproximadamente). Nas demais estações de monitoramento, os valores foram relativamente menores, normalmente ao redor de 50 µS/cm. Nas estações RD071 (rio do Carmo), RD013 (rio Piranga), RD034 (rio Piracicaba) e RD057 (rio Caratinga), observou-se, mesmo que de forma mais sutil, a mesma tendência temporal registrada para o rio Doce, com a ocorrência de valores mais elevados a partir de 2015.

Figura 256 – Gráficos de dispersão dos dados de condutividade elétrica *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

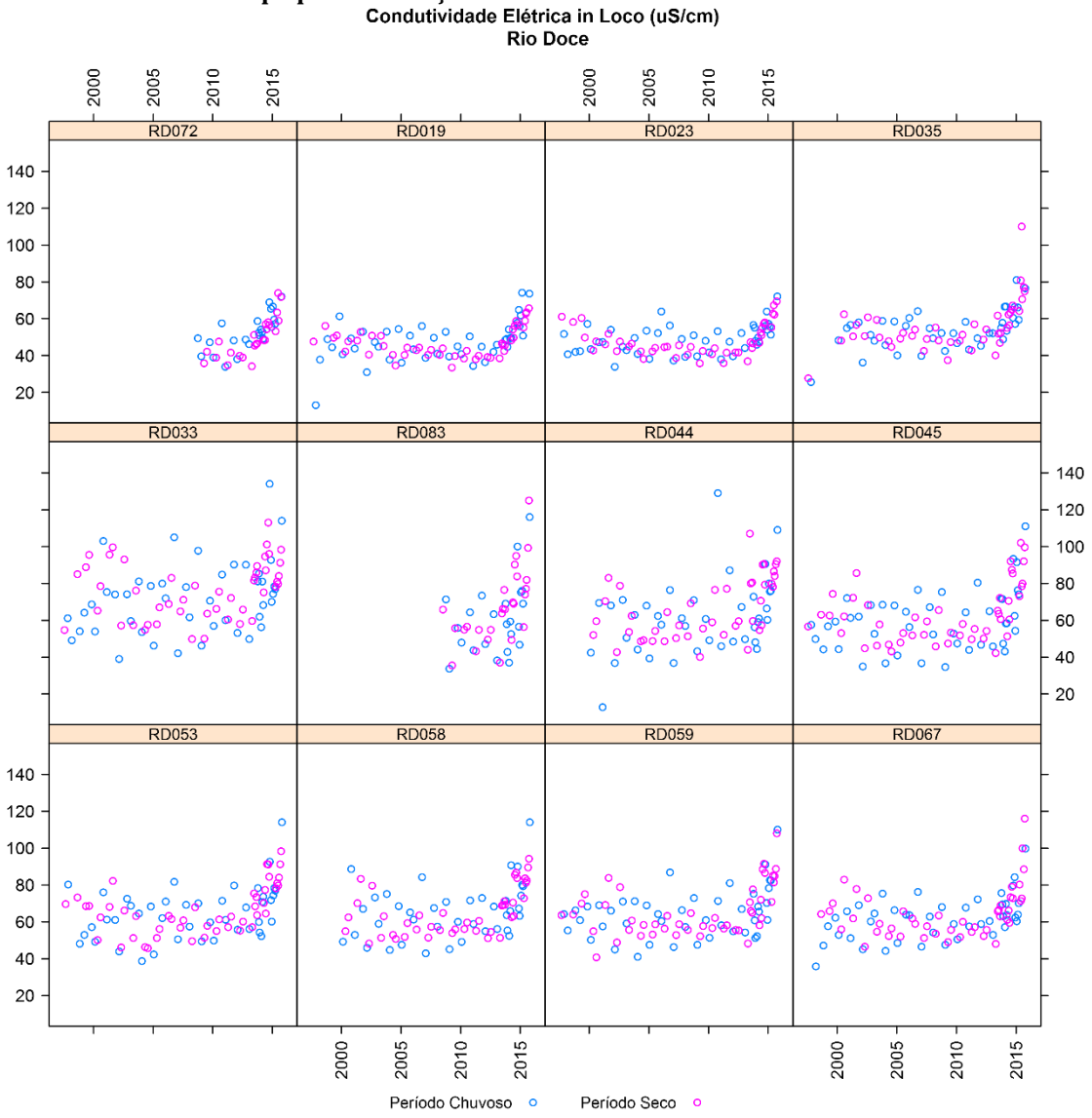
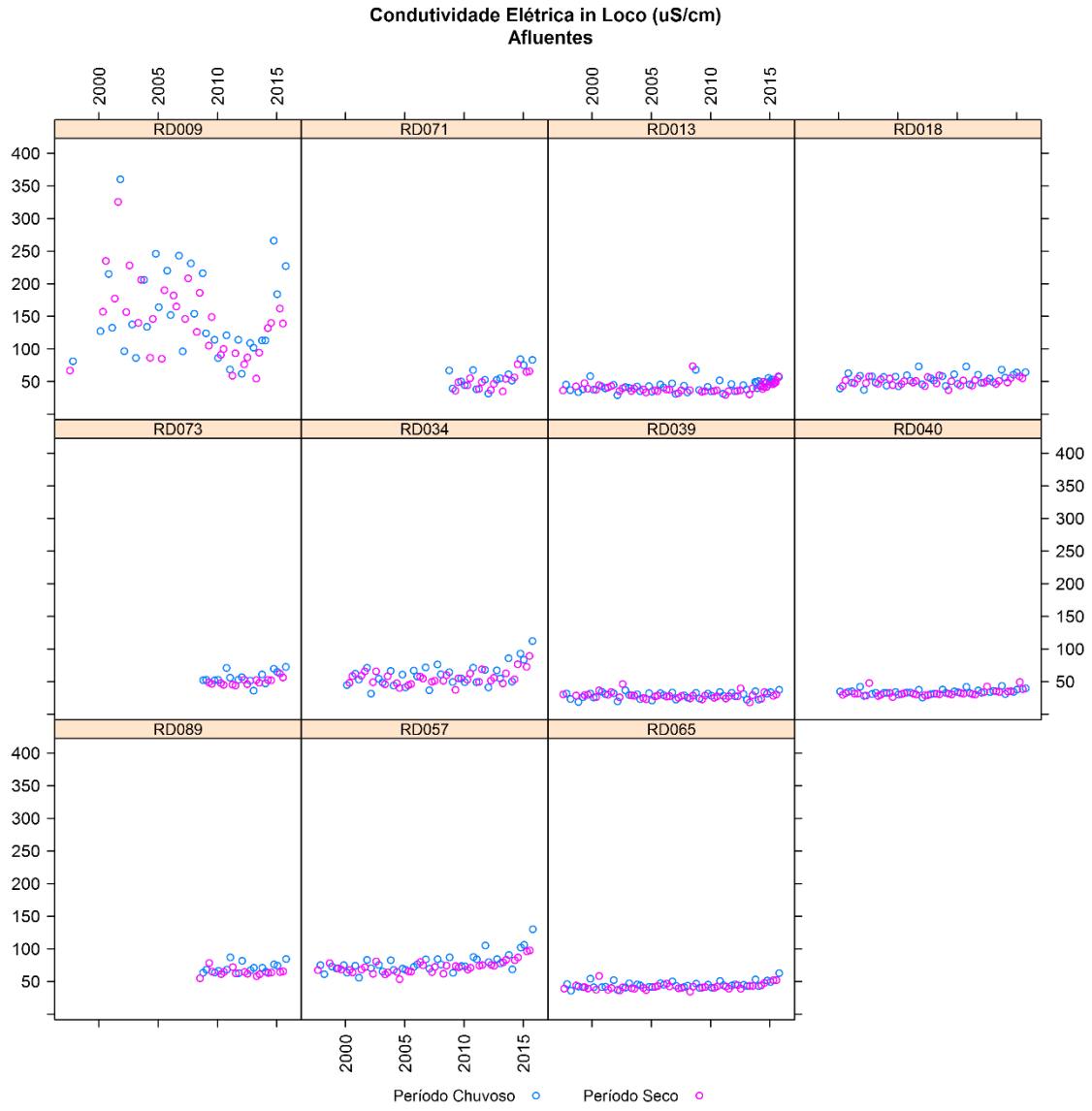
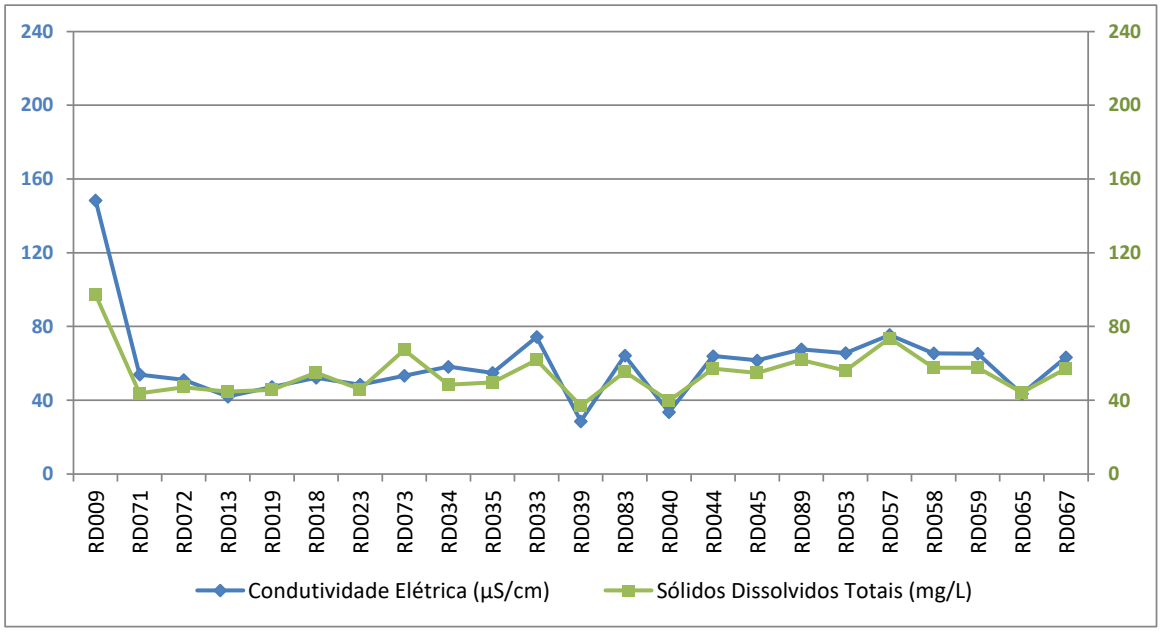


Figura 257 – Gráficos de dispersão dos dados de condutividade elétrica *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



A análise física dos dados relativos à constituição dos SDTs e SSTs pode ser verificada em função de sua influência direta nos parâmetros condutividade elétrica da água, conforme apresentado na Figura 258. Observou-se no presente caso que a condutividade elétrica esteve diretamente relacionada aos SDTs, podendo, nesse caso, inferir que estes podem estar constituídos na sua maioria por sais ou íons dissolvidos. Parra et al. (2007) identificaram comportamentos similares nas análises da água do rio Conceição, na região do Quadrilátero Ferrífero (QF).

Figura 258 – Comparação entre os dados médios de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais ao longo das estações de monitoramento.



3.8.9.6 Demanda bioquímica de oxigênio

O parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um indicador indireto da presença de matéria orgânica em águas naturais, pois avalia o consumo de Oxigênio Dissolvido (OD) por bactérias que consomem a matéria orgânica na água, transformando-a em uma forma inorgânica estável (LIBÂNIO, 2005; CETESB, 2016).

Uma vez que a DBO se baseia na demanda de OD para a decomposição de matéria orgânica, águas com alto teor de DBO podem ter deplecionamento severo de OD, causando danos à biota aquática (CETESB, 2016).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2, como os incluídos na bacia do rio Doce, devem apresentar DBO inferior a 5,0 mg/L, no intuito de manter os usos múltiplos da água (BRASIL, 2005).

Para a DBO foram avaliadas as séries de dados do IGAM/MG e do IEMA/ES. Em relação ao número de observações, registrou-se um maior número de dados disponíveis na base do IGAM, sendo que o IEMA descontinuou a avaliação da referida variável no ano de 2010.

Avaliação de não conformidades

A avaliação de não conformidades com relação ao parâmetro DBO, com base em dados advindos das estações de monitoramento situadas no rio Doce (Tabela 101), indicou que somente a estação RDC1E030, localizada no município de Linhares, no Espírito Santo, apresentou desacordos na ordem de 29%, quando avaliado exclusivamente o período chuvoso. Todas as demais estações de monitoramento, independentemente do período avaliado (seco, chuvoso ou total), ou não apresentaram desacordos (0%) ou apresentaram desacordos variando entre 1% e 17%.

Tabela 101 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para demanda bioquímica de oxigênio no rio Doce.

Rio Doce							
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	92	1%	47	0%	45	2%
	RD023	92	1%	47	0%	45	2%
	RD035	85	1%	44	0%	41	2%
	RD033	92	1%	47	0%	45	2%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	83	0%	43	0%	40	0%
	RD045	92	0%	47	0%	45	0%
	RD053	90	1%	46	0%	44	2%
	RD058	83	0%	43	0%	40	0%
	RD059	92	3%	47	0%	45	7%
	RD067	90	1%	46	0%	44	2%
ES	RDC1E010	27	11%	19	16%	8	0%
	RDC1E015	19	11%	13	8%	6	17%
	RDC1D020	27	11%	19	16%	8	0%
	RDC1D025	25	12%	18	11%	7	14%
	RDC1E030	25	12%	18	6%	7	29%

Nota: n: número de observações.

No tocante à avaliação de não conformidades do parâmetro DBO, a partir de dados de estações de monitoramento localizadas em afluentes (Tabela 102) do rio Doce, na área de interesse, observou-se que somente a estação RDC20C007, localizada no rio Guandu, no município de Afonso Cláudio, no Espírito Santo, apresentou percentual de desacordo superior a 20%, quando avaliado exclusivamente o período chuvoso. Todas as demais estações de monitoramento, independentemente do período avaliado (seco, chuvoso ou total), ou não apresentaram desacordos (0%) ou apresentaram desacordos variando entre 1% e 19%.

Tabela 102 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para demanda bioquímica de oxigênio em afluentes do rio Doce.

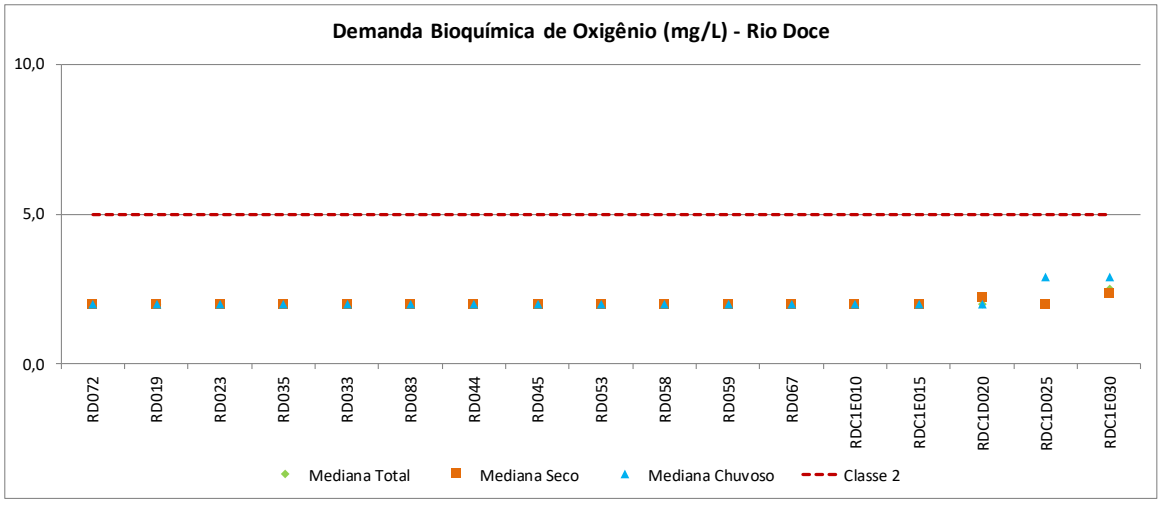
Afluentes							
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	2%	33	0%	33	3%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	89	2%	44	2%	45	2%
	RD018	64	0%	32	0%	32	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	64	0%	32	0%	32	0%
	RD039	73	0%	36	0%	37	0%
	RD040	64	0%	32	0%	32	0%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	73	1%	36	0%	37	3%
	RD065	73	0%	36	0%	37	0%
ES	RDC2C007	27	19%	18	17%	9	22%
	RDC2C012	27	11%	19	16%	8	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 259 ilustra o comportamento dos valores medianos de DBO para os períodos seco, chuvoso e total, nas estações de monitoramento do rio Doce. Conforme se observa, não foram registradas variações de valores significativas entre os períodos. Apenas nas estações de monitoramento RDC1D025 e RDC1E030, ambas no município de Linhares, foram registrados valores distintos, mais elevados, na estação chuvosa. Os valores medianos estiveram sempre abaixo do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

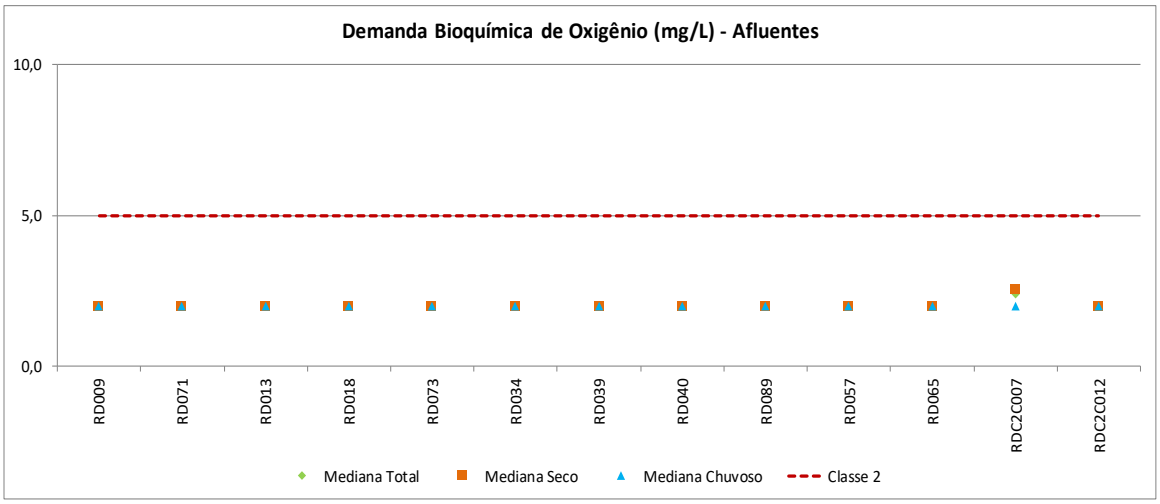
Figura 259 – Medianas dos valores de demanda bioquímica de oxigênio para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



A Figura 260 ilustra o comportamento dos valores medianos de DBO para os períodos seco, chuvoso e total, nas estações de monitoramento em afluentes do rio Doce. Assim como se observou anteriormente, o comportamento do parâmetro nos afluentes foi o mesmo observado para o rio Doce, sem variações que merecem menção entre os períodos seco,

chuvoso e total. Os valores medianos estiveram sempre abaixo do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

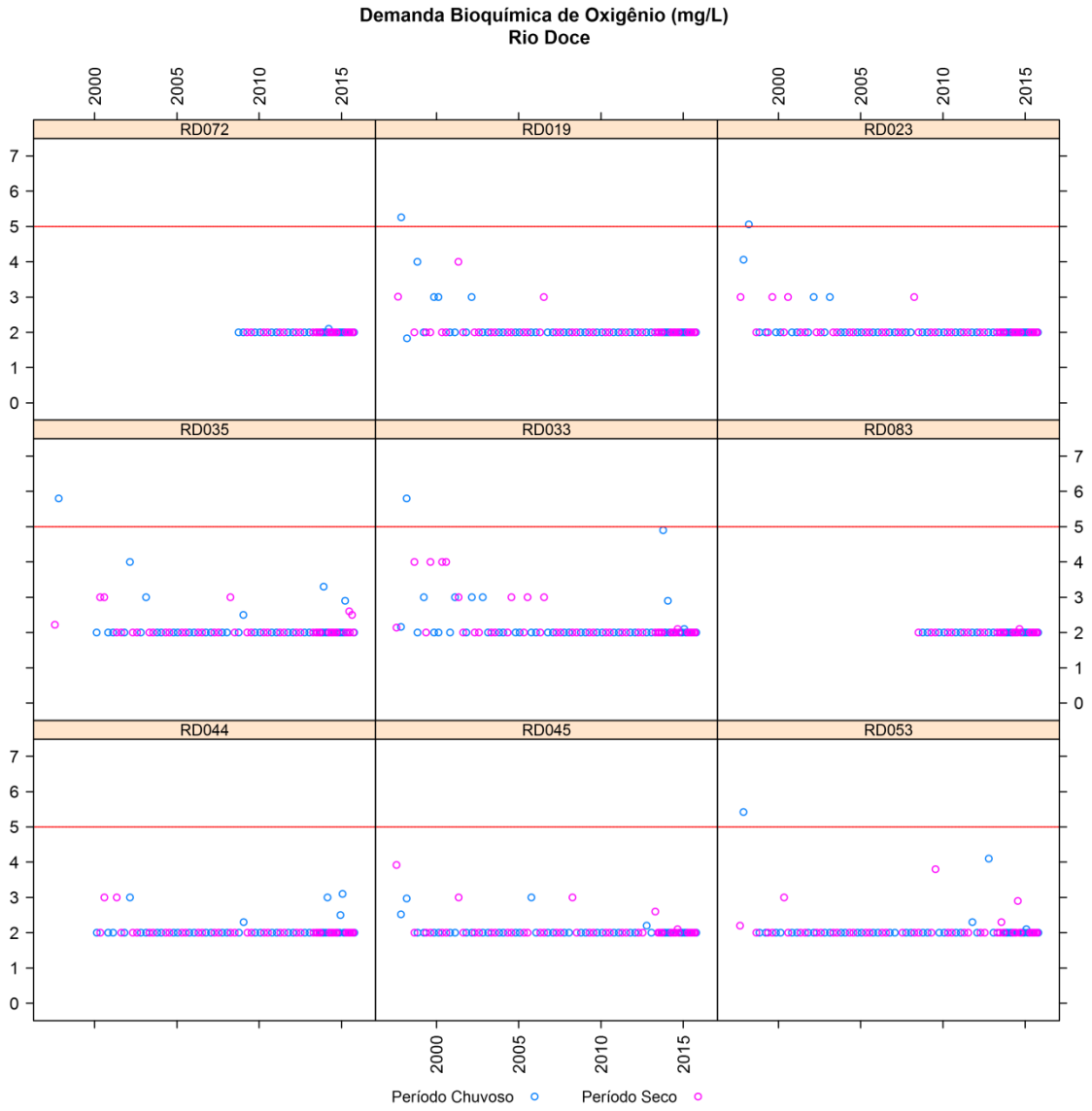
Figura 260 – Medianas dos valores de demanda bioquímica de oxigênio para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

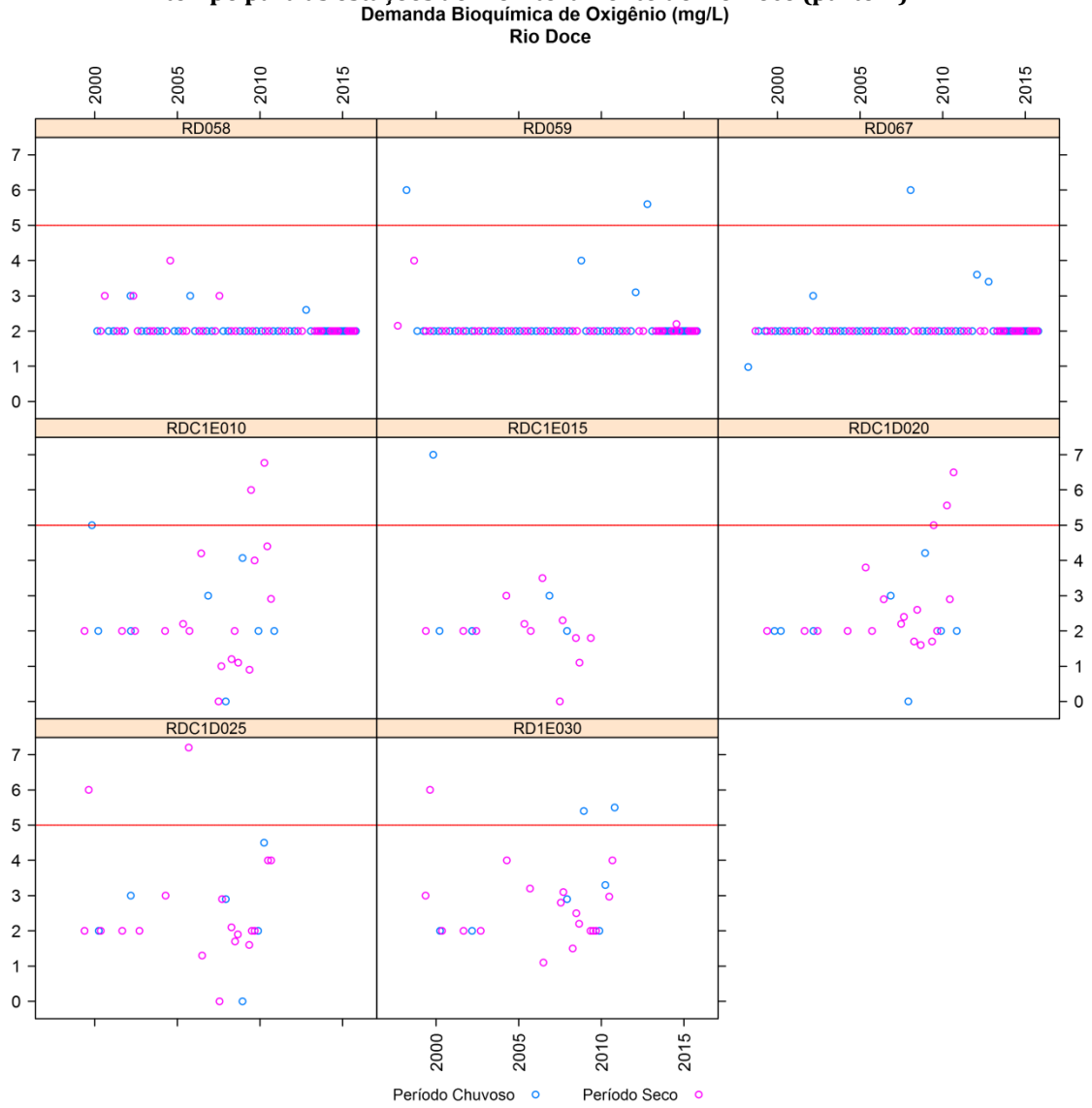
Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de DBO, distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 261 e Figura 262) e em seus afluentes (Figura 263 e Figura 264), de montante para jusante.

Figura 261 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).



Com relação aos dados advindos de estações do IGAM/MG no rio Doce (Figura 261), observa-se que os poucos desacordos com a Resolução CONAMA nº 357/2005 foram registrados somente no período chuvoso. Tal situação relaciona-se à lavagem do solo em períodos de chuva, que contribui para o carreamento de matéria orgânica para os corpos hídricos. A maior parte das observações registrou concentrações de 2,0 mg/L, que é o limite de quantificação do método de análise. Para as estações do IEMA/ES (Figura 262), os dados apresentaram maior dispersão ao longo do tempo, sem tendência temporal observável. O valor de mediana da DBO ficou em torno de 2,0 mg/L, considerando as cinco estações de monitoramento. Convém destacar que o monitoramento da DBO foi encerrado no final do ano de 2010, na porção capixaba.

Figura 262 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



No caso dos tributários do rio Doce na porção mineira (Figura 263), dos quatro desacordos observados, três foram registrados também no período chuvoso. Ressalta-se que o número de desacordos foi pequeno em função do número de observações realizadas e que a maior parte dos registros esteve perto de 2,0 mg/L, que é o limite de quantificação do método. Para as estações do IEMA/ES (Figura 264), os dados apresentaram maior dispersão ao longo do tempo, sem tendência temporal observável, assim como observado para o rio Doce, na porção capixaba. O valor de mediana da DBO para os afluentes também ficou em torno de 2,0 mg/L.

Figura 263 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I).

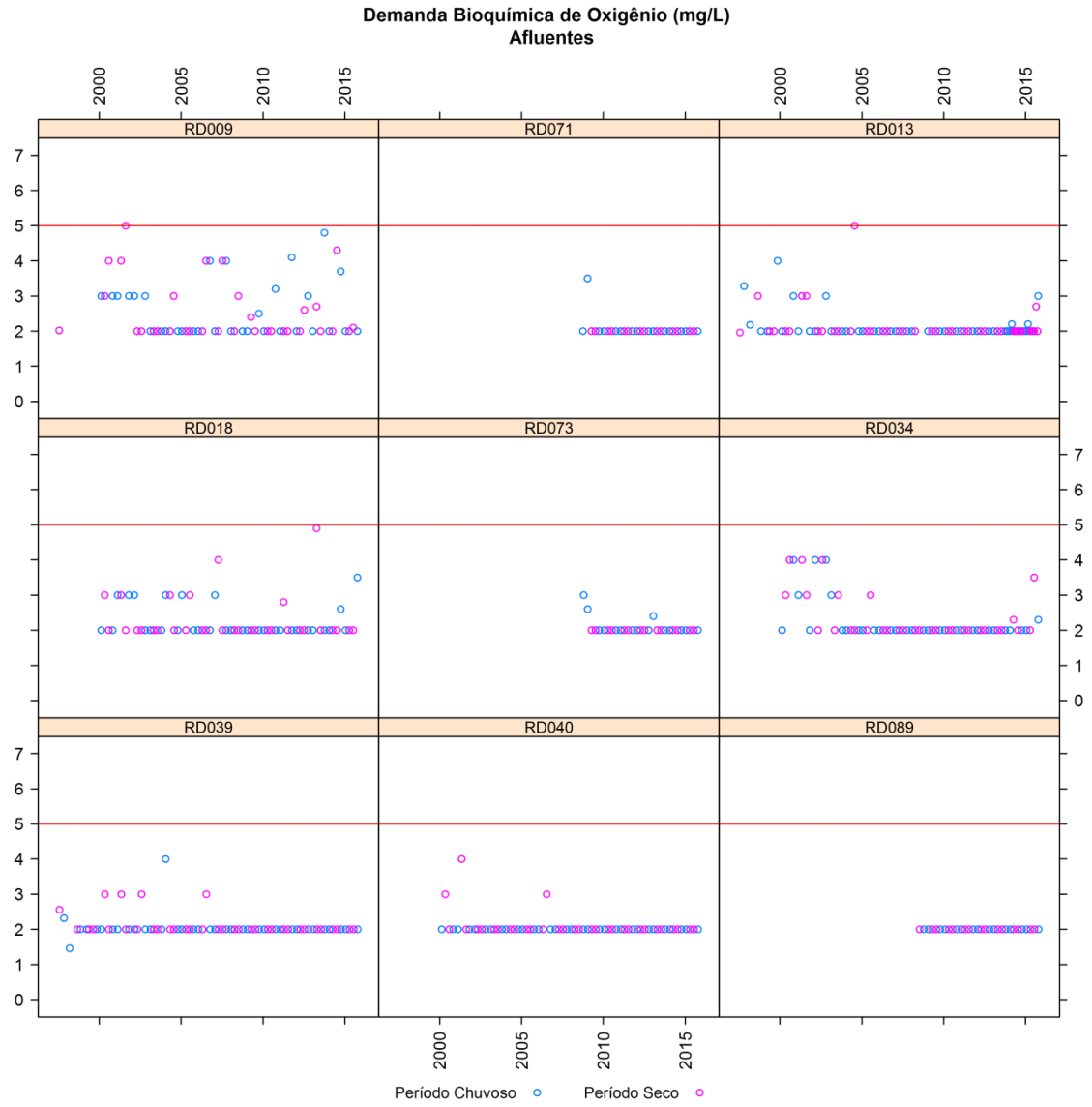
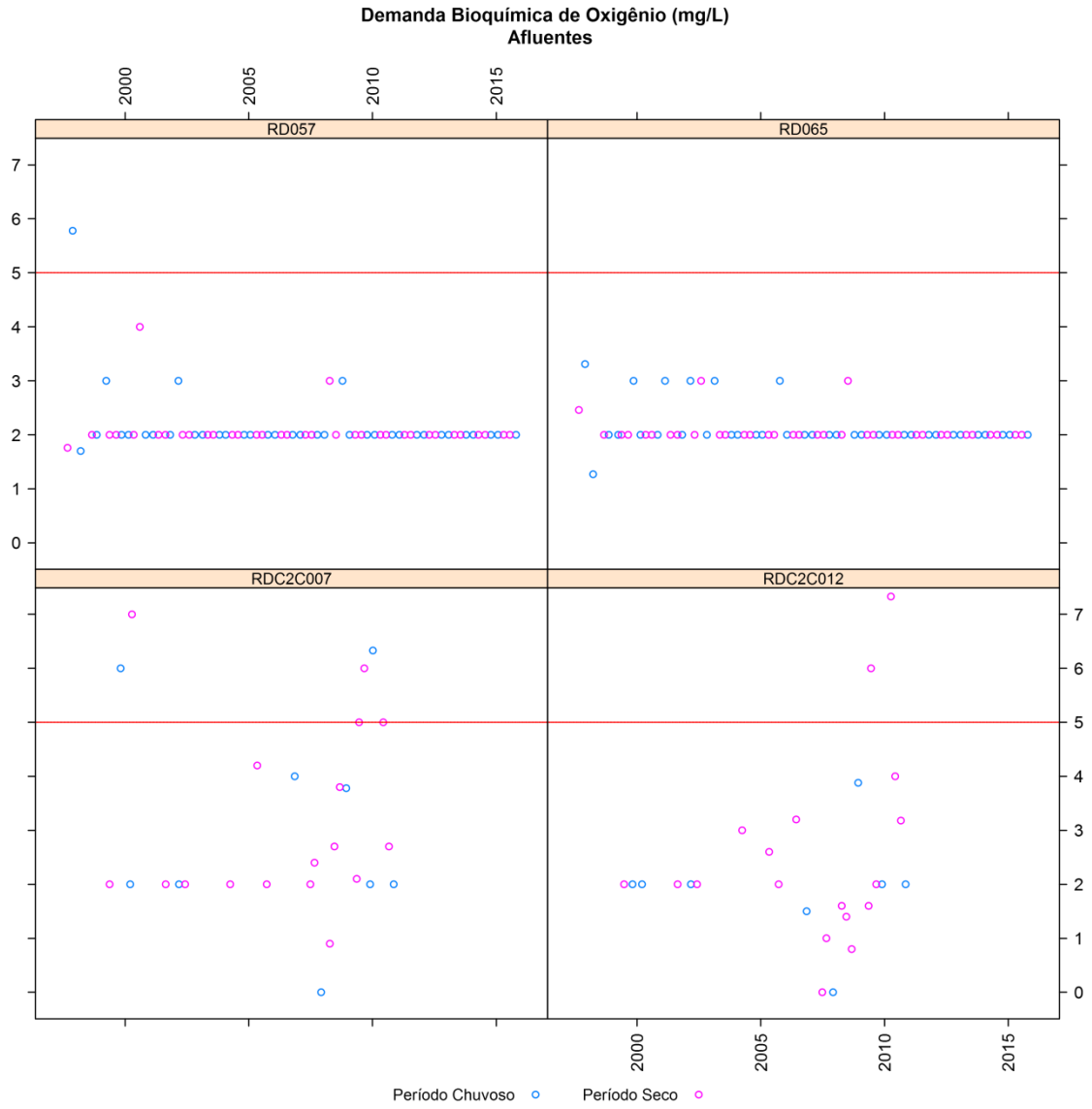


Figura 264 – Gráficos de dispersão dos dados de demanda bioquímica de oxigênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.9.7 Dureza total

A fonte principal de dureza nas águas é a dissolução da rocha calcária pelo gás carbônico da água, normalmente relacionada à passagem da água pelo solo. Essa característica da água relaciona-se à sua capacidade de precipitar sabão, em função, principalmente, da presença de cátions como cálcio e magnésio, além de outros cátions, como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio, hidrogênio, associados a ânions carbonato e sulfato. São quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio (CETESB, 2016).

Segundo Piveli e Kato (2005), os graus de dureza da água a classificam como: branda (0 a 75 mg $CaCO_3$/L); moderadamente dura (75 a 150 mg $CaCO_3$/L); dura (150 a 300 mg $CaCO_3$/L) e muito dura (> 300 mg $CaCO_3$/L).

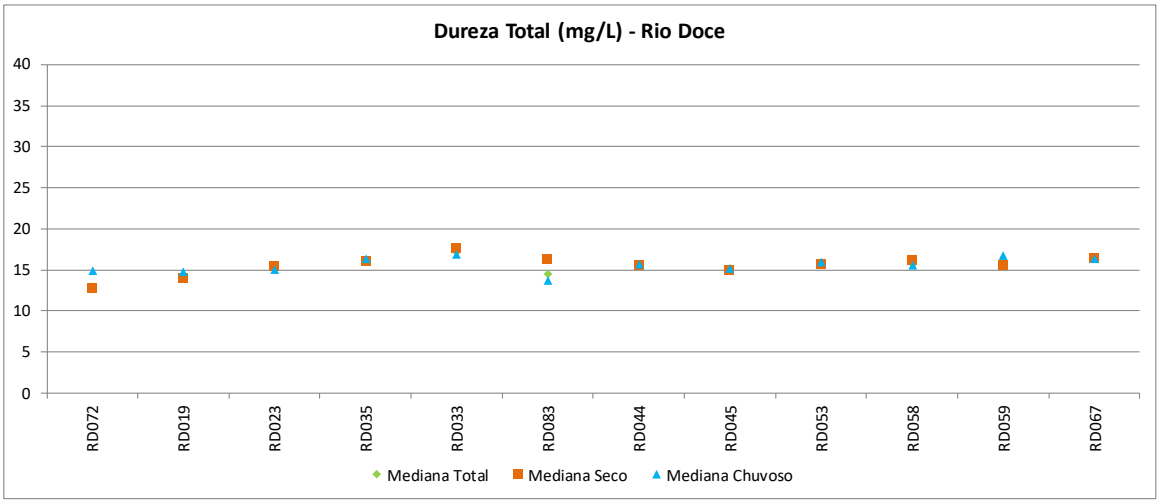
Esse parâmetro não apresenta limite legislado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e, dessa forma, não foram calculados percentuais de desacordos. Como valor de referência, pode ser citado o Valor Máximo Permitido (VMP) de 500 mg/L, indicado na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, que dispõe sobre padrões de potabilidade.

Os resultados aqui apresentados referem-se somente às estações de monitoramento do IGAM.

Avaliação espacial

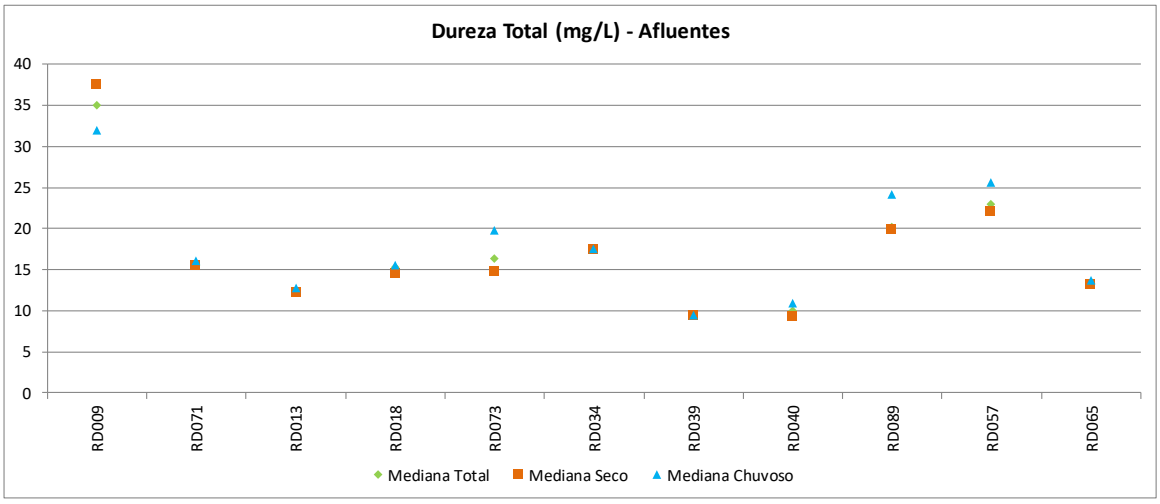
A Figura 265 ilustra o comportamento dos valores medianos de dureza total para os períodos seco, chuvoso e total, nas estações de monitoramento do rio Doce. Observou-se que os valores medianos, independentemente do período analisado, ficaram ao redor de 15 mg/L (variando entre 12,7 mg/L e 17,6 mg/L), classificando a partir dessa medida as águas avaliadas como águas brandas.

Figura 265 – Medianas dos valores de dureza total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



A Figura 266 ilustra o comportamento dos valores medianos de dureza total para os períodos seco, chuvoso e total, nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce. Valor mediano mais elevado foi registrado na estação RD009, localizada no rio do Carmo, no município de Mariana. Nessa estação, a mediana mais elevada foi a do período seco (37,7 mg/L). Valores medianos mais elevados para o período chuvoso destacaram-se nas estações RD089 (rio Suaçuí Grande, em Governador Valadares) e RD057 (rio Caratinga, em Conselheiro Pena). Nas demais estações, os valores medianos variaram entre 9,5 mg/L e 25,7 mg/L. Mesmo com essas variações, as águas dos afluentes do rio Doce, quando avaliadas em valores medianos de dureza, também puderam ser classificadas como águas brandas.

Figura 266 – Medianas dos valores de dureza total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de dureza total, distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 267) e em seus afluentes (Figura 268), de montante para jusante.

Nas estações de monitoramento do rio Doce, os valores de dureza apresentaram ampla dispersão, variando entre 9,6 mg/L e 31,2 mg/L. Esses valores caracterizam águas brandas.

Entre os tributários, a estação RD009 (rio do Carmo) apresentou dados com maior dispersão, com variação entre 21,6 mg/L e 55,5 mg/L, bem como os valores mais elevados do monitoramento. Nas demais estações, houve pouca variação de valores, com concentrações variando entre 5,0 mg/L e 34,5 mg/L. Esses valores também indicam águas brandas.

Não foi observada sazonalidade definida quanto a esse parâmetro, tanto para os tributários quanto para as estações do rio Doce.

Figura 267 – Gráficos de dispersão dos dados de dureza total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

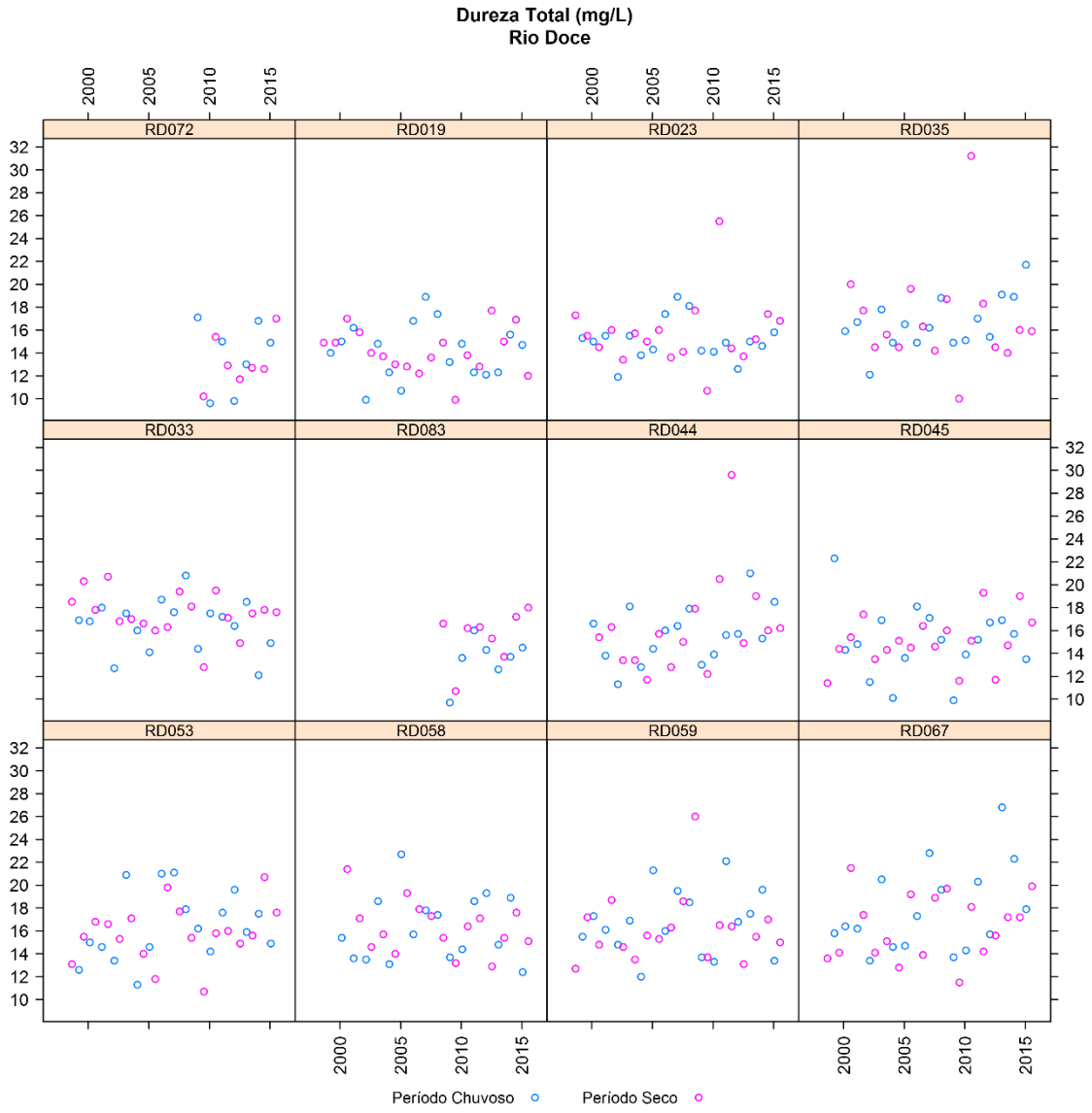
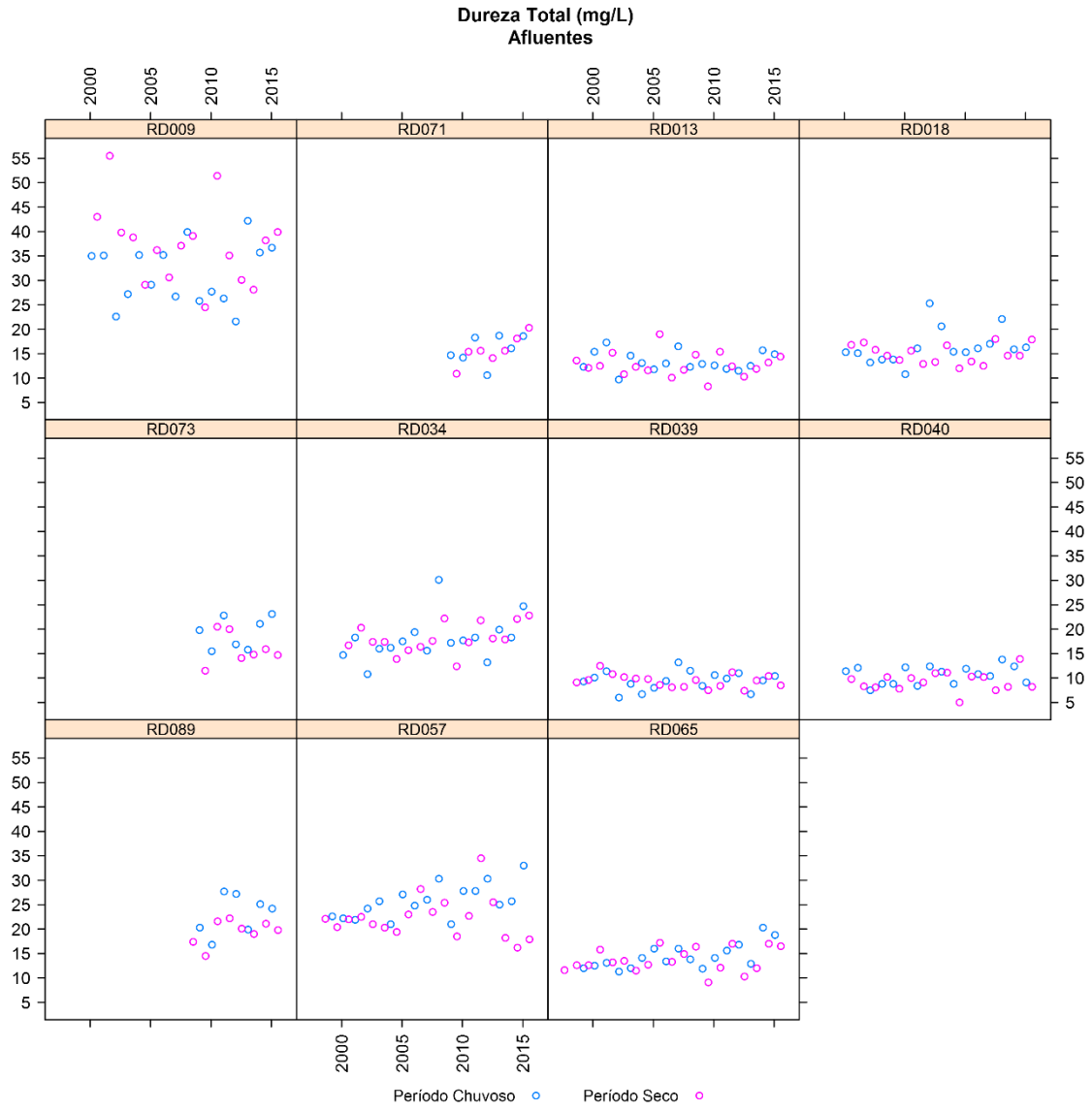


Figura 268 – Gráficos de dispersão dos dados de dureza total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.8 Fenóis totais

Segundo Piveli e Kato (2005), em águas naturais, a ocorrência de fenóis está normalmente relacionada a fontes antrópicas, como descargas de efluentes industriais. A relevância no estudo desse parâmetro baseia-se no fato de que os fenóis são tóxicos ao homem, bem como à biota e à microbiota aquática. Este é um dos motivos pelos quais, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração máxima permitida dessa substância em águas não tratadas é extremamente restritiva (inferior a 0,003 mg/L). No caso de águas tratadas, os fenóis podem ligar-se ao cloro livre, formando clorofenóis, substâncias que, além de tóxicas, conferem sabor e odor à água.

Destaca-se que, no período pré-desastre, essa variável foi avaliada somente pelo IGAM, no estado de Minas Gerais.

Avaliação de não conformidades

O percentual de desacordos para o parâmetro fenóis totais foi relativamente baixo (**Tabela 103**). O maior percentual de desacordos foi observado na estação RD072, localizada no rio Doce, no município de Santa Cruz do Escalvado. Mesmo com o maior percentual de desacordos (14%), não foram registradas diferenças de valores entre os percentuais de desacordos para os períodos seco, chuvoso e total. Nas demais estações de monitoramento do rio Doce, o parâmetro fenóis totais ou não apresentou desacordos (0%) ou apresentou desacordos em relação à Resolução CONAMA nº 357/2005, variando entre 1% e 9%.

Tabela 103 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fenóis totais no rio Doce.

Rio Doce							
Fenóis Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	14	14%	7	14%	7	14%
	RD019	68	3%	34	3%	34	3%
	RD023	67	1%	34	3%	33	0%
	RD035	55	2%	27	4%	28	0%
	RD033	69	6%	34	3%	35	9%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	3%	16	0%	16	6%
	RD045	36	3%	18	0%	18	6%
	RD053	35	0%	18	0%	17	0%
	RD058	41	2%	20	0%	21	5%
	RD059	36	3%	18	6%	18	0%
	RD067	45	0%	22	0%	23	0%

Nota: n: número de observações.

Mesma situação se observa na avaliação dos resultados de desacordos das estações de monitoramento instaladas em afluentes do rio Doce, no estado de Minas Gerais. Maior percentual de desacordos (11%) foi registrado no período chuvoso, na estação RD057, no rio Caratinga, no município de Conselheiro Pena. Nas demais, ou não foram registrados desacordos (0%) ou estes variaram entre 2% e 9% (Tabela 104).

Tabela 104 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fenóis totais em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Fenóis Totais							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	63	2%	32	3%	31	0%
	RD071	29	3%	14	0%	15	7%
	RD013	50	0%	25	0%	25	0%
	RD018	62	0%	31	0%	31	0%
	RD073	14	0%	7	0%	7	0%
	RD034	46	7%	23	4%	23	9%
	RD039	72	4%	36	3%	36	6%
	RD040	32	3%	16	0%	16	6%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	36	6%	18	0%	18	11%
	RD065	68	4%	34	3%	34	6%

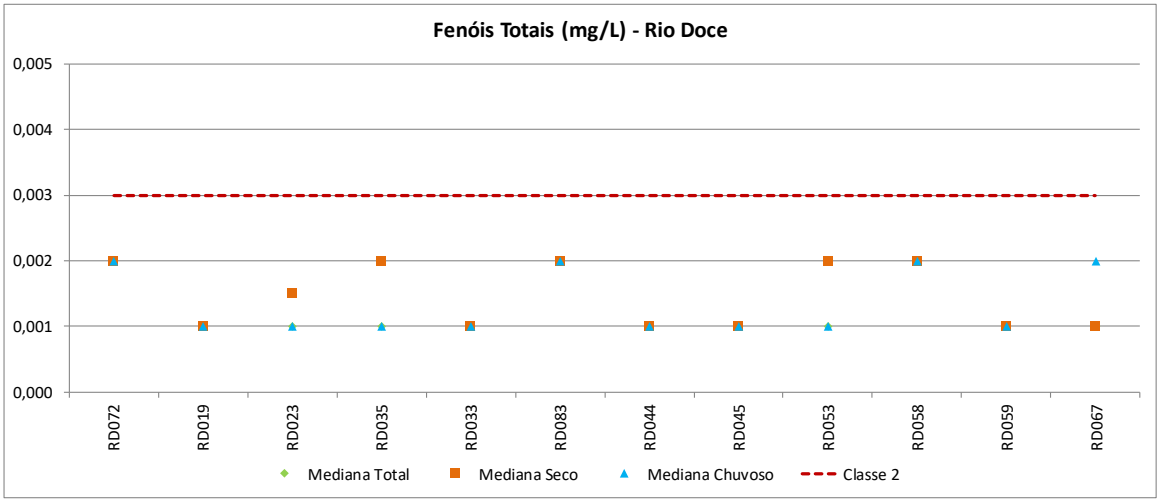
Nota: n: número de observações.

Avaliação temporal

A Figura 269 ilustra o comportamento dos valores medianos de fenóis totais para os períodos seco, chuvoso e total, nas estações de monitoramento do rio Doce. De forma geral, observaram-se valores mais elevados de fenóis no período seco nas estações RD023, RD035 e RD053. Na estação RD067, o valor mediano do período de chuva destacou-se em relação aos demais períodos avaliados. Nas demais estações não houve diferença entre os valores registrados nos três diferentes períodos analisados.

Os valores medianos encontram-se todos abaixo do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2, como o rio Doce.

Figura 269 – Medianas dos valores de fenóis totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

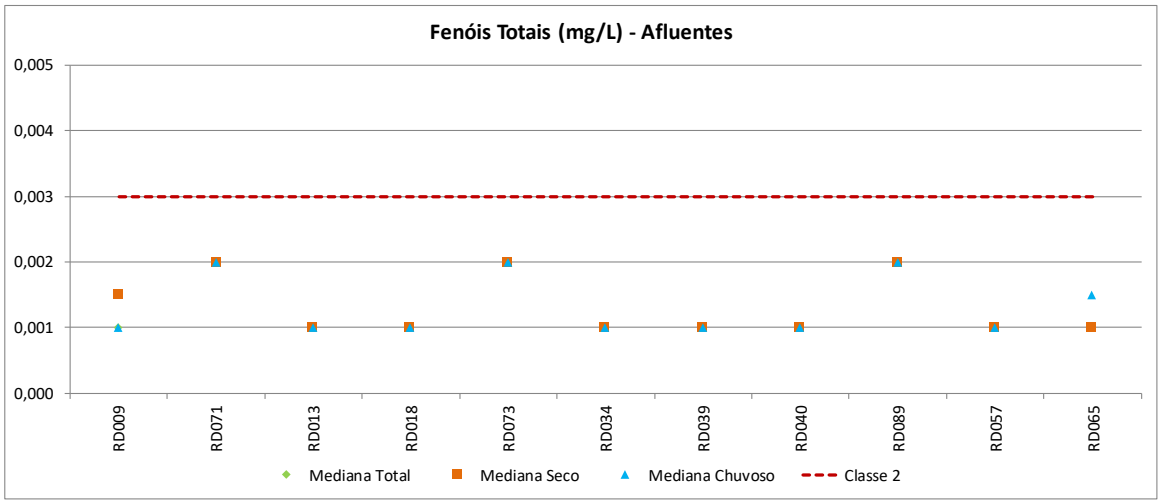


A Figura 270 ilustra o comportamento dos valores medianos de fenóis totais para os períodos seco, chuvoso e total, nas estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce. Com relação às diferenças sazonais, na maior parte das estações avaliadas, os valores medianos

não se alteraram entre os períodos analisados, com exceção da estação RD009 (rio do Carmo), em que o valor mais elevado foi o do período seco, e da estação RD065 (rio Manhuaçu), em que o valor mediano mais elevado foi o de período chuvoso.

Assim como nas estações de monitoramento do rio Doce, nos afluentes, os valores medianos estiveram abaixo do limite máximo indicado na Resolução CONAMA nº 357/2005.

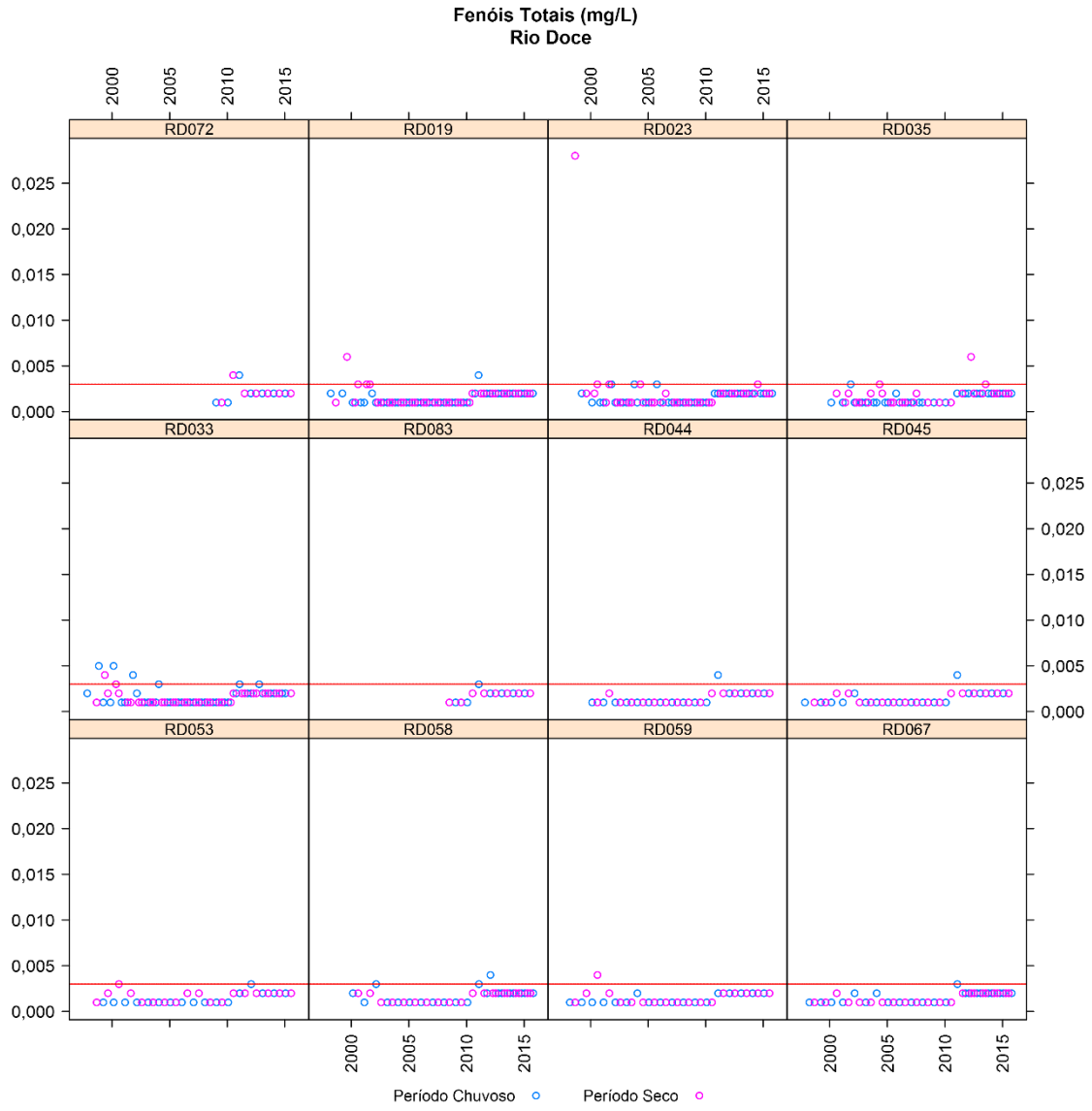
Figura 270 – Medianas dos valores de fenóis totais para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação espacial

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de fenóis totais, distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 271) e em seus afluentes (Figura 272), de montante para jusante.

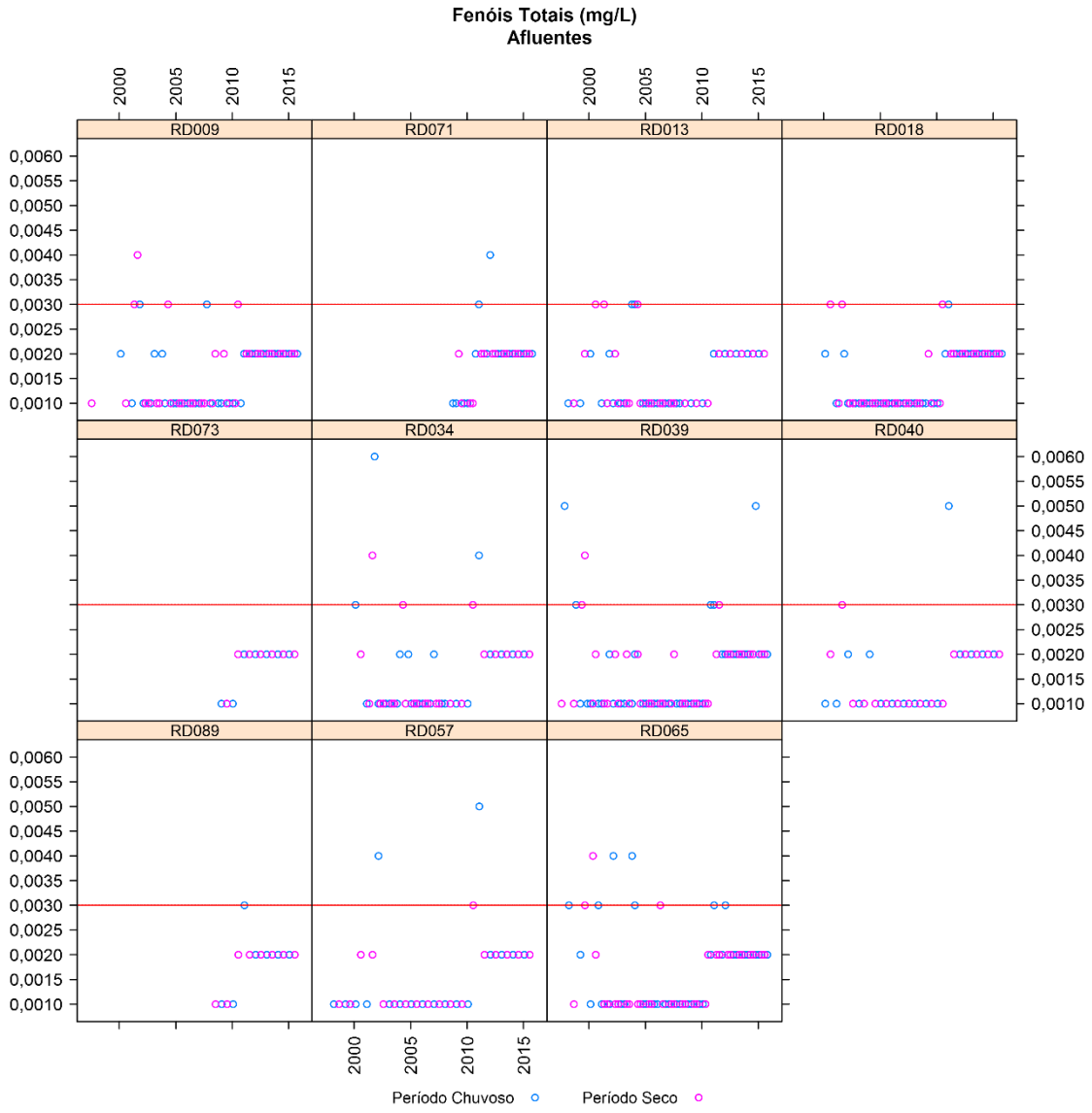
Figura 271 – Gráficos de dispersão dos dados de fenóis totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Com relação aos resultados obtidos para estações locadas no rio Doce (Figura 271), a maior parte destes representou valores em conformidade com a legislação. Ainda assim, observaram-se poucos desacordos com o limite legislado (0,003 mg/L). Destaca-se o valor de 0,028 mg/L registrado na estação RD023, localizada entre os municípios de Marliéria e Pingo-d'Água. Esse valor representa uma concentração aproximadamente dez vezes superior ao limite legislado. Nas demais estações, poucos desacordos foram observados, sem definição sazonal para sua ocorrência.

Para os afluentes (Figura 272), desacordos também foram observados em algumas estações, sendo o valor máximo registrado na estação RD034, no rio Piracicaba, quando a concentração registrada foi de 0,006 mg/L, o dobro do limite legislado. Nas demais estações, os valores variaram entre 0,001 mg/L e 0,005 mg/L. A maior parte dos resultados representa valores conformes, sendo que a sazonalidade também não foi definida para esse parâmetro.

Figura 272 – Gráficos de dispersão dos dados de fenóis totais ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.9 Fósforo total

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte (15,5% de P_2O_5), além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas e químicas, em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais, por conta da aplicação de fertilizante no solo (PIVELI; KATO, 2005).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de fósforo total de até 0,1 mg/L. Nesse contexto, foram avaliadas as séries históricas de dados do IGAM/MG e do IEMA/ES no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 105) e seus afluentes (Tabela 106).

Para as estações no rio Doce (Tabela 105), observou-se aumento dos percentuais de desacordo no período chuvoso, de modo geral. Nas estações localizadas na porção mineira, os percentuais de desacordo não passaram de 16% no período seco. Quando considerado o período chuvoso, quatro estações passaram a ter percentuais de desacordo superior a 20%: RD023 (entre os municípios de Marliéria e Pingo-d'Água), RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), RD044 e RD045 (em Governador Valadares), variando de 24% a 31%. Na região do estado do Espírito Santo, todas as estações passaram a ter percentuais de desacordo superior a 20% no período chuvoso, variando de 50% a 75%. Ressalva-se, contudo, que para as estações na porção capixaba houve poucos eventos monitorados no período chuvoso.

Tabela 105 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fósforo total no rio Doce.

Rio Doce							
Fósforo Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	13%	25	16%	23	9%
	RD019	91	11%	47	6%	44	16%
	RD023	92	17%	47	6%	45	29%
	RD035	85	16%	44	16%	41	17%
	RD033	91	20%	46	9%	45	31%
	RD083	49	2%	26	0%	23	4%
	RD044	83	14%	43	5%	40	25%
	RD045	91	14%	46	4%	45	24%
	RD053	90	14%	46	11%	44	18%
	RD058	83	10%	43	5%	40	15%
	RD059	91	9%	46	4%	45	13%
	RD067	90	9%	46	2%	44	16%
ES	RDC1E010	27	30%	19	21%	8	50%
	RDC1E015	19	32%	13	15%	6	67%
	RDC1D020	27	33%	19	16%	8	75%
	RDC1D025	25	28%	18	11%	7	71%
	RDC1E030	25	24%	18	11%	7	57%

Nota: n: número de observações.

Para as estações localizadas nos afluentes do rio Doce (Tabela 106), também se observou um aumento do número de desacordos no período chuvoso em relação ao período seco, de modo geral. Algumas estações, contudo, já apresentavam desacordos mais relevantes mesmo no período seco: RD009 (rio Carmo), RD018 (rio Piranga), RDC2C007 (rio Guandu), RDC2C012 (rio Santa Joana), com percentuais de desacordo variando de 26% a 36%.

Tabela 106 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para fósforo total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Fósforo Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	38%	33	36%	33	39%
	RD071	29	10%	14	14%	15	7%
	RD013	88	19%	43	14%	45	24%
	RD018	64	41%	32	41%	32	41%
	RD073	29	10%	14	7%	15	13%
	RD034	64	8%	32	6%	32	9%
	RD039	72	7%	35	3%	37	11%
	RD040	64	8%	32	6%	32	9%
	RD089	30	10%	15	7%	15	13%
	RD057	72	14%	35	0%	37	27%
	RD065	72	11%	35	0%	37	22%
ES	RDC2C007	27	41%	18	28%	9	67%
	RDC2C012	27	30%	19	26%	8	38%

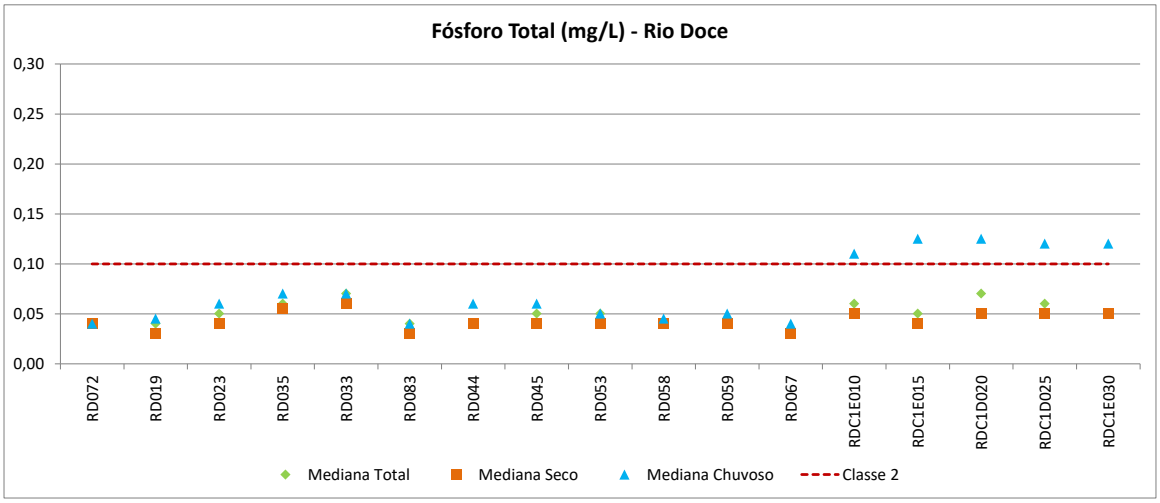
Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 273 e a Figura 274 apresentam os valores de mediana de fósforo total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Para a maioria das estações, observaram-se valores de mediana relativos ao período chuvoso superiores aquelas do período seco. Nas estações do IGAM/MG, a diferença foi menos evidente do que a observada para as estações do IEMA/ES. Contudo, o número de observações no período chuvoso para essas estações do IEMA/ES foi inferior à metade do número de eventos no período seco, o que pode ter influenciado o resultado.

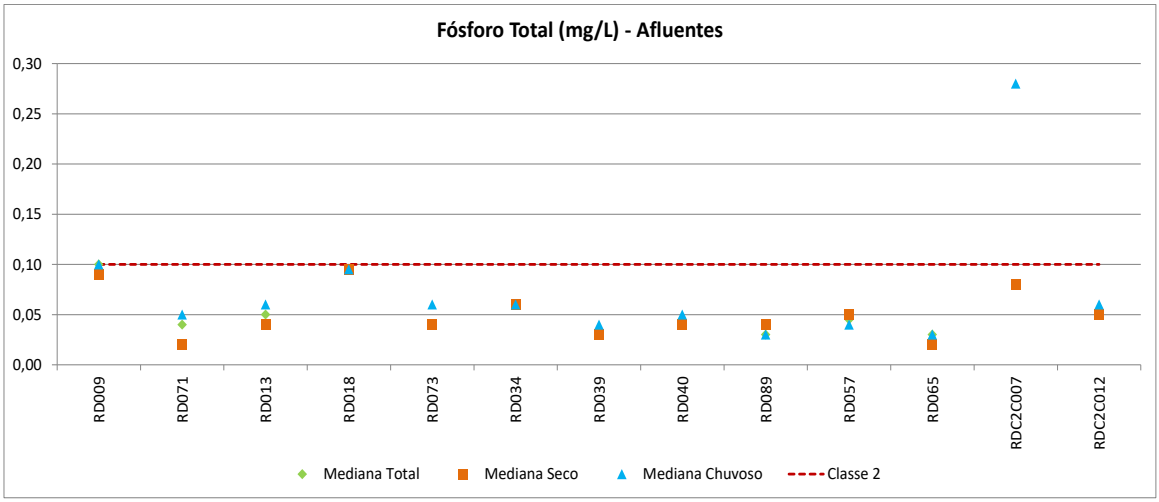
Considerando as medianas do período total, observou-se incremento de valores até a estação RD033, a jusante de Ipatinga (MG). Na estação RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho (MG) e Periquito (MG), pouco populosos, houve uma redução na concentração de fósforo total. Os valores aumentaram novamente a partir disso. Exceção se fez na estação RD067, entre os municípios de Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES), onde novamente observou-se redução de valores.

Figura 273 – Medianas dos valores de fósforo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Nos afluentes (Figura 274), uma maior variação foi observada entre as estações de monitoramento. Em relação aos valores de mediana do período total, observaram-se concentrações mais elevadas nas estações RD009 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca) e RDC2007 (rio Guandu), enquanto nas estações RD039 (rio Santo Antônio) e RD065 (rio Manhuaçu), registraram-se os menores valores.

Figura 274 – Medianas dos valores de fósforo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de fósforo total distribuídos ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 275) e parte II (Figura 276).

De modo geral, os dados apresentam-se bastante dispersos, sem tendências de comportamento observáveis. Os desacordos não se restringem a períodos únicos, mas sim

ocorrem em diversos momentos do período monitorado, em especial no período chuvoso. Para a estação RD083, que teve seu monitoramento iniciado mais tardiamente, no ano de 2008, registrou-se um único desacordo no período avaliado. Para algumas estações, foram observadas concentrações mais elevadas, em algum momento: na RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata), na RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), na RD045 (em Governador Valadares), na RD053 (entre os municípios de Galileia e Tumiritinga), na RD059 (em Resplendor), na RD067 (entre os municípios de Aimorés/MG e Baixo Guandu/ES), e nas estações localizadas no Espírito Santo, nos municípios de Colatina e Linhares, com exceção da estação situada mais a jusante.

Figura 275 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).

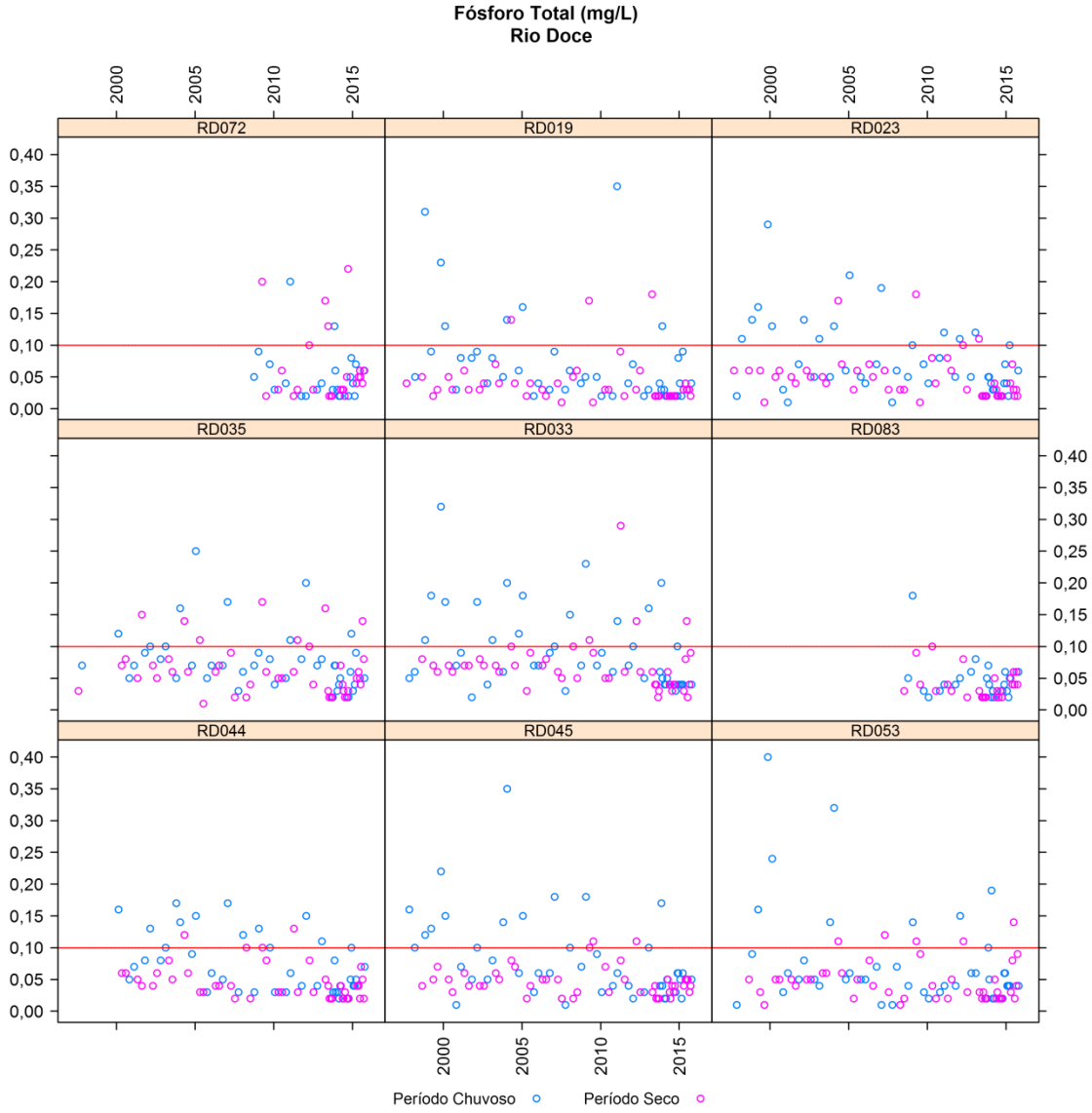
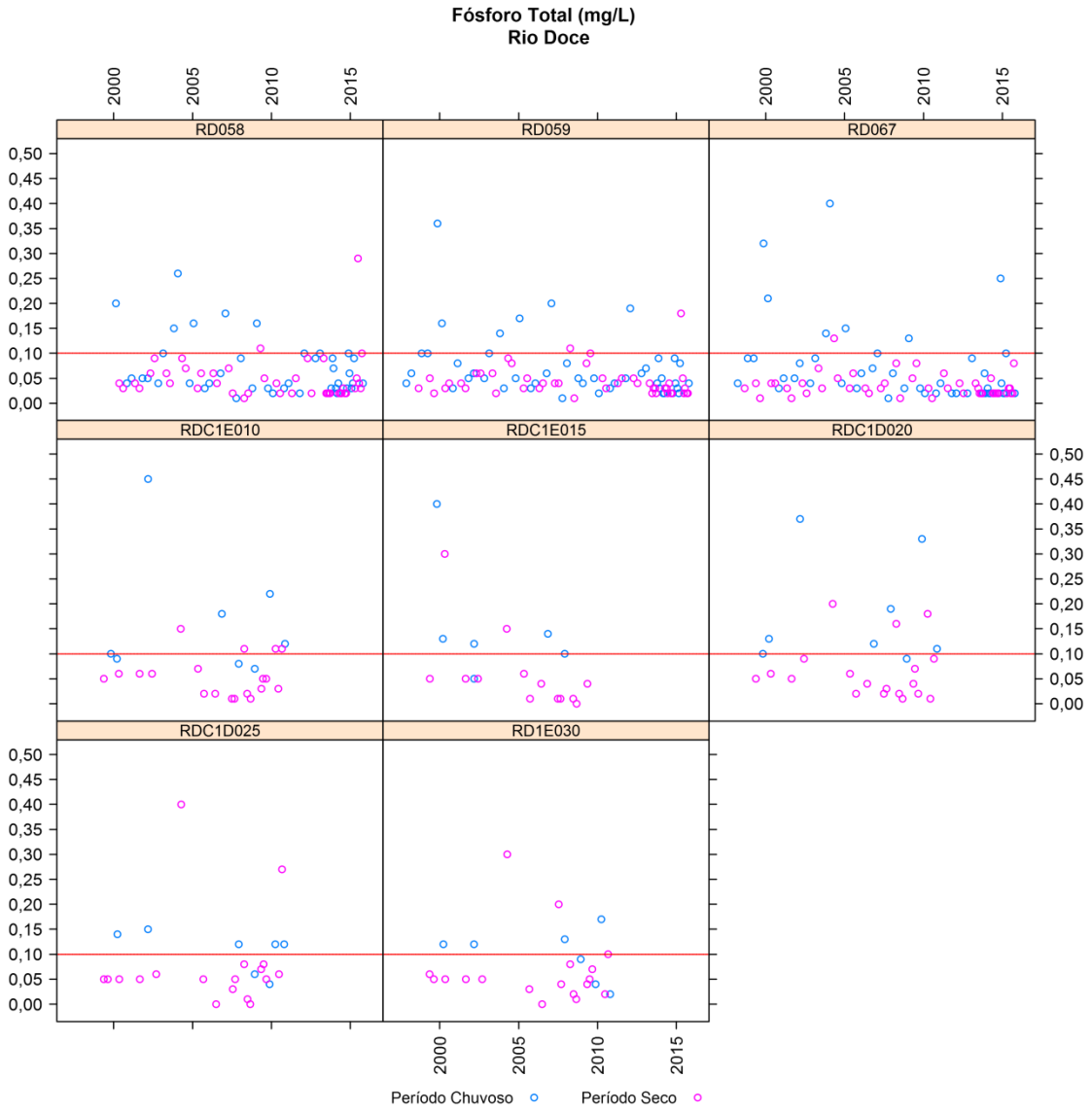


Figura 276 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



Para as estações localizadas em afluentes do rio Doce (Figura 277 e Figura 278), os desacordos também não ocorreram em momentos específicos do monitoramento. Considerando o valor médio e de mediana das concentrações, as estações RD009 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca) e RDC2C007 (rio Guandu) foram as que apresentaram os valores mais elevados. Concentrações superiores a quatro vezes o limite legislado foram observadas nas estações RD013 (rio Piranga), RD018 (rio Casca), RD039 (rio Santo Antônio), RD057 (rio Caratinga), RD065 (rio Manhuaçu), RDC2007 (rio Guandu) e RDC2012 (rio Santa Joana). Nesta última, registrou-se concentração superior a 10 mg/L (100 vezes o limite legislado), contudo, as demais variáveis avaliadas na mesma campanha apresentaram valores normais. Dessa forma, tal resultado deve ser analisado com reserva.

Figura 277 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I).

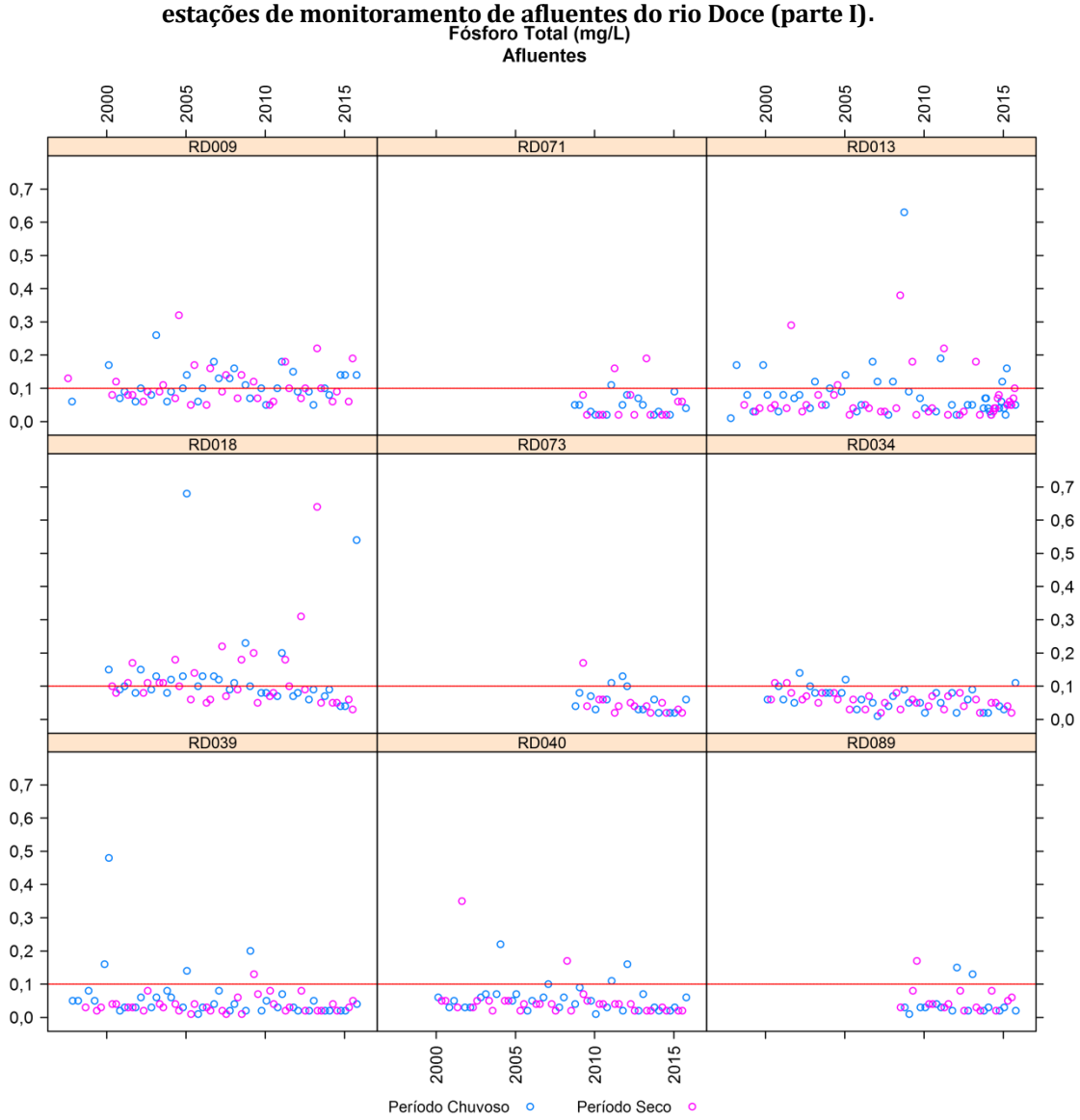
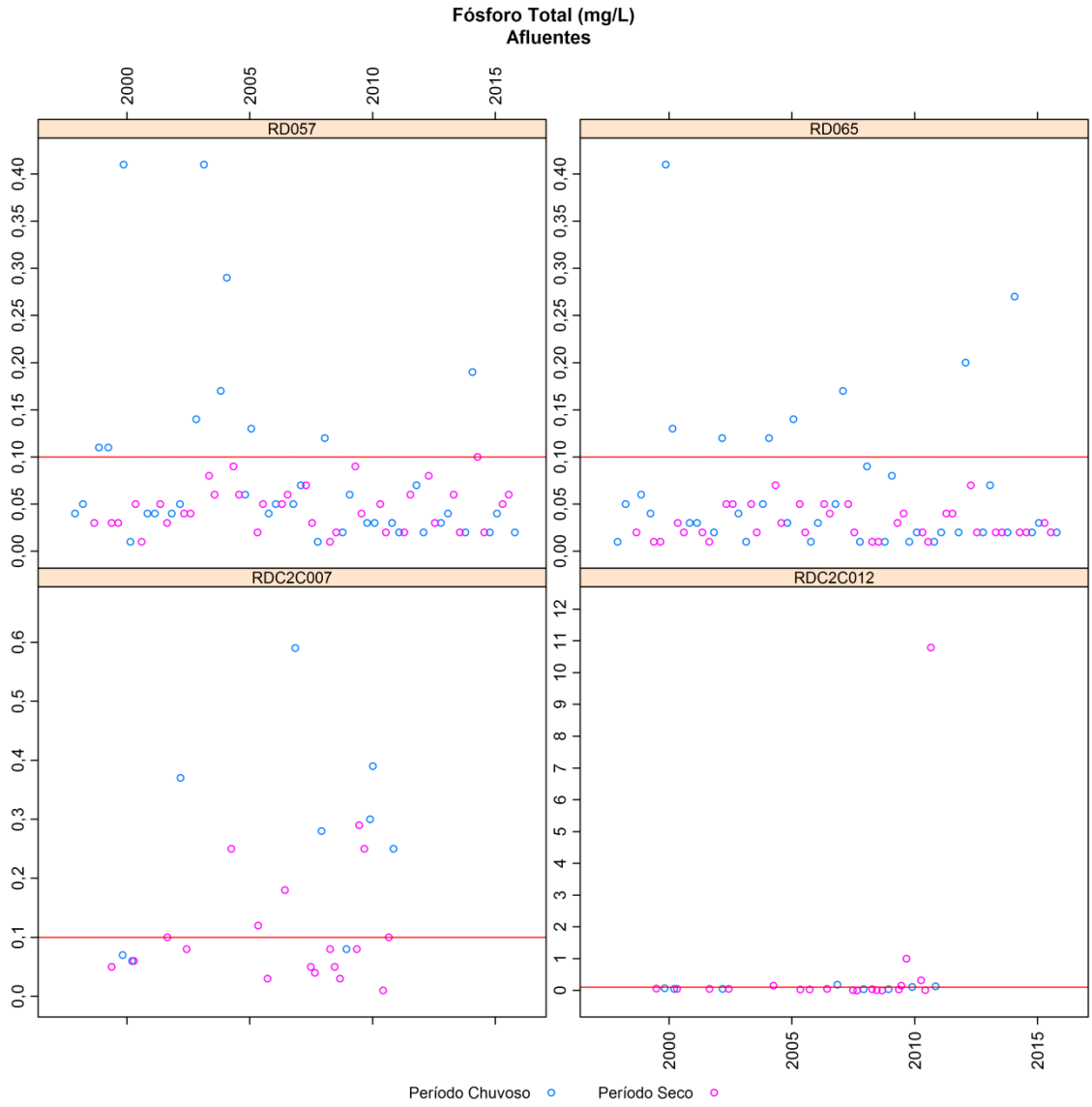


Figura 278 – Gráficos de dispersão dos dados de fósforo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.9.10 Nitrogênio total

De acordo com Esteves (1998), o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, em especial pela sua participação na formação de proteínas. Assim como o fósforo, pode atuar como fator limitante à produtividade do ecossistema. Ainda, de acordo com o autor supracitado, fontes de nitrogênio às águas continentais são: a chuva, o material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular no próprio lago. Segundo ANA (2017), as fontes antrópicas de aporte de nitrogênio ao corpo de água são variadas. As principais seriam os esgotos sanitários, os efluentes industriais e também o escoamento da água da chuva após a passagem por áreas agricultadas adubadas com fertilizantes nitrogenados.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas doces de Classes 1 e 2, quando o nitrogênio for o fator limitante para a eutrofização, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 2,18 mg/L para ambientes lóticos.

Uma vez que o fósforo e o nitrogênio são fixados pelo fitoplâncton, a uma taxa de produção de biomassa de 7,2:1, pode-se calcular a relação N:P para determinar qual é o nutriente limitante, conforme segue (JORGENSEN; VOLLENWEIDER, 1989):

a) relação N:P > 12, o fósforo é o nutriente limitante;
b) relação N:P 7 - 12, nenhum dos nutrientes é considerado como o fator limitante;
c) relação N:P < 7, o nitrogênio é o nutriente potencialmente limitante.

Sendo um dos elementos mais abundantes na atmosfera terrestre, o nitrogênio pode ser encontrado na forma molecular (N_2) e em outras formas no ambiente aquático, em função de seu estado de oxidação (formas inorgânicas: nitrito, nitrato e amônio), além das formas orgânicas (LIBÂNIO, 2005).

Formas orgânicas de nitrogênio estão presentes, por exemplo, na ureia, em aminoácidos e em peptídeos. Fontes naturais de nitrogênio orgânico em ambientes aquáticos são a lise celular e a decomposição do fitoplâncton e macrófitas aquáticas (ESTEVES, 2011). Fontes antrópicas relacionam-se especialmente a esgotos sanitários, ricos em ureia e proteínas (PIVELI; KATO, 2005).

Das formas inorgânicas, o nitrato tem origem, em maior parte, em fontes orgânicas (como descargas de esgotos) e inorgânicas (como fertilizantes artificiais), a primeira incluindo as descargas de resíduos e a segunda compreendendo (EPA, 2001). Já o nitrito representa uma fase intermediária entre a amônia (forma mais reduzida) e o nitrato (forma mais oxidada) (ESTEVES, 2011). O nitrogênio na forma de amônia, predominante em águas de alcalinidade elevada, é tóxico para a maioria das espécies de peixes (LIBÂNIO, 2005).

Quanto à ocorrência dessas formas de nitrogênio, em especial em rios, observa-se a presença de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas (PIVELI; KATO, 2005).

Para o nitrogênio total, foram avaliados os dados disponíveis na base do IGAM/MG e do IEMA/ES. No entanto, para os dados do IGAM/MG, os dados de nitrogênio total foram estimados pela soma das frações nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico e amoniacal, visto que a variável propriamente dita não foi avaliada por aquele Instituto. Quando os valores das frações foram inferiores ao limite de detecção do método analítico empregado em laboratório, utilizou-se o valor do próprio limite de detecção. Nesse caso, ressalta-se que pode ter ocorrido superestimação de valores.

Avaliação de não conformidades

A Tabela 107 e a Tabela 108 apresentam o número de vezes em que o nitrogênio total foi o nutriente limitante (JORGENSEN; VOLLENWEIDER, 1989) em relação ao número total de observações para cada umas das estações de monitoramento. Para as situações em que o nitrogênio total foi o fator limitante, calcularam-se, então, os percentuais de desacordo.

Nesse contexto, não foram observados desacordos para as estações de monitoramento do rio Doce (Tabela 107) e em seus afluentes (Tabela 108).

Tabela 107 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio total no rio Doce.

Rio Doce					
Nitrogênio Total					
Estações de monitoramento		**Número de observações para o período total**	**Número de vezes que o nitrogênio total foi limitante**	**Número de desacordos**	**% de desacordos**
MG	RD072	31	3	0	0%
	RD019	40	2	0	0%
	RD023	49	3	0	0%
	RD035	45	4	0	0%
	RD033	40	4	0	0%
	RD083	17	1	0	0%
	RD044	36	1	0	0%
	RD045	40	4	0	0%
	RD053	39	4	0	0%
	RD058	45	2	0	0%
	RD059	40	1	0	0%
	RD067	49	2	0	0%
ES	RDC1E010	27	1	0	0%
	RDC1E015	19	1	0	0%
	RDC1D020	27	2	0	0%
	RDC1D025	25	2	0	0%
	RDC1E030	25	1	0	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 108 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio total em afluentes do rio Doce.

Afluentes					
Nitrogênio Total					
Estações de monitoramento		**Número de observações para o período total**	**Número de vezes que o nitrogênio total foi limitante**	**Número de desacordos**	**% de desacordos**
MG	RD009	34	2	0	0%
	RD071	29	2	0	0%
	RD013	38	6	0	0%
	RD018	34	2	0	0%
	RD073	29	0	0	0%
	RD034	34	2	0	0%
	RD039	47	2	0	0%
	RD040	34	2	0	0%
	RD089	15	1	0	0%
	RD057	38	2	0	0%
	RD065	47	1	0	0%
ES	RDC2C007	27	4	0	0%
	RDC2C012	27	4	0	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 279 e a Figura 280 apresentam os valores de mediana de nitrogênio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Mesmo que o nitrogênio total não tenha sido o fator limitante na maior parte do tempo monitorado, optou-se por deixar o limite para ambientes lóticos disposto no gráfico a título de comparação.

Para as estações do rio Doce (Figura 279), considerando as medianas referentes ao período total, notou-se uma redução de concentração de nitrogênio total na estação RD019, após a UHE Risoleta Neves, voltando a aumentar a partir de então. Nas estações de montante da porção capixaba (RDC1E010 a RDC1E020), observou-se também uma diminuição de valores também. Não se observou de modo geral piora na estação chuvosa.

Para as estações situadas em afluentes do rio Doce (Figura 280), observou-se maior heterogeneidade entre elas. As estações RD009 (rio do Carmo) e RD018 (rio Casca) foram as que apresentaram maiores valores de mediana para o período total.

Figura 279 – Medianas dos valores de nitrogênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

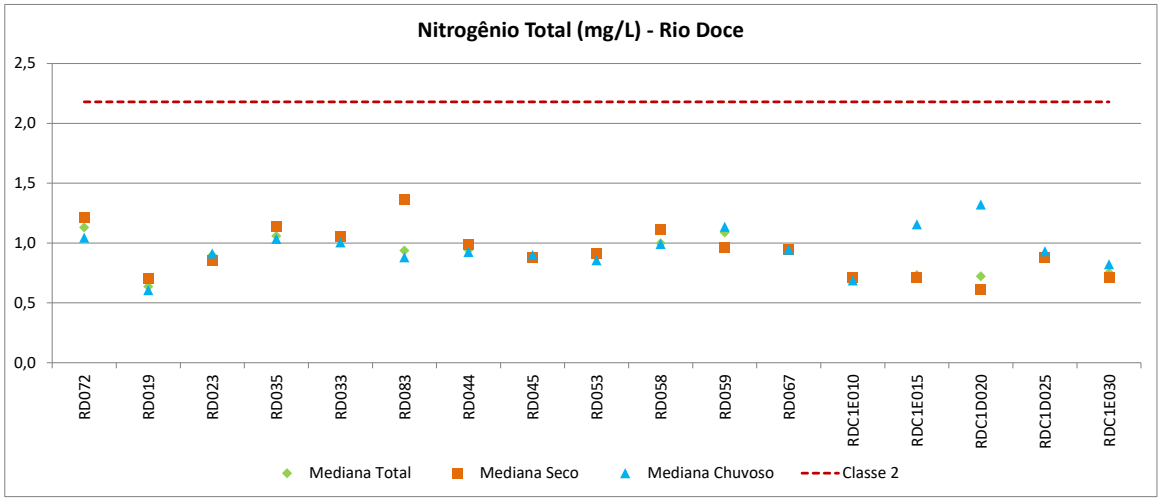
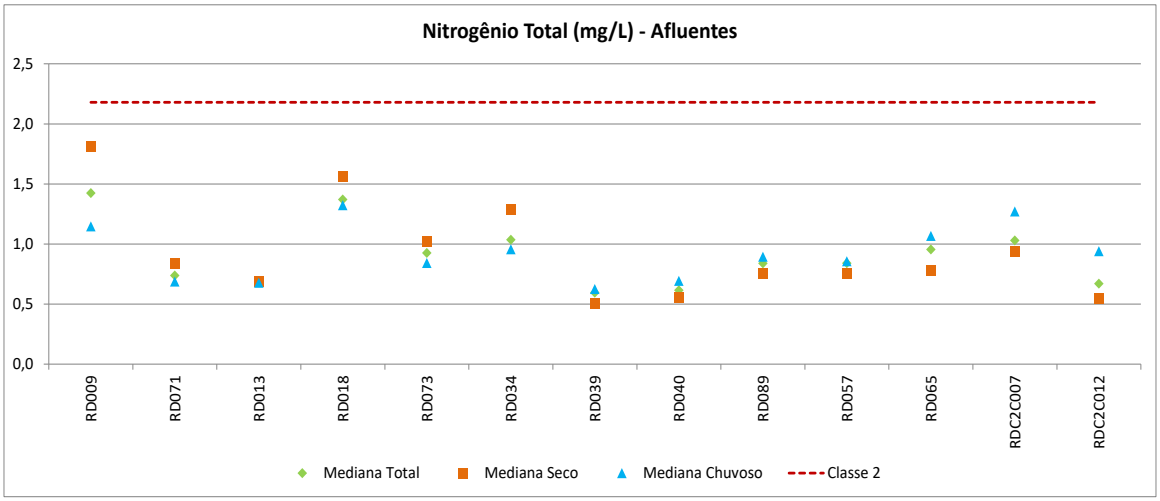


Figura 280 – Medianas dos valores de nitrogênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 281) e parte II (Figura 282).

Para as estações localizadas na região do estado de Minas Gerais (RD072 à RD067), de modo geral, a tendência foi de valores mais elevados no final da série histórica. Na porção capixaba (RDC1E010 a RDC1E030), houve maior homogeneidade de valores ao longo do tempo.

Com exceção da estação RD019 (após a UHE Risoleta Neves) e da estação RDC1E030 (estação mais a jusante no estado do Espírito Santo, no município de Linhares), que não apresentaram concentrações superiores a 1,80 mg/L, as demais apresentaram valores superiores a 2,18 mg/L, contudo, ocorreram em baixa frequência. Lembrando que o limite de 2,18 mg/L só é válido para as situações em que no nitrogênio total for o fator limitante, mas nesse caso foi utilizado a título de comparação. A média e a mediana das concentrações de nitrogênio total para todos os pontos monitorados no rio Doce foram de 1,02 mg/L e 0,90 mg/L, respectivamente.

Figura 281 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).

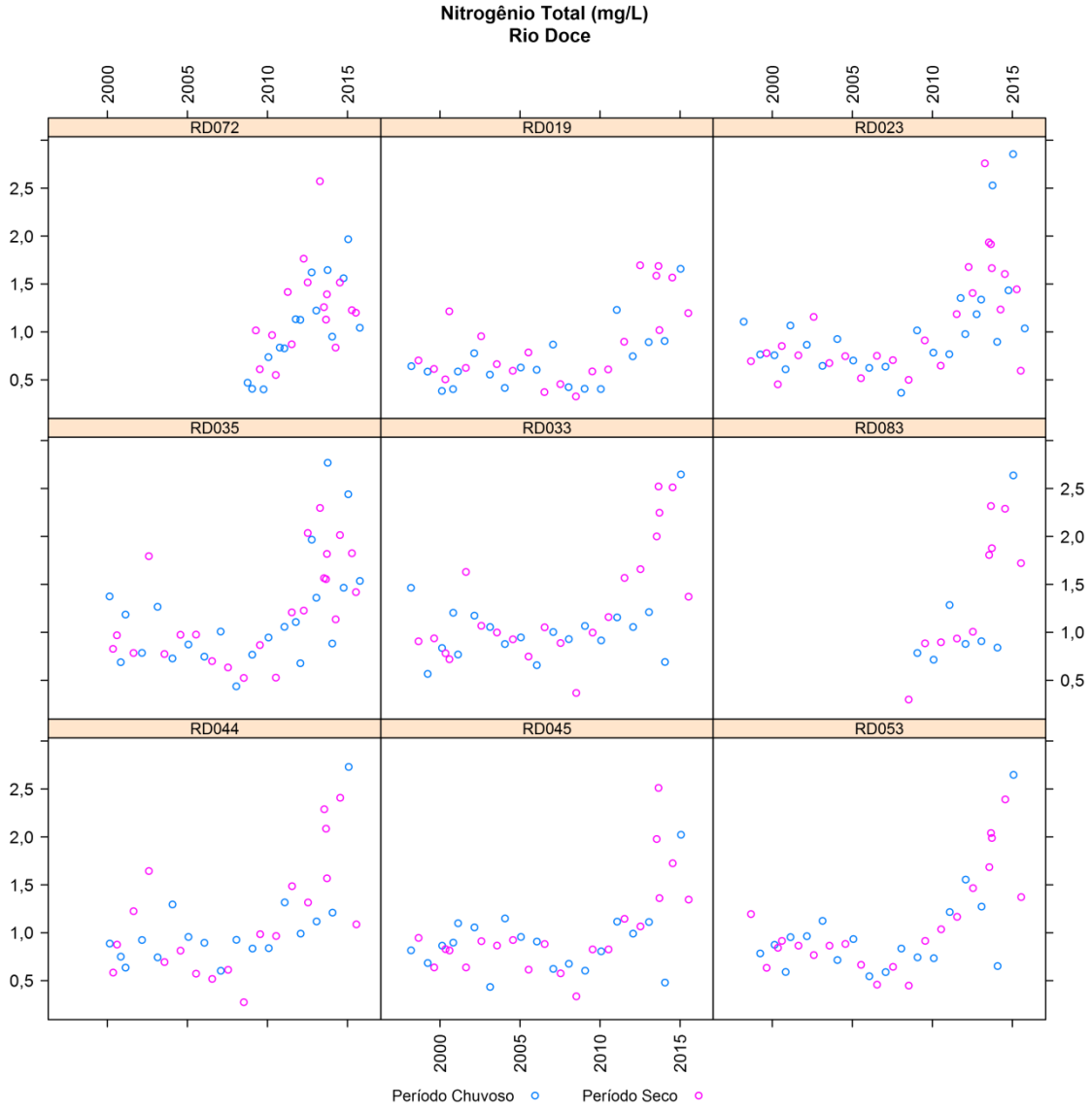
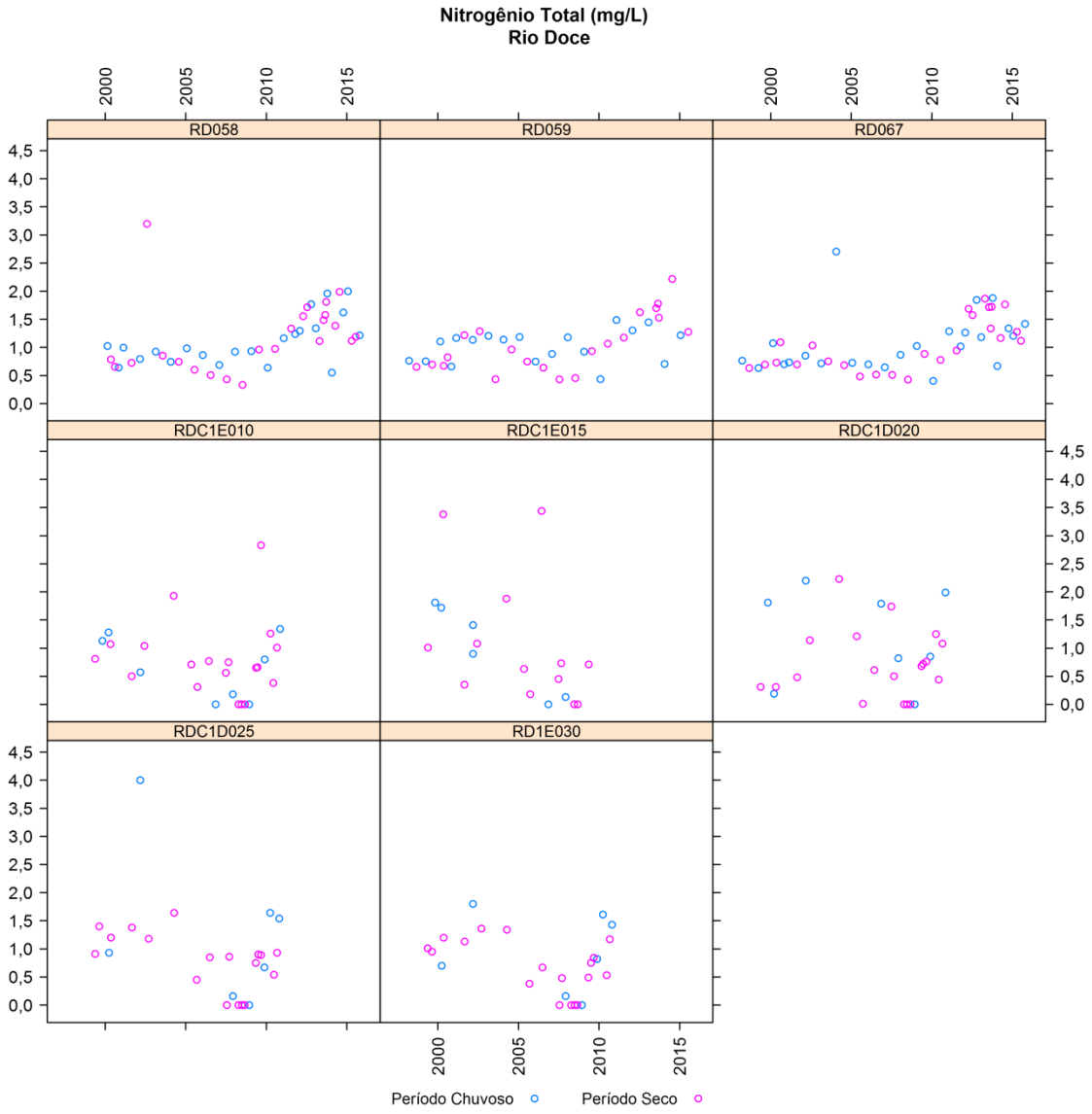


Figura 282 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



Em relação aos afluentes (Figura 283 e Figura 284), para as estações localizadas na porção mineira (RD009 a RD065), de modo geral, também se observou tendência de valores mais elevados no final da série histórica. Para as estações capixabas (RDC2C007 e RDC2C012) não se observou tal tendência.

Nas estações RD013 (rio Piranga), RD039 (rio Santo Antônio), RD040 (rio Corrente Grande), RD089 (rio Suaçuí Grande), RD057 (rio Caratinga), RD065 (rio Manhuaçu) não se observaram valores superiores a 2,18 mg/L, enquanto nas demais ocorreram valores superiores a este, chegando a 3,52 mg/L na estação RD009 (rio do Carmo). Os valores médios de concentração de nitrogênio total não passaram de 1,63 mg/L e os valores de mediana não passaram de 1,42 mg/L, considerando todas as estações, no período total.

Figura 283 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I).

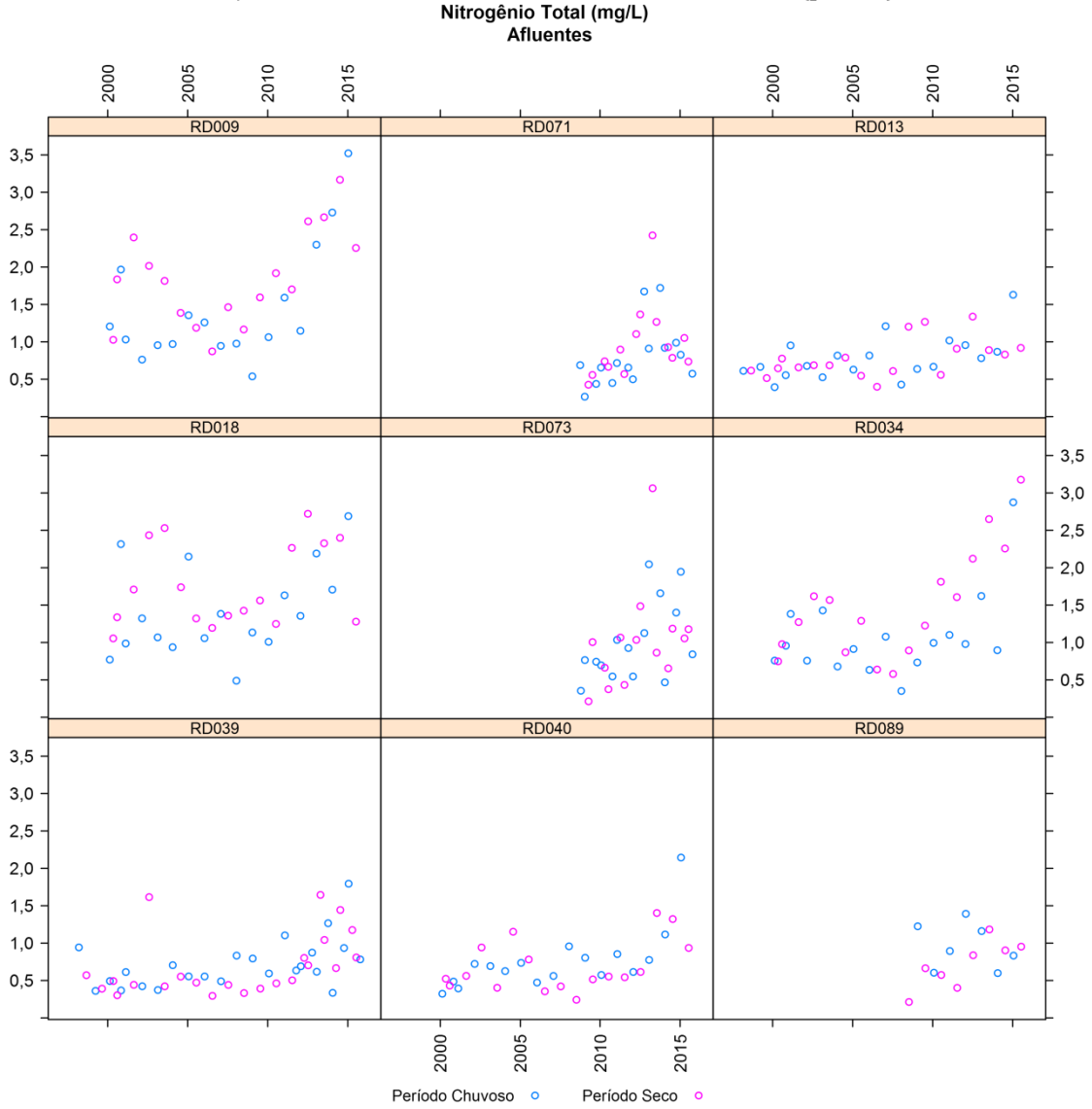
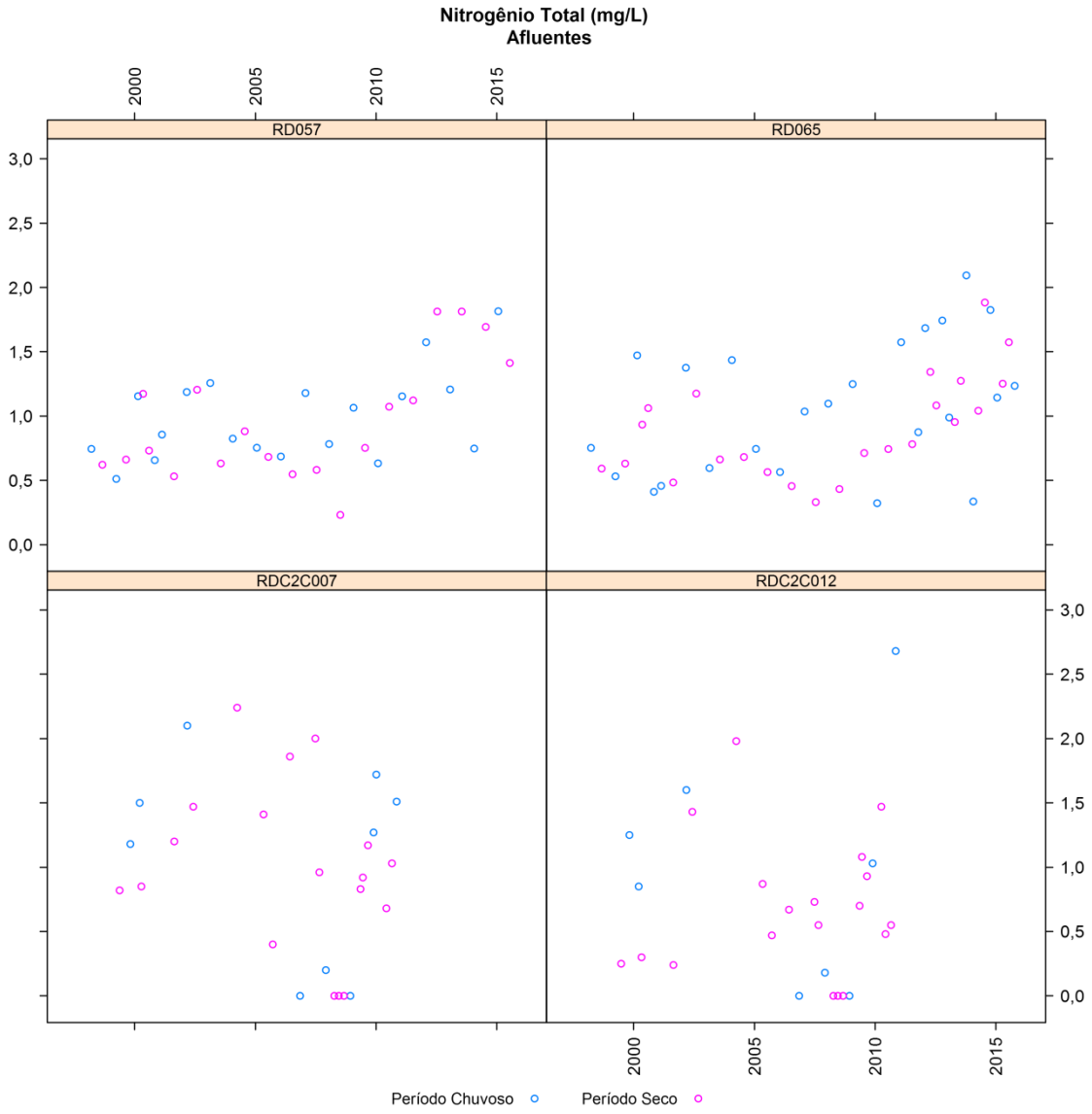


Figura 284 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.9.11 Nitrato

As informações gerais sobre o parâmetro íon nitrato foram descritas no item sobre o nitrogênio total (item 3.8.9.10).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de nitrato de até 10 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 109) e seus afluentes (Tabela 110).

De acordo com a Tabela 109 e a Tabela 110, não foram observados desacordos em relação ao limite legislado nas estações do rio Doce e nem naquelas localizadas em seus afluentes, respectivamente.

Tabela 109 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrato no rio Doce.

Rio Doce							
Nitrato							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	92	0%	47	0%	45	0%
	RD023	92	0%	47	0%	45	0%
	RD035	85	0%	44	0%	41	0%
	RD033	92	0%	47	0%	45	0%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	83	0%	43	0%	40	0%
	RD045	92	0%	47	0%	45	0%
	RD053	91	0%	47	0%	44	0%
	RD058	83	0%	43	0%	40	0%
	RD059	92	0%	47	0%	45	0%
	RD067	90	0%	46	0%	44	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 110 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrato em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Nitrato							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	0%	33	0%	33	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	89	0%	44	0%	45	0%
	RD018	64	0%	32	0%	32	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	64	0%	32	0%	32	0%
	RD039	73	0%	36	0%	37	0%
	RD040	64	0%	32	0%	32	0%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	73	0%	36	0%	37	0%
	RD065	73	0%	36	0%	37	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 285 e a Figura 286 apresentam os valores de mediana de nitrato para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Para as estações do rio Doce (Figura 285), de acordo com os valores de mediana do período total, observou-se uma diminuição da concentração de nitrato na estação RD019, a jusante da UHE Risoleta Neves (Candonga). A partir daí, observaram-se incrementos na concentração, com valor mais elevado na estação RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito, a montante da UHE Baguari. Após esse empreendimento, inclusive, observou-se novo decréscimo nos valores de nitrato (RD044, no município de Governador Valadares, a jusante da UHE Baguari).

Figura 285 – Medianas dos valores de nitrato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

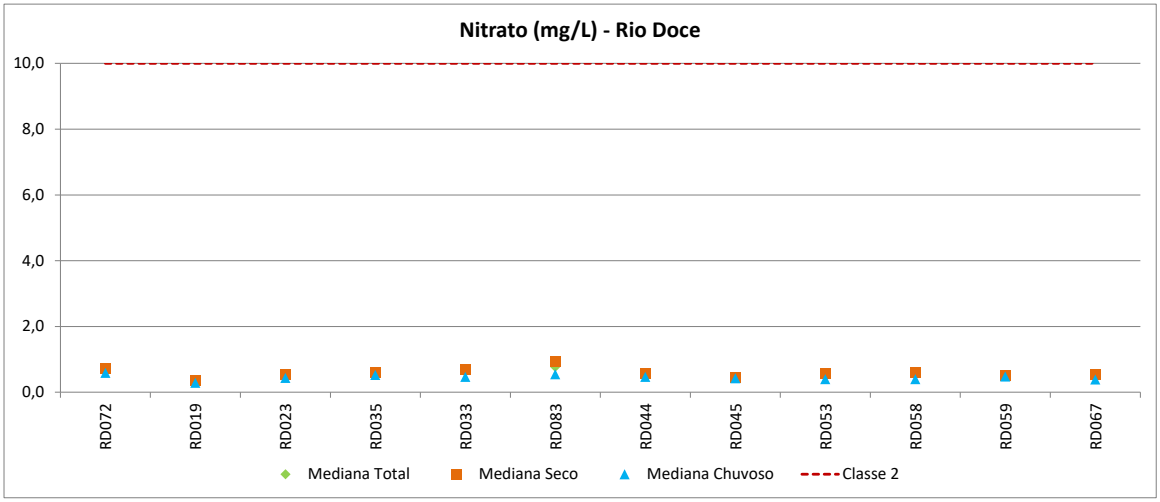
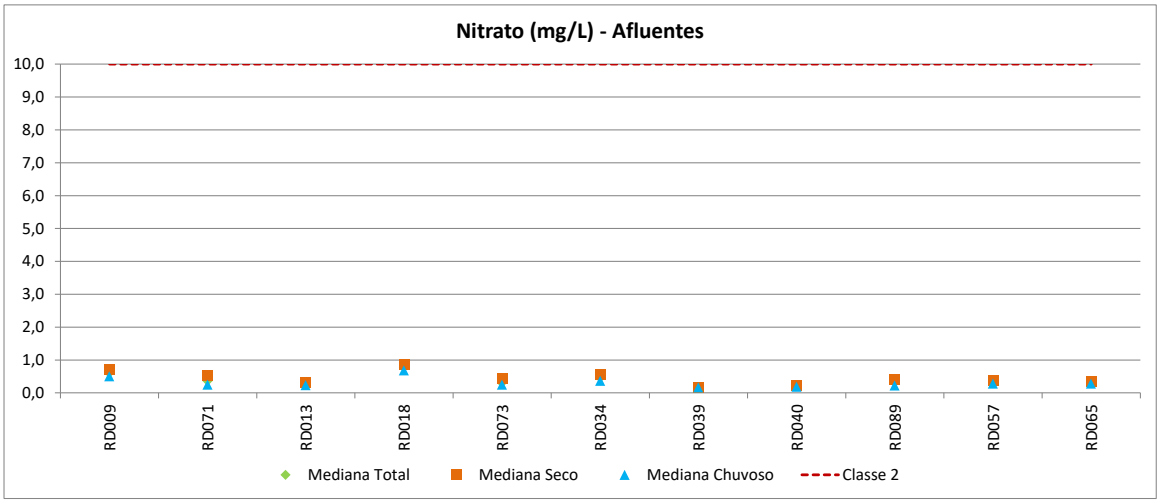


Figura 286 – Medianas dos valores de nitrato para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



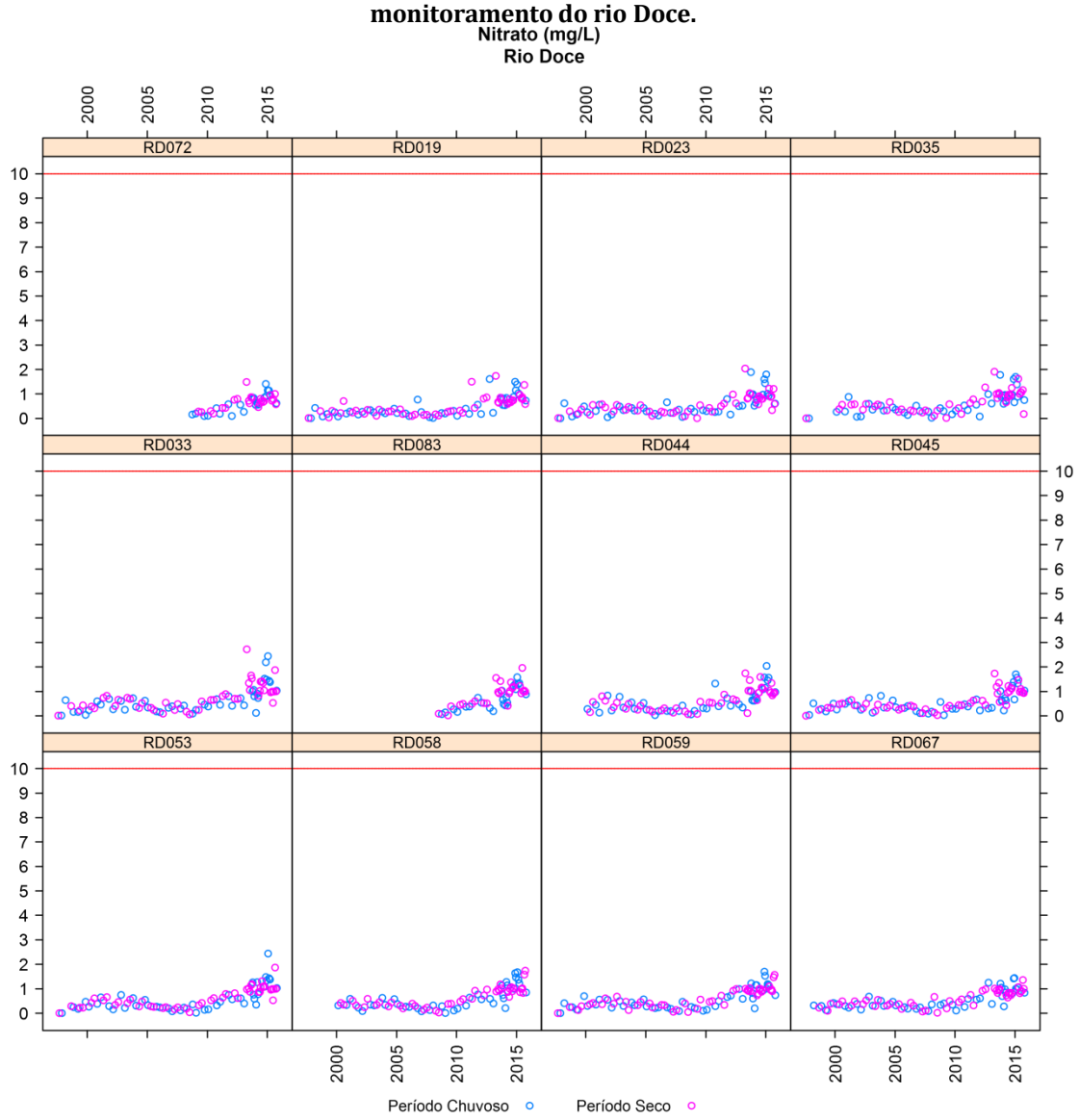
Para as estações situadas nos afluentes (Figura 286), os valores de mediana foram superiores no período seco para a maioria delas. Os valores de mediana mais elevados foram

observados nas estações RD009 (rio do Carmo), RD071 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca) e RD034 (rio Piracicaba), contudo, ainda permaneceram inferiores a 1,0 mg/L.

Avaliação temporal

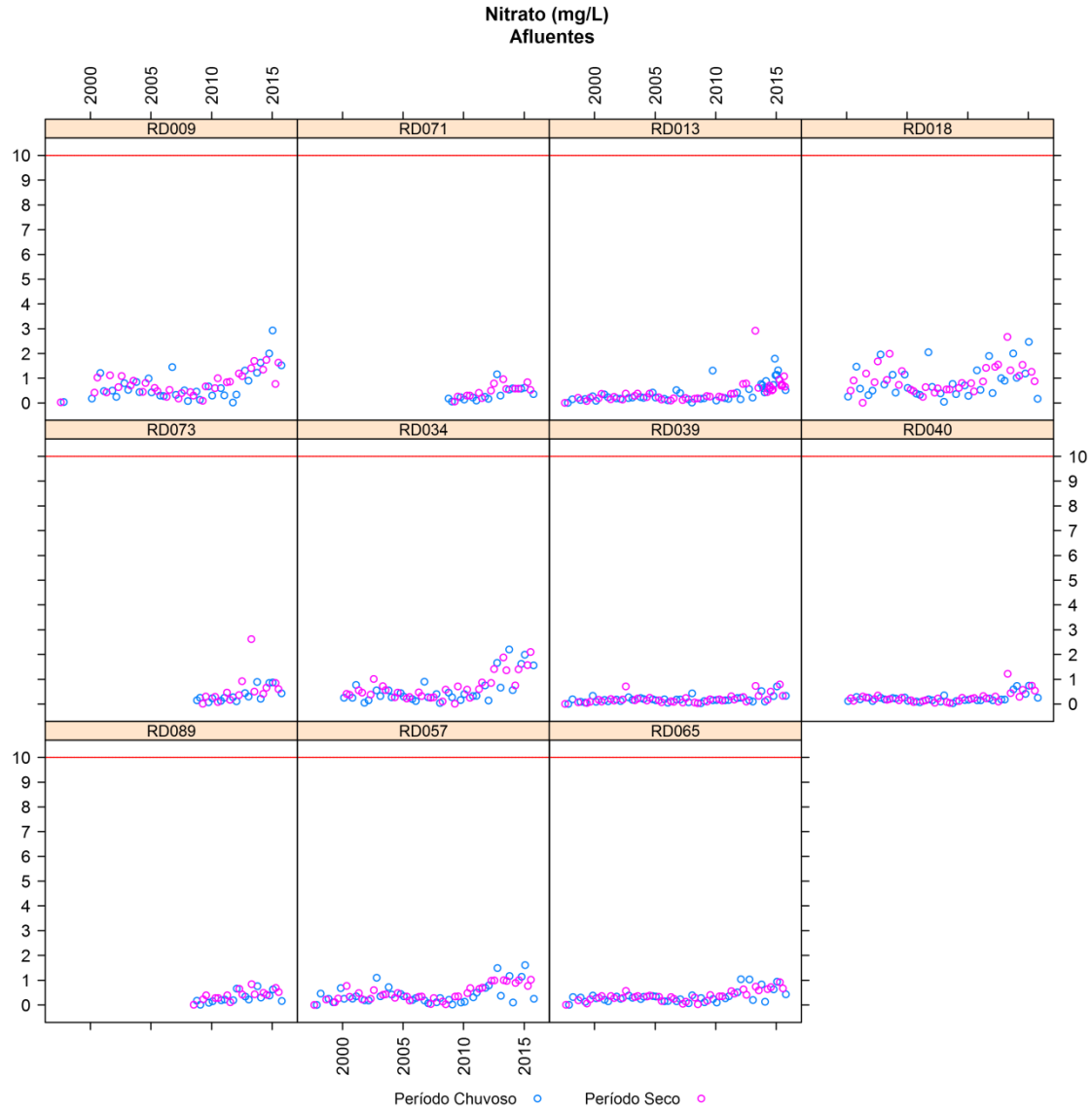
Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de nitrato ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante (Figura 287). Para as referidas estações, as concentrações de nitrato, de modo geral, não ultrapassaram 2 mg/L, sendo que nos últimos eventos monitorados as concentrações tenderam a ser mais elevadas.

Figura 287 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrato ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes do rio Doce (Figura 288), as concentrações também raramente ultrapassaram 2 mg/L. De modo geral, também se observou tendência a valores mais elevados nos últimos eventos monitorados no período avaliado.

Figura 288 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrato ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.12 Nitrito

Para mais informações sobre o parâmetro íon nitrito, vide Nitrogênio Total (item 3.8.9.10).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de nitrito de até 1,0 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de

dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 111) e seus afluentes (Tabela 112).

Tanto para as estações de monitoramento do rio Doce (Tabela 111) quanto para aquelas situadas em seus afluentes (Tabela 112) não foram observados desacordos com o limite legislado durante todo o período avaliado.

Tabela 111 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrito no rio Doce.

Rio Doce							
Nitrito							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	31	0%	16	0%	15	0%
	RD019	48	0%	26	0%	22	0%
	RD023	56	0%	29	0%	27	0%
	RD035	52	0%	27	0%	25	0%
	RD033	48	0%	26	0%	22	0%
	RD083	20	0%	12	0%	8	0%
	RD044	42	0%	23	0%	19	0%
	RD045	48	0%	26	0%	22	0%
	RD053	47	0%	26	0%	21	0%
	RD058	50	0%	26	0%	24	0%
	RD059	48	0%	26	0%	22	0%
	RD067	55	0%	28	0%	27	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 112 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrito em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Nitrito							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	42	0%	22	0%	20	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	46	0%	24	0%	22	0%
	RD018	40	0%	21	0%	19	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	40	0%	21	0%	19	0%
	RD039	54	0%	27	0%	27	0%
	RD040	40	0%	21	0%	19	0%
	RD089	19	0%	10	0%	9	0%
	RD057	46	0%	24	0%	22	0%
	RD065	54	0%	27	0%	27	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 289 e a Figura 290 apresentam os valores de mediana de nitrito para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Para as estações localizadas no rio Doce (Figura 289), os valores mostraram-se bastante homogêneos ao longo do percurso do rio. Para o período total, as medianas não passaram de 0,010 mg/L.

Figura 289 – Medianas dos valores de nitrito para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

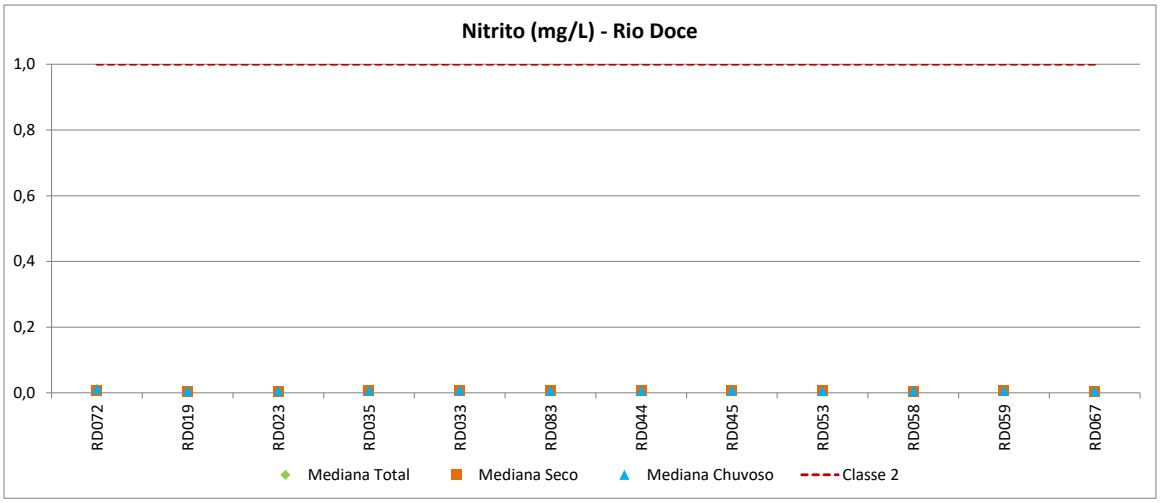
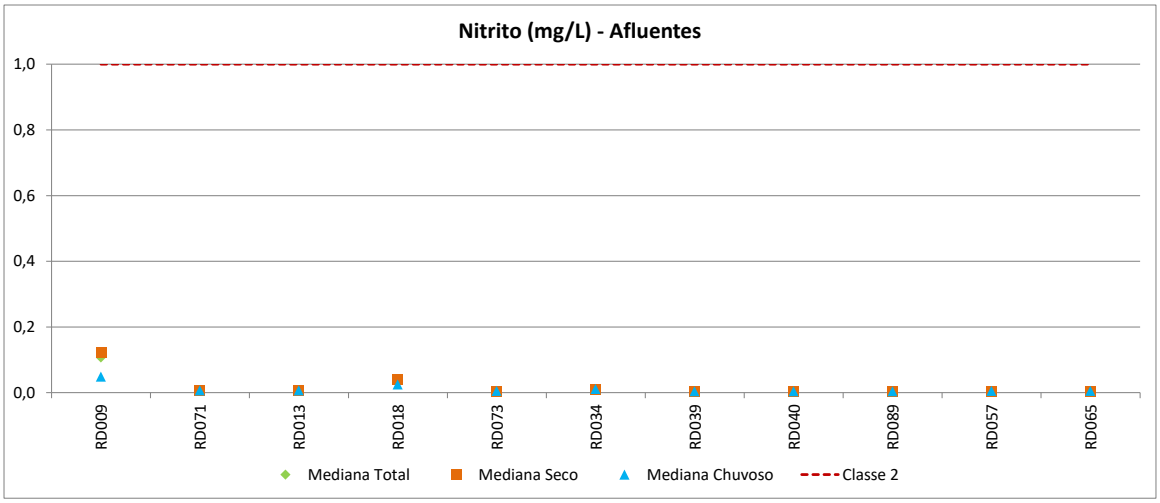


Figura 290 – Medianas dos valores de nitrito para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



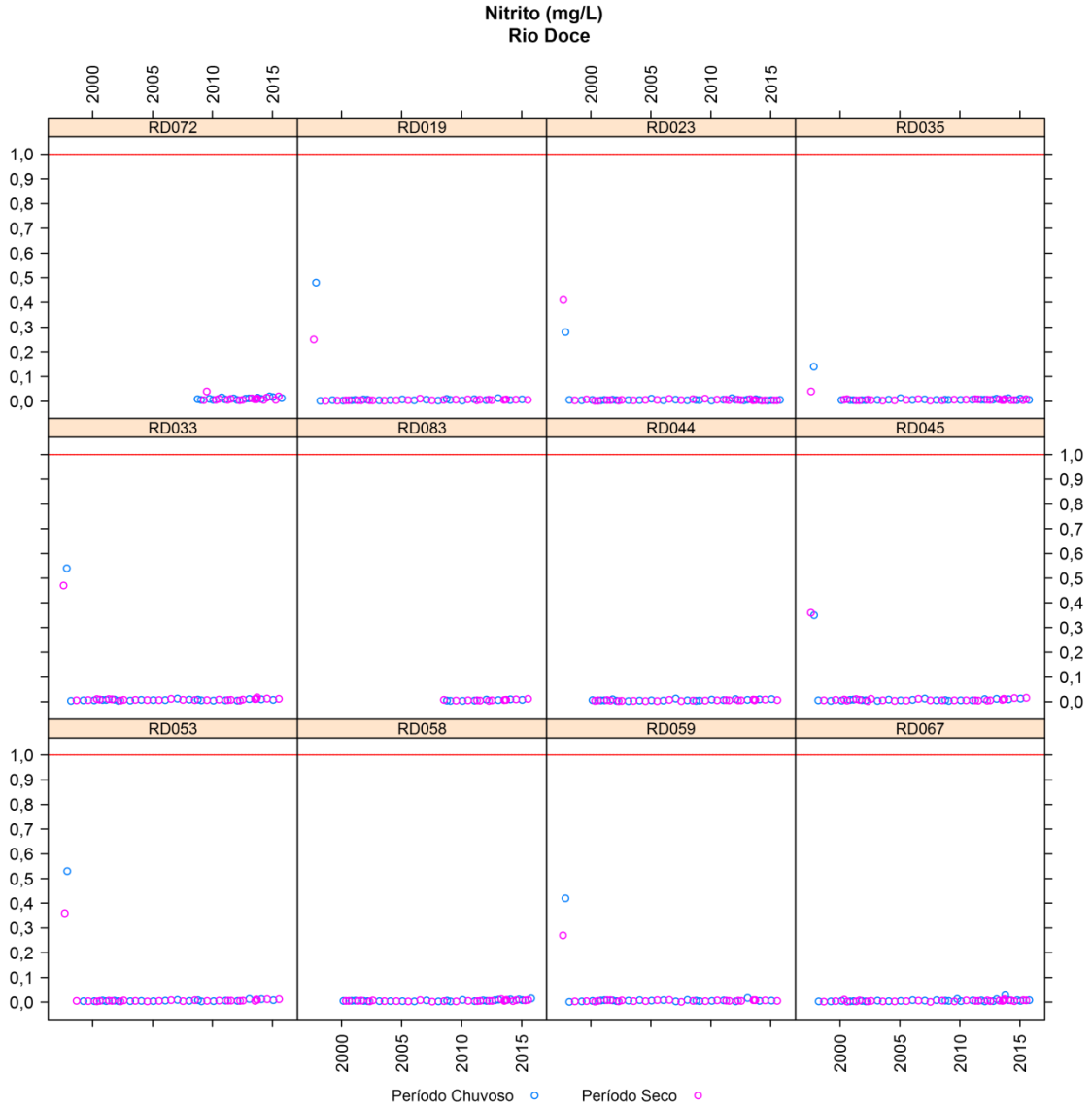
Para as estações em afluentes do rio Doce (Figura 290), observaram-se concentrações mais elevadas, em termos de mediana, nas estações RD009 (rio do Carmo) e RD018 (rio Casca), 0,107 mg/L e 0,032 mg/L, respectivamente. Para as demais estações em afluentes, a mediana não passou de 0,011 mg/L.

Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de nitrito ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante (Figura 291). Para as referidas estações, as concentrações de nitrito, de modo geral, não ultrapassaram 0,1 mg/L, apresentando-se bastante homogêneas, salvo raras exceções observadas no início do monitoramento para as estações RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata), RD023 (entre os municípios de Marliéria e Pingo-

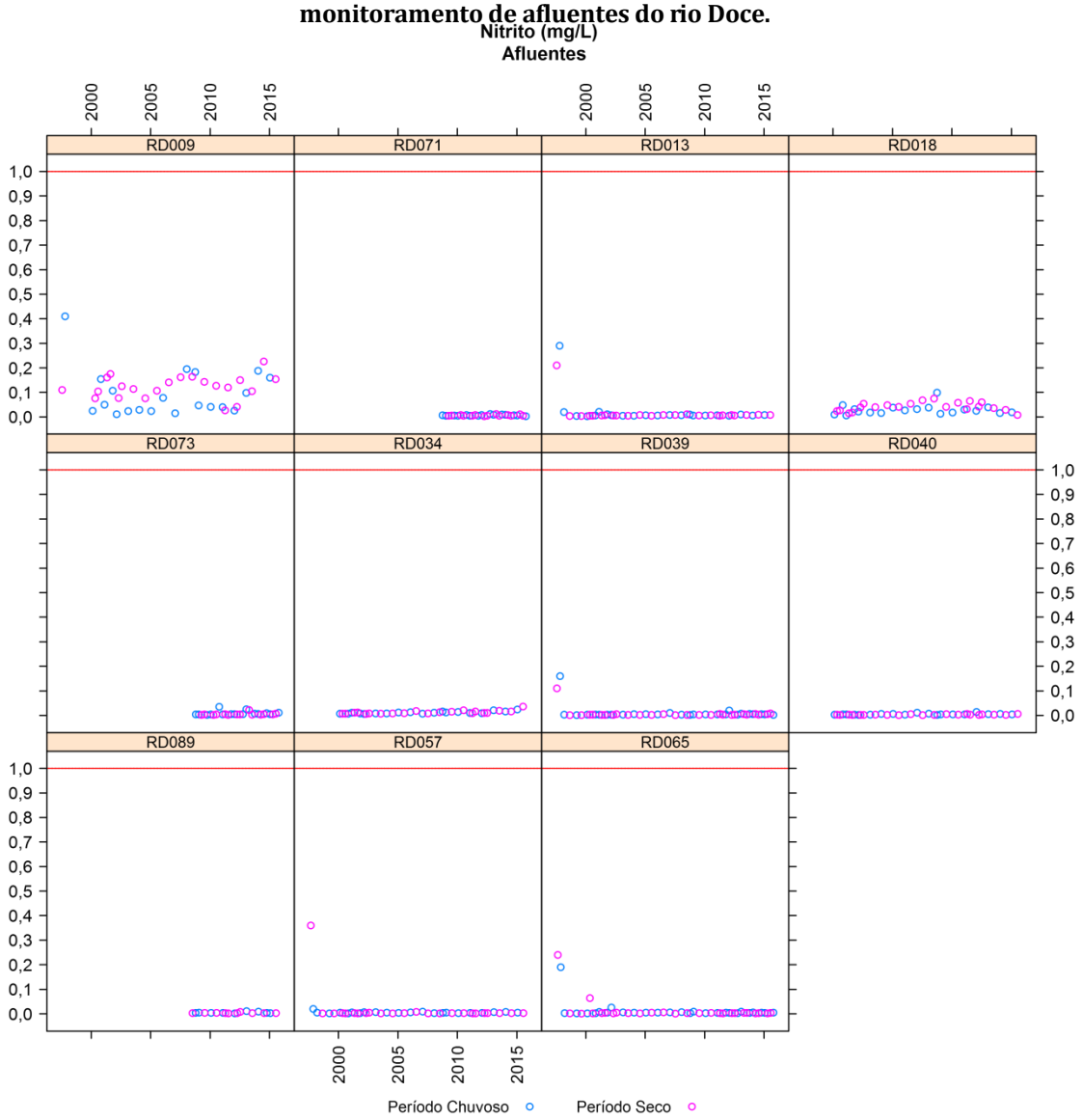
d'Água),RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), RD045 (em Governador Valadares), RD053 (entre os municípios de Galileia e Tumiritinga) e RD059 (em Resplendor).

Figura 291 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrito ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes do rio Doce (Figura 292), observou-se maior variação de dados na estação RD009, no rio do Carmo, com valores entre 0,011 e 0,410 mg/L. Nas estações RD013 (rio Piranga), RD039 (rio Santo Antônio), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu), as concentrações não passaram de 0,360 mg/L. Nas demais estações, houve pouca variação ao longo do tempo e os valores atingiram no máximo 0,100 mg/L.

Figura 292 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrito ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.13 Nitrogênio amoniacal

Para mais informações sobre o nitrogênio amoniacal, vide Nitrogênio Total (item 3.8.9.10).

Avaliação de não conformidades

Na Resolução CONAMA nº 357/2005, existem quatro valores de referência para o nitrogênio amoniacal para rios de Classe 2, os quais estão relacionados a quatro faixas de pH, quais sejam: 3,7 mg/L (pH ≤ 7,5); 2,0 mg/L (7,5 < pH ≤ 8,0); 1,0 mg/L (para 8,0 < pH ≤8,5) e 0,5 mg/L (para pH > 8,5). Dessa forma, primeiramente foi verificada a faixa de pH da referida amostra de água e, então, calcularam-se possíveis desacordos com os limites supracitados. Tal avaliação foi realizada somente para a base de dados do IGAM/MG, visto que o rol de parâmetros avaliados pelo IEMA/ES não contemplava tal parâmetro.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 113) e seus afluentes (Tabela 114). De acordo com as referidas tabelas, não foram observados desacordos para o nitrogênio amoniacal no rio Doce e em seus afluentes, no período avaliado.

Tabela 113 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio amoniacal no rio Doce.

Rio Doce							
Nitrogênio Amoniacal							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	92	0%	47	0%	45	0%
	RD023	92	0%	47	0%	45	0%
	RD035	85	0%	44	0%	41	0%
	RD033	92	0%	47	0%	45	0%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	83	0%	43	0%	40	0%
	RD045	92	0%	47	0%	45	0%
	RD053	91	0%	47	0%	44	0%
	RD058	83	0%	43	0%	40	0%
	RD059	92	0%	47	0%	45	0%
	RD067	90	0%	46	0%	44	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 114 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para nitrogênio amoniacal em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Nitrogênio Amoniacal							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	0%	33	0%	33	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	89	0%	44	0%	45	0%
	RD018	64	0%	32	0%	32	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	64	0%	32	0%	32	0%
	RD039	73	0%	36	0%	37	0%
	RD040	64	0%	32	0%	32	0%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	73	0%	36	0%	37	0%
	RD065	73	0%	36	0%	37	0%

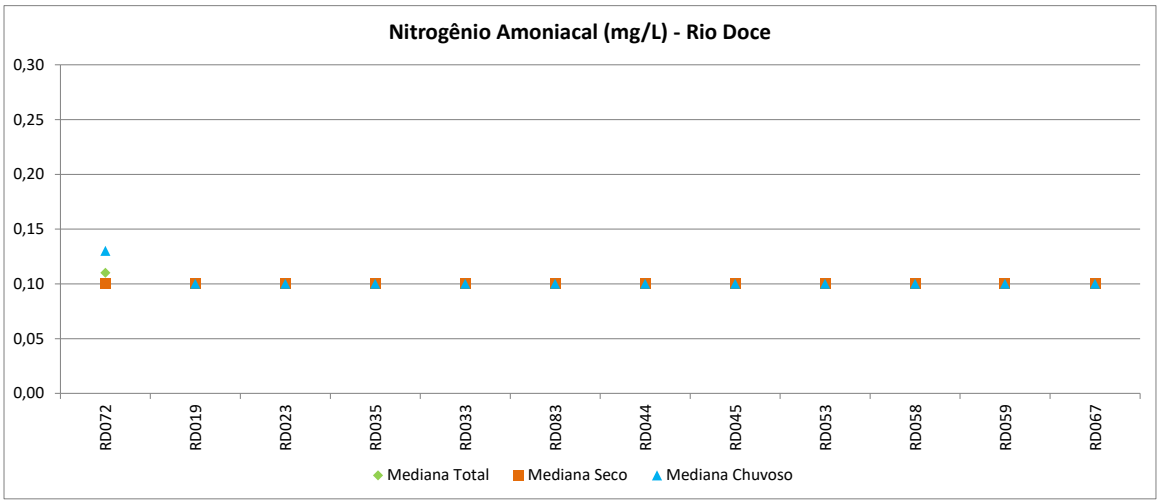
Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 293 e a Figura 294 apresentam os valores de mediana de nitrogênio amoniacal para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Para as estações localizadas no rio Doce (Figura 293), os valores mostraram-se bastante homogêneos ao longo do percurso do rio, com exceção da estação RD072, entre os municípios de Rio Doce e Santa

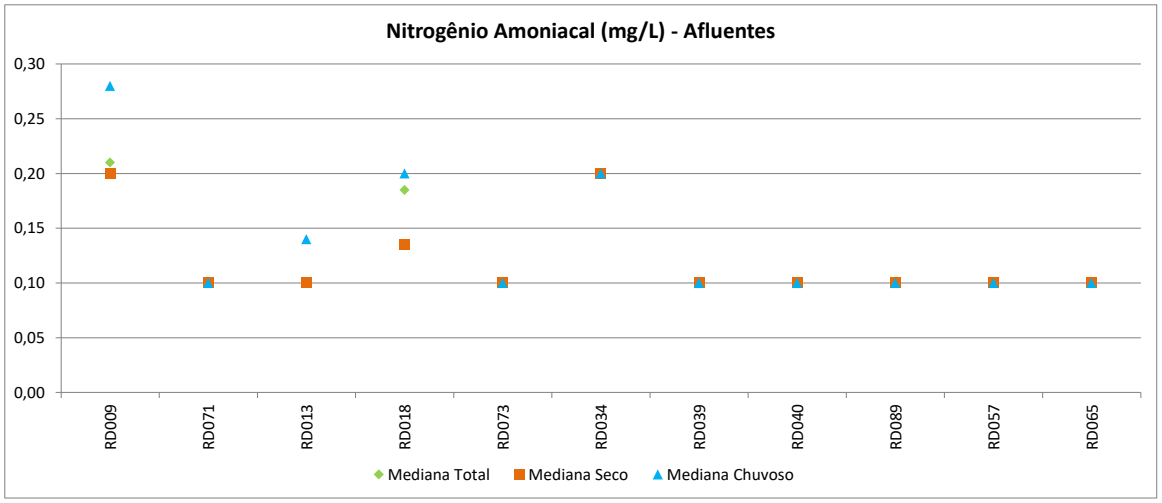
Cruz do Escalvado, logo após a confluência dos rios do Carmo e Piranga, que apresentou valores de mediana ligeiramente mais elevados.

Figura 293 – Medianas dos valores de nitrogênio amoniacal para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Nas estações situadas em afluentes do rio Doce (Figura 294), observou-se maior heterogeneidade entre as estações RD009 (rio do Carmo) e RD034 (rio Piracicaba). A partir da estação RD039 (rio Santo Antônio), as medianas apresentaram-se constantes.

Figura 294 – Medianas dos valores de nitrogênio amoniacal para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

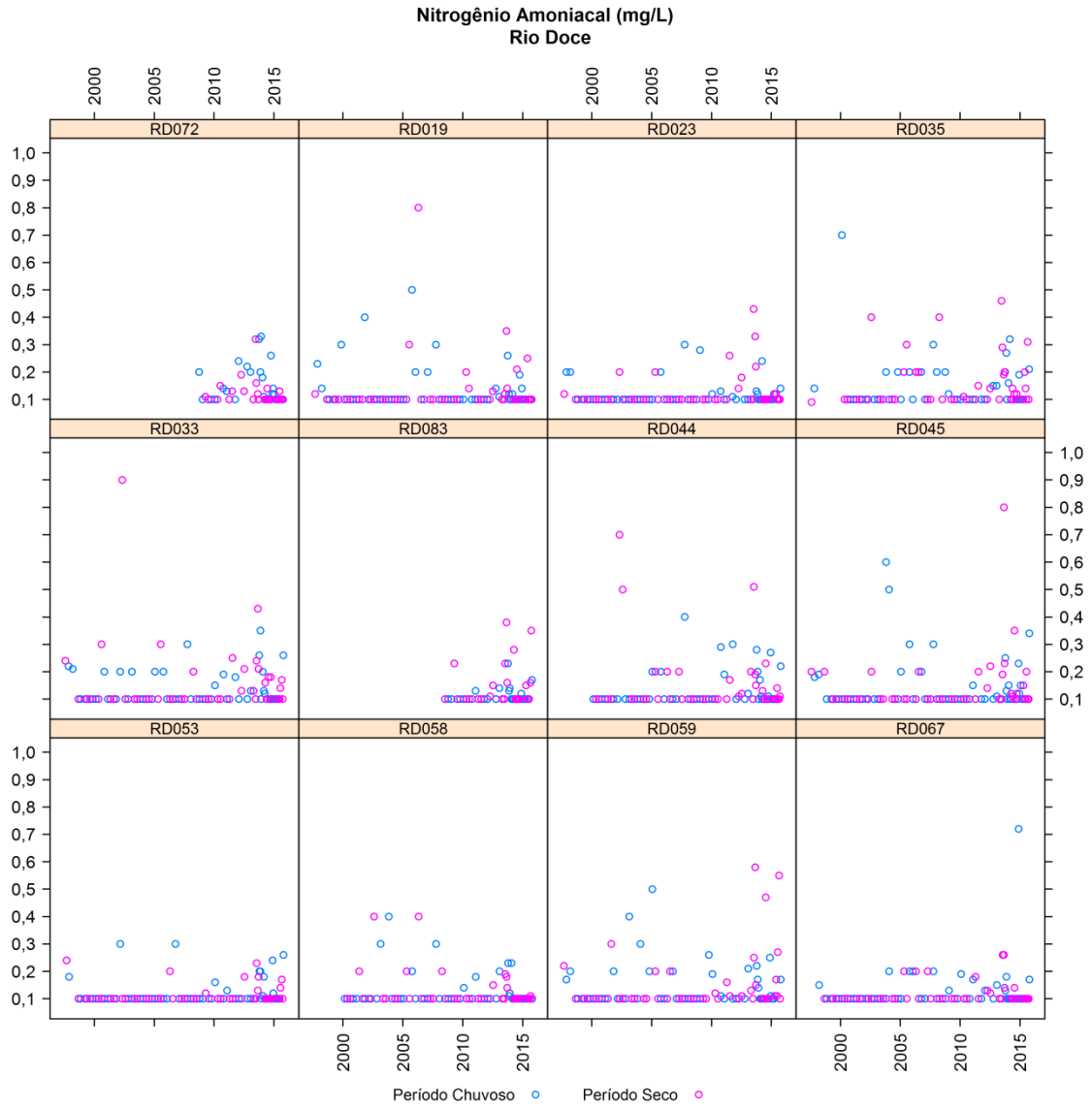


Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante (Figura 295).

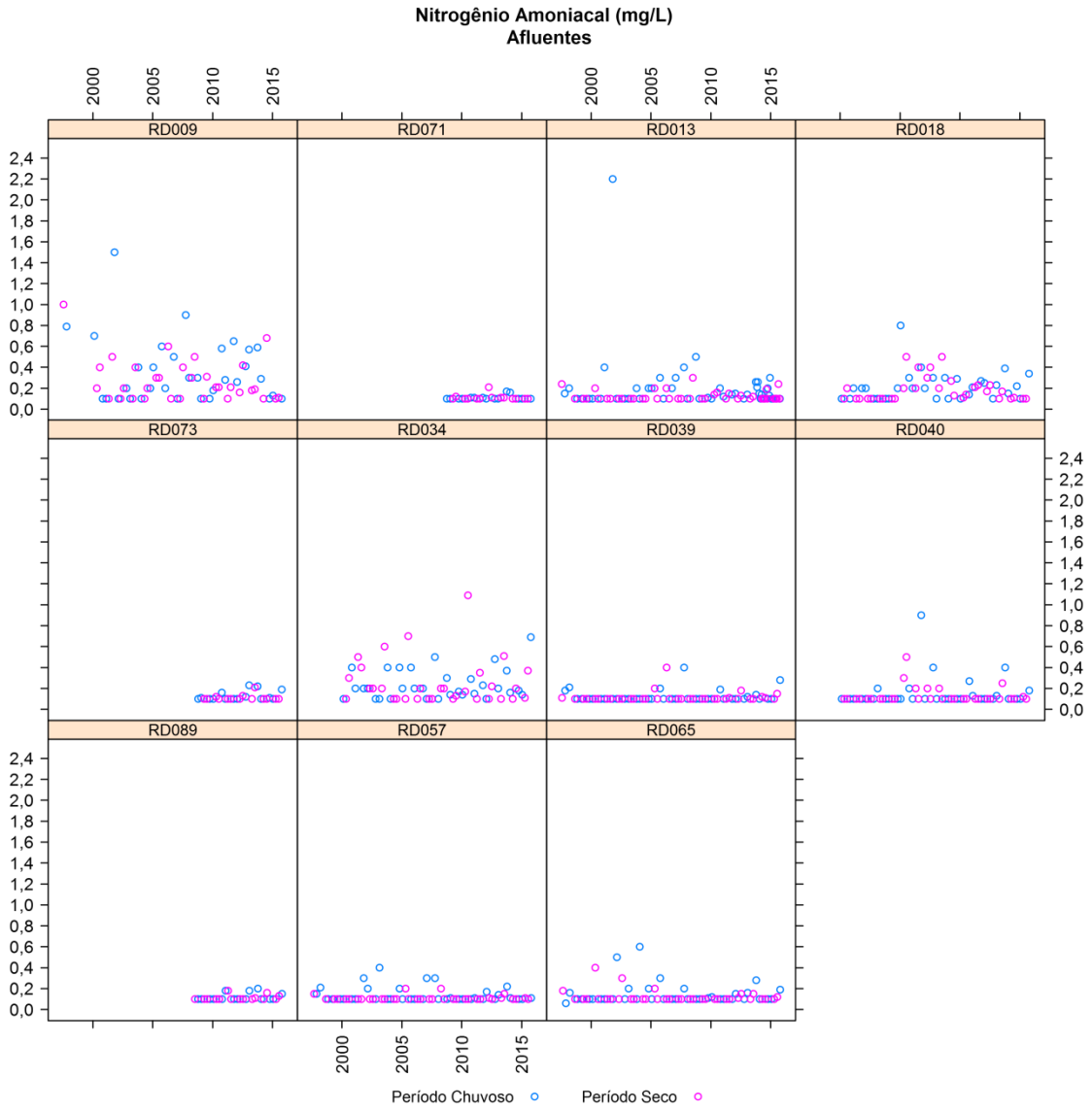
Para as estações de monitoramento no rio Doce, notou-se que a maioria das observações apresentou valor de 0,1 mg/L ao longo do tempo. Contudo, observaram-se valores mais elevados do que este em diferentes momentos do período avaliado. As estações RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata), RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre) e RD045 (em Governador Valadares) apresentaram os valores máximos observados: 0,8, 0,9 e 0,8, respectivamente.

Figura 295 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes (Figura 296), observou-se maior homogeneidade de resultados ao longo do tempo para as estações RD071 (rio do Carmo), RD073 (ribeirão Sacramento) e RD089 (rio Suaçuí Grande). Para as demais, notou-se maior variação dos resultados, sem tendências de comportamento observáveis, em especial para as estações RD009 (rio do Carmo) e RD034 (rio Piracicaba).

Figura 296 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.14 Nitrogênio orgânico

Para mais informações sobre o nitrogênio orgânico, vide Nitrogênio Total (item 3.8.9.10).

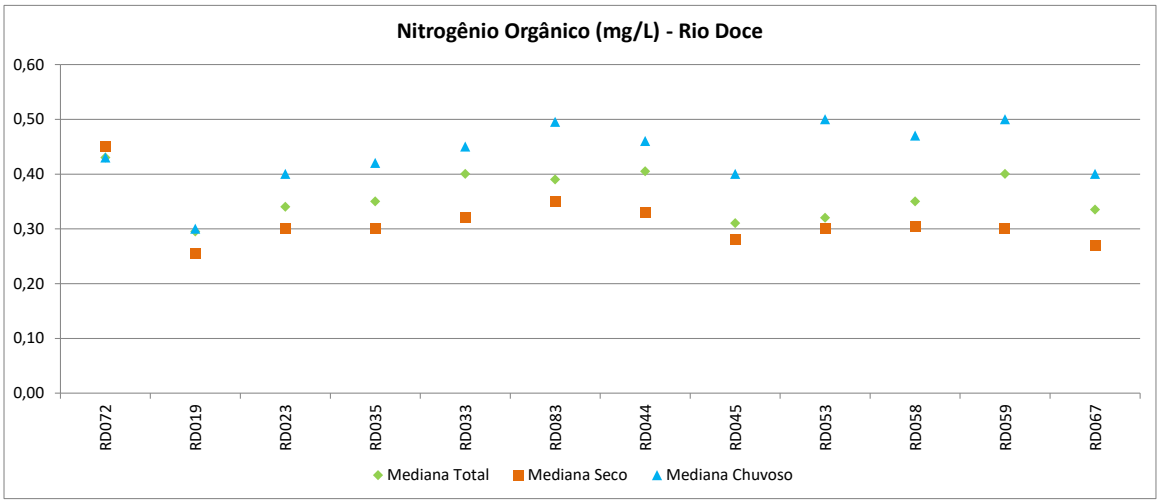
Em relação ao nitrogênio orgânico, foram avaliados os dados disponíveis na base do IGAM/MG. No período anterior ao desastre, o IEMA/ES não realizou avaliações da água em relação a essa variável. Conforme mencionado no item 3.8.3, não há valor máximo de referência disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 para o nitrogênio orgânico, dessa forma, não foram calculados percentuais de desacordos.

Avaliação espacial

A Figura 297 e a Figura 298 apresentam os valores de mediana de nitrogênio orgânico para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. De modo geral, observaram-se valores mais elevados no período chuvoso, tanto para as estações localizadas no rio Doce quanto naquelas em seus afluentes.

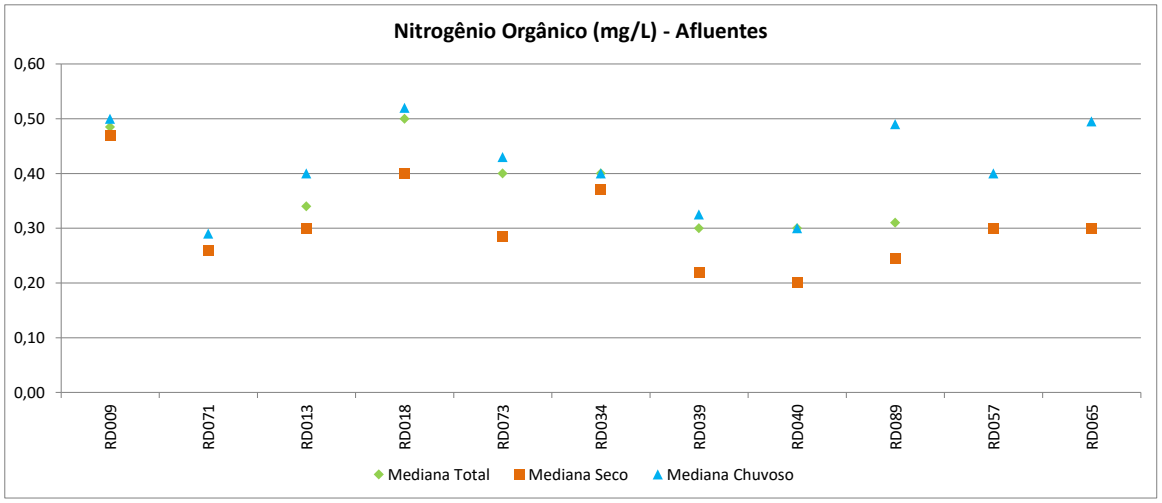
Para o rio Doce (Figura 297), de acordo com os valores de mediana do período total, observou-se redução de valor na estação RD019, a jusante da UHE Risoleta Neves. As concentrações voltam a se elevar até a estação RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito. A partir da estação RD045 (em Governador Valadares), as concentrações tendem a diminuir, com exceção da estação RD059 (no município de Resplendor).

Figura 297 – Medianas dos valores de nitrogênio orgânico para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para os afluentes do rio Doce (Figura 298), observou-se maior variação de concentrações entre as estações em relação às do rio Doce. Em relação às medianas do período total, as estações RD009 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca), RD073 (ribeirão Sacramento) e RD034 (rio Piracicaba) foram as que apresentaram valores mais elevados.

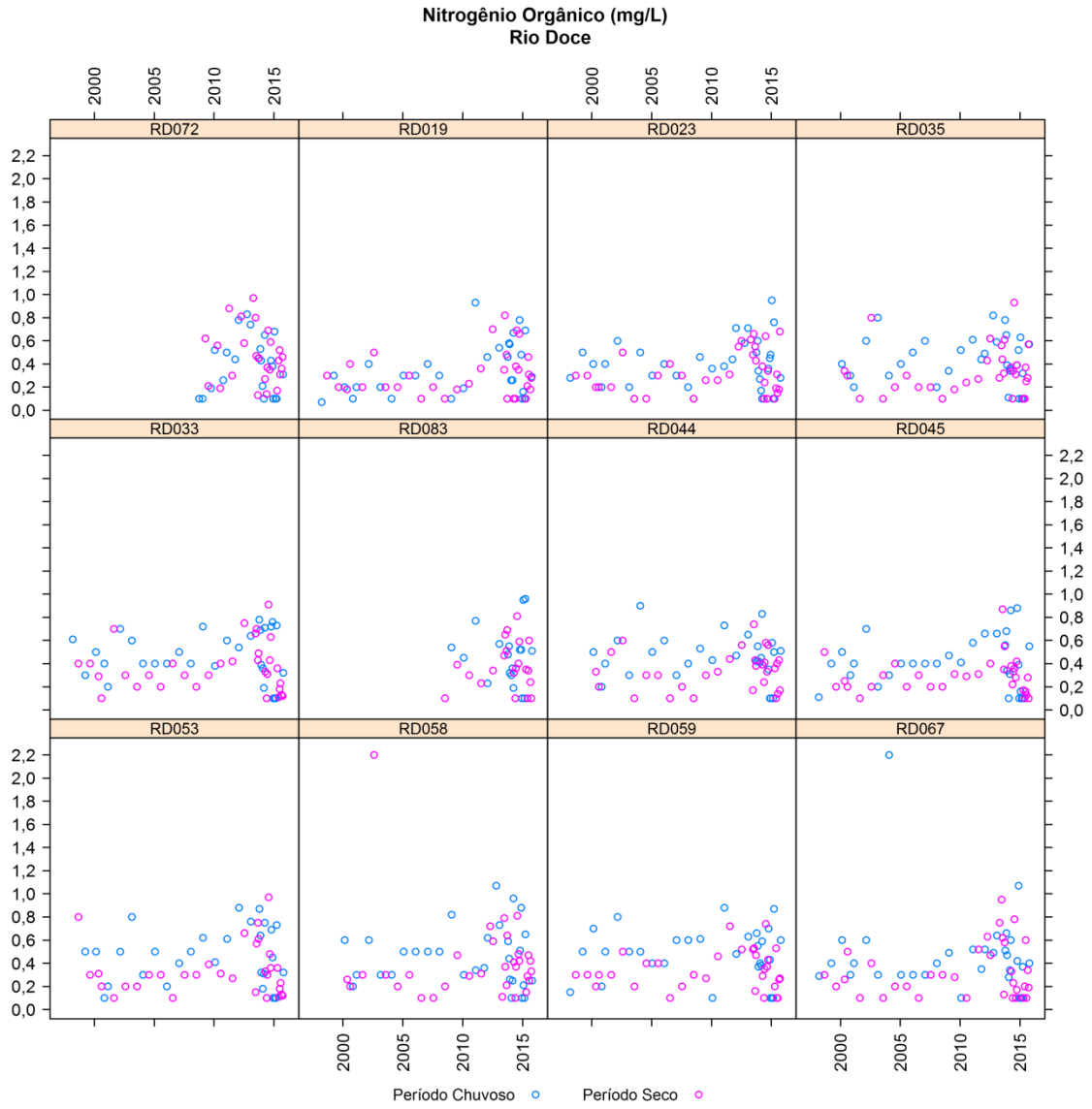
Figura 298 – Medianas dos valores de nitrogênio orgânico para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

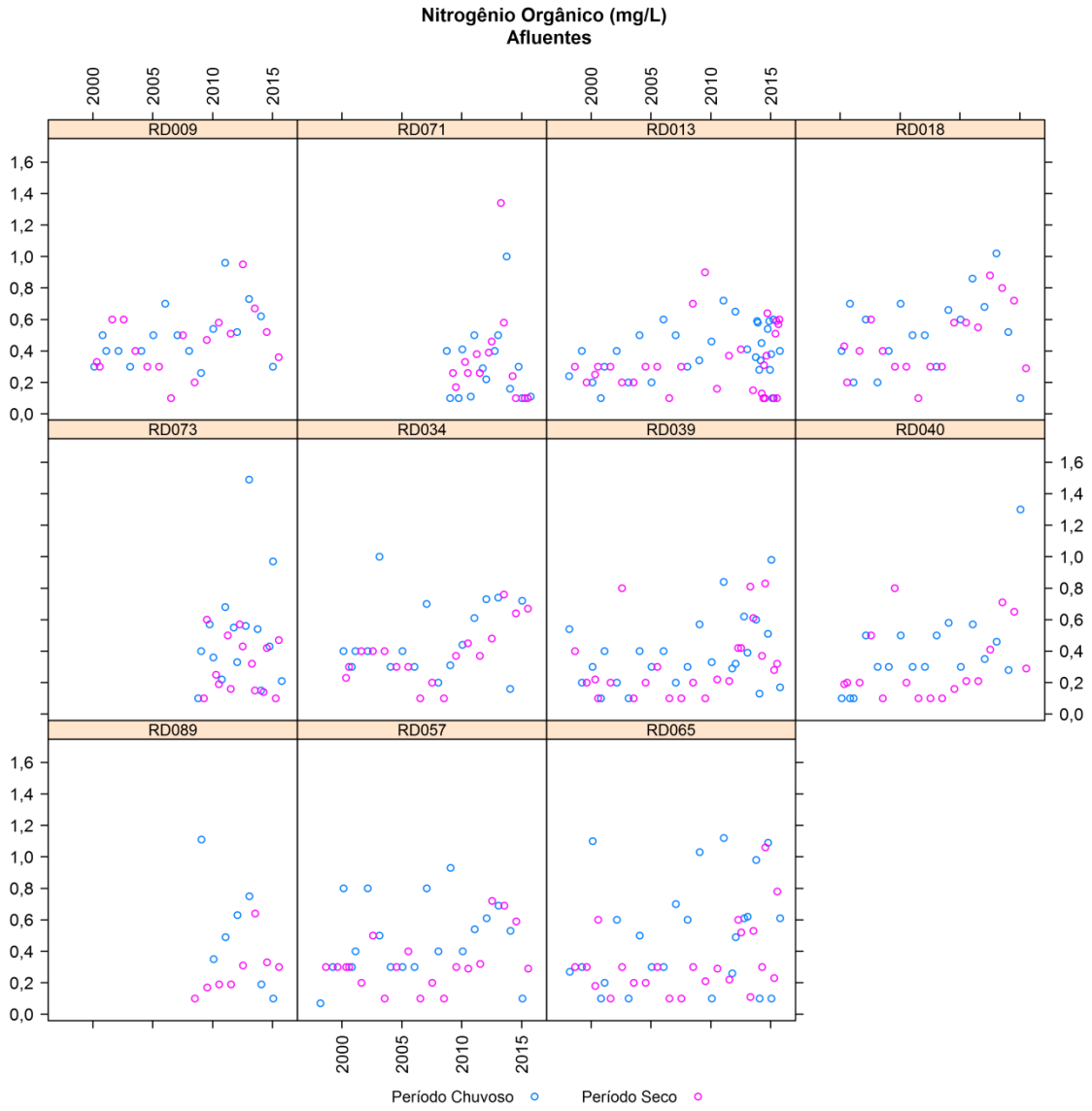
Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de nitrogênio orgânico ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante (Figura 299). De modo geral, as concentrações de nitrogênio orgânico variaram de 0,1 a 1,0 mg/L no período avaliado, sem tendência de diminuição ou aumento de valores com o tempo. Nas estações RD058 (no município de Conselheiro Pena) e RD067 (entre os municípios de Aimorés/MG e Baixo Gandu/ES), observaram-se valores mais elevados, mas de modo pontual.

Figura 299 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio orgânico ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes (Figura 300), também se observou maior variação de concentrações ao longo do tempo. De modo geral, as concentrações de nitrogênio orgânico variaram de 0,1 a 1,0 mg/L. Nas estações RD071 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca), RD073 (ribeirão do Sacramento), RD040 (rio Corrente Grande), RD089 (rio Suaçuí Grande), RD065 (rio Manhuaçu), todavia, foram observados valores maiores que 1,0 mg/L. Com exceção da estação RD065, nas demais esses valores foram pontuais.

Figura 300 – Gráficos de dispersão dos dados de nitrogênio orgânico ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.15 Oxigênio dissolvido

O Oxigênio Dissolvido (OD) é uma variável de grande relevância para a avaliação da qualidade de água, pois é um limitador à manutenção da vida aquática e a processos de depuração desses ecossistemas naturais. Como exemplo, pode-se citar sua importância para a comunidade ictíica, uma vez que certas espécies de peixes, como a truta, têm requerimentos elevados de OD, devendo as concentrações serem superiores a 8,0 mg/L para a manutenção de suas populações. Já espécies como a carpa sobrevivem em situações de OD inferior a 3,0 mg/L (CETESB, 2017a).

O comportamento desse gás é influenciado por uma série de outras variáveis, como temperatura, pressão, altitude, salinidade e a própria turbulência das águas. Condições incorporadoras de oxigênio na água são, principalmente, a fotossíntese e o contato da água com a atmosfera. Já a perda de OD da água se dá, em maior parte, em função da respiração dos

organismos aquáticos (fauna e flora), do aporte de poluentes e da decomposição da matéria orgânica. Esse último caso, relaciona-se a processos depurativos, quando, a partir do consumo de OD, bactérias aeróbias degradam a matéria orgânica disponível em ambientes aquáticos (ESTEVES, 1998; CETESB, 2016).

De forma geral, concentrações iguais ou superiores a 5,0 mg/L são adequadas à manutenção da maioria das populações aquáticas de água doce, sendo situações de concentrações inferiores a 2,0 mg/L (hipóxia) consideradas preocupantes e inadequadas à biota (CETESB, 2017a).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de OD não inferior a 5,0 mg/L. Nesse contexto, foram avaliadas as séries históricas de dados do IGAM/MG e do IEMA/ES no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 115) e seus afluentes (Tabela 116), de montante para jusante.

Observa-se que, para as estações no rio Doce (Tabela 115), os percentuais de desacordos foram mínimos para os três períodos considerados, sendo na maior parte do tempo igual a 0%. Percentuais de desacordos mais elevados encontram-se na porção capixaba da região de estudo (estações RDC1D025 e RDC1D030). Desse modo, pode-se dizer que o rio Doce – no período em questão – apresentava bons níveis de oxigenação.

Tabela 115 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o oxigênio dissolvido no rio Doce.

Rio Doce							
Oxigênio Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	92	0%	47	0%	45	0%
	RD023	92	0%	47	0%	45	0%
	RD035	85	0%	44	0%	41	0%
	RD033	92	0%	47	0%	45	0%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	83	0%	43	0%	40	0%
	RD045	92	0%	47	0%	45	0%
	RD053	91	0%	47	0%	44	0%
	RD058	83	0%	43	0%	40	0%
	RD059	92	1%	47	0%	45	2%
	RD067	90	0%	46	0%	44	0%
ES	RDC1E010	27	0%	19	0%	8	0%
	RDC1E015	19	0%	13	0%	6	0%
	RDC1D020	27	0%	19	0%	8	0%
	RDC1D025	25	4%	18	6%	7	0%
	RDC1E030	25	8%	18	6%	7	14%

Nota: n: número de observações.

Assim como para as estações localizadas no rio Doce, os pontos avaliados nos afluentes (Tabela 116) também apresentaram percentuais mínimos de desacordos para os três períodos considerados.

Tabela 116 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o oxigênio dissolvido em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Oxigênio Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	2%	33	3%	33	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	89	1%	44	0%	45	2%
	RD018	64	2%	32	0%	32	3%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	64	0%	32	0%	32	0%
	RD039	73	0%	36	0%	37	0%
	RD040	64	0%	32	0%	32	0%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	73	1%	36	0%	37	3%
	RD065	73	0%	36	0%	37	0%
ES	RDC2C007	27	0%	18	0%	9	0%
	RDC2C012	27	0%	19	0%	8	0%

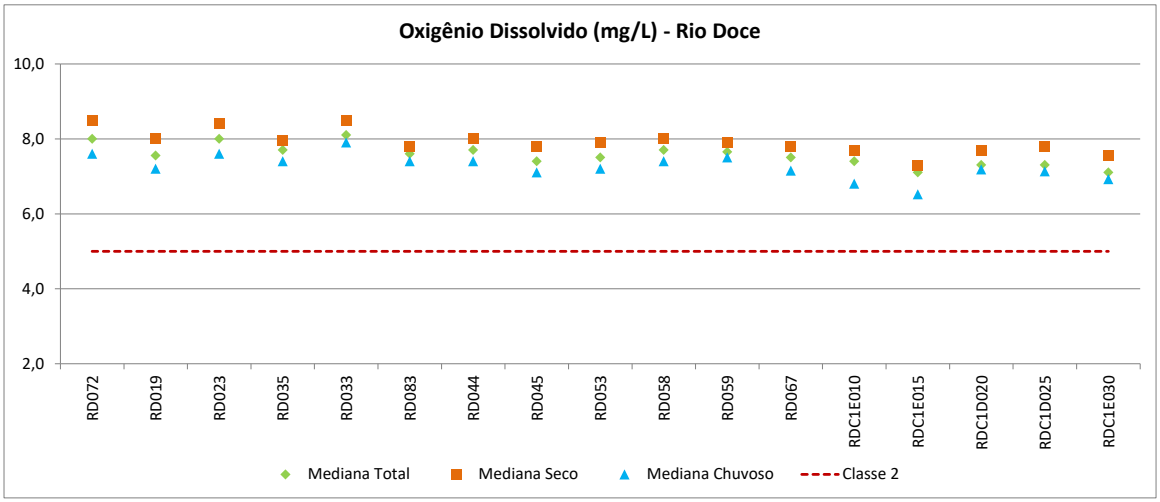
Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 301 e a Figura 302 apresentam os valores de mediana de OD para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

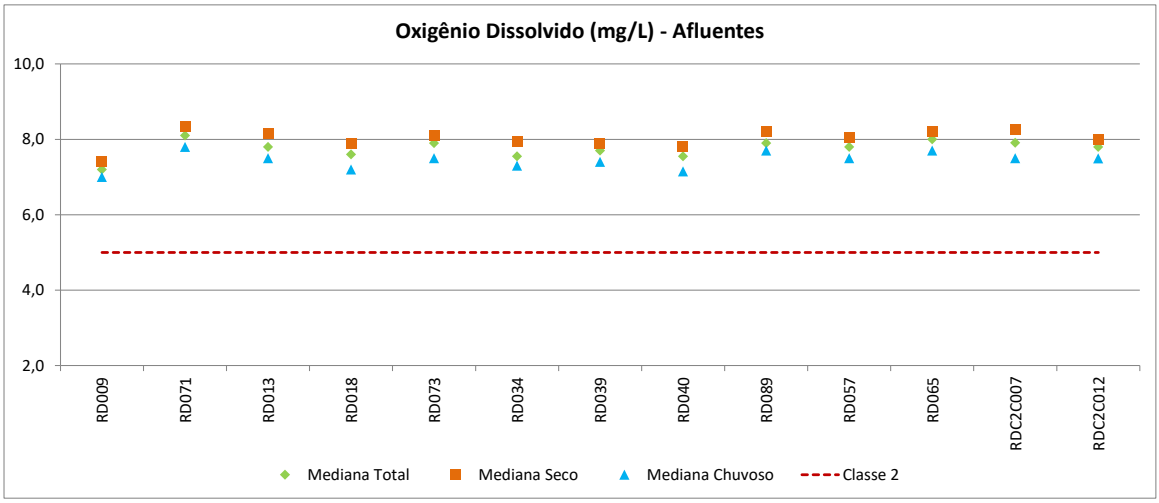
De acordo com a Figura 301, as medianas das concentrações de OD mostraram caráter mais homogêneo ao longo do rio Doce, sendo levemente inferiores no período chuvoso. Valor de mediana mais baixo foi observado na estação RDC1E015 (7,1 mg/L, no período total).

Figura 301 – Medianas das concentrações de oxigênio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Em relação aos afluentes do rio Doce (Figura 302), os valores das medianas não apresentaram grandes variações espaciais, sendo que os menores valores foram observados para a estação RD009, no rio do Carmo (7,2 mg/L, no período total).

Figura 302 – Medianas das concentrações de oxigênio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de OD distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 303) e parte II (Figura 304).

Com exceção das estações RDC1E025 e RDC1E030 (Figura 304), na porção capixaba da bacia, que apresentaram em algum momento valor inferior ao limite legislado, todos os demais valores foram superiores a 5,0 mg/L. De modo geral, não foram observadas alterações bruscas no comportamento da variável ao longo do tempo monitorado nas estações do IGAM.

Nas estações do IEMA, observou-se uma tendência a valores mais elevados de OD com o passar do tempo. As concentrações de OD no período seco foram maiores em relação ao período chuvoso, corroborando os resultados das análises anteriores.

Figura 303 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).

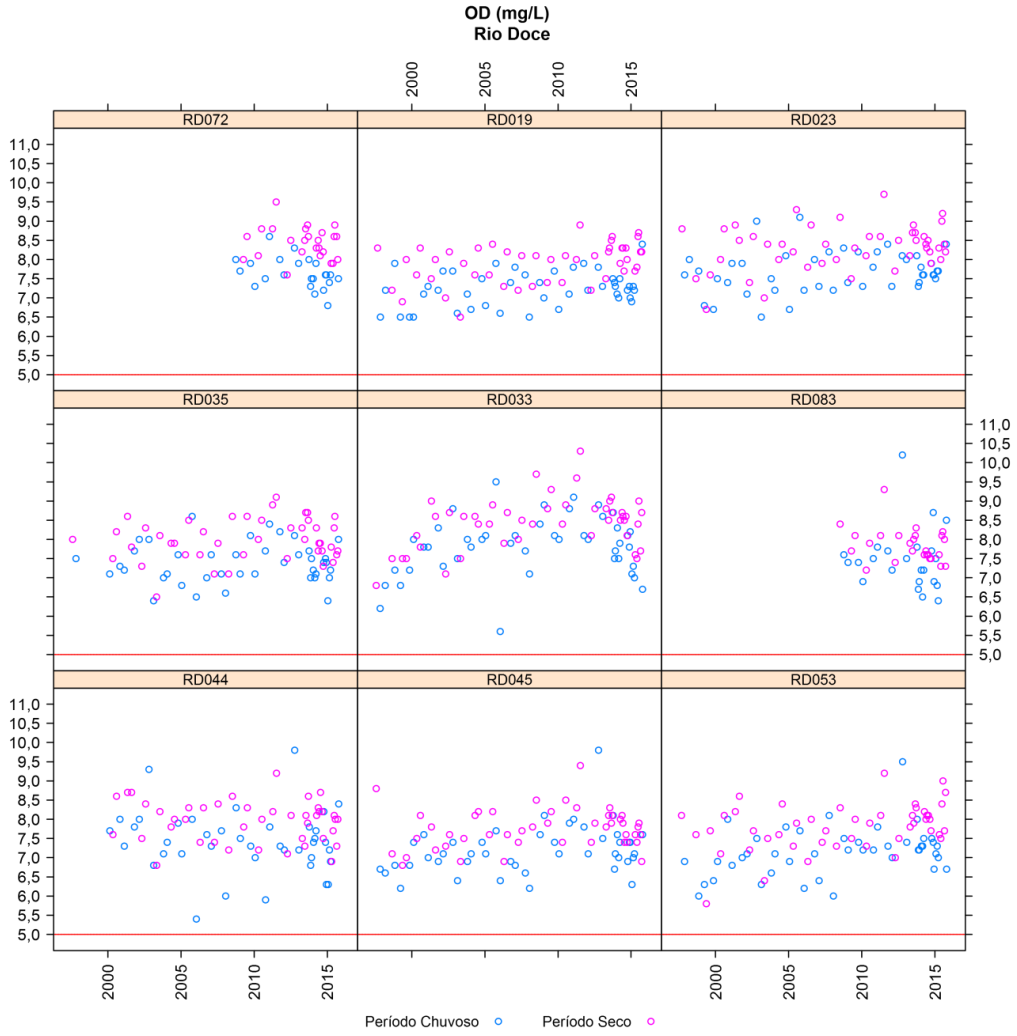
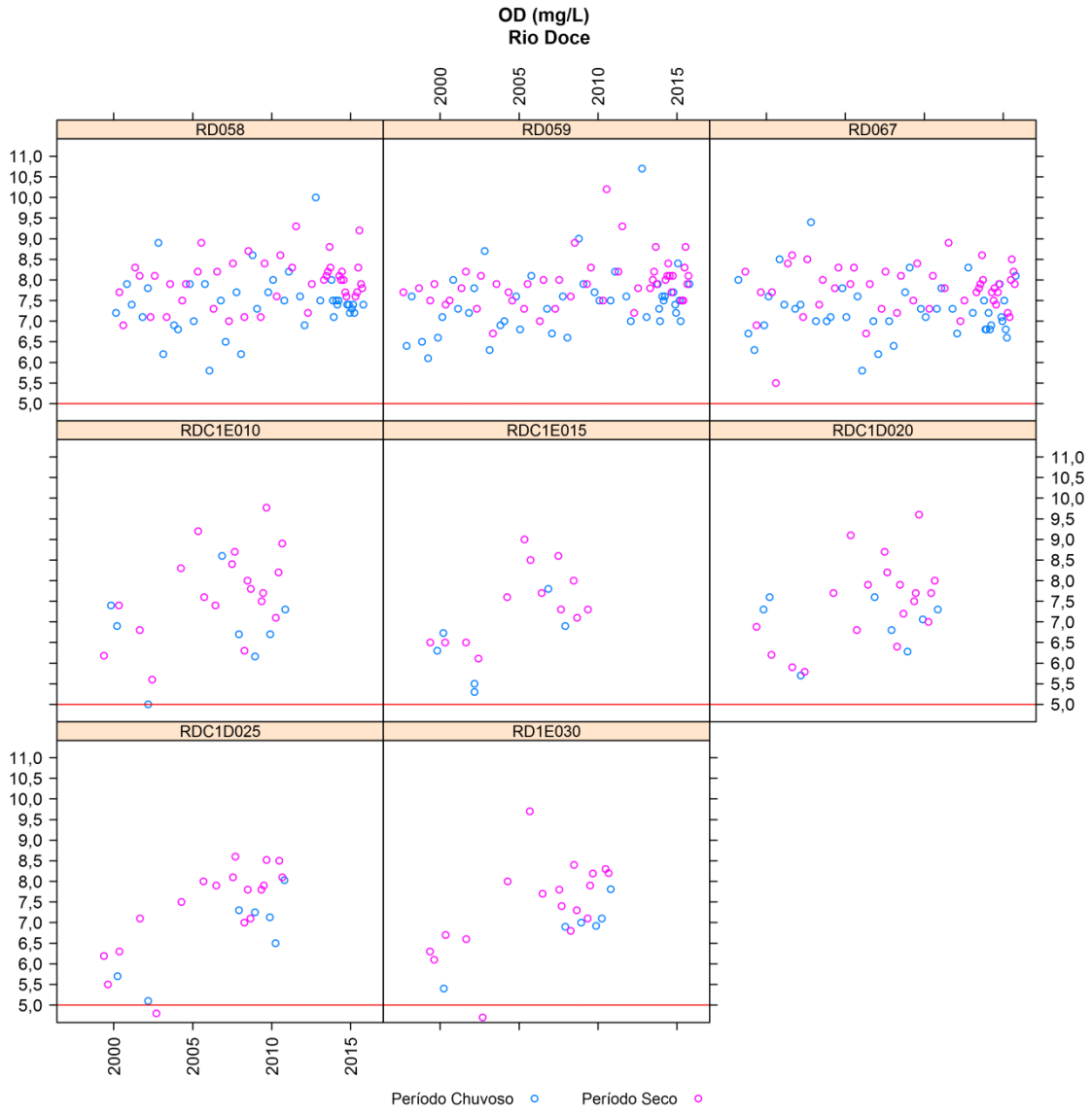


Figura 304 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



Na Figura 305 e na Figura 306 apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de OD distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas nos afluentes do rio Doce, de montante para jusante. Em Minas Gerais, não se observaram oscilações consideráveis das concentrações de OD nos afluentes. No Espírito Santo, assim como observado para o rio Doce, a tendência foi de valores mais elevados ao longo do tempo nos afluentes.

Figura 305 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte I).

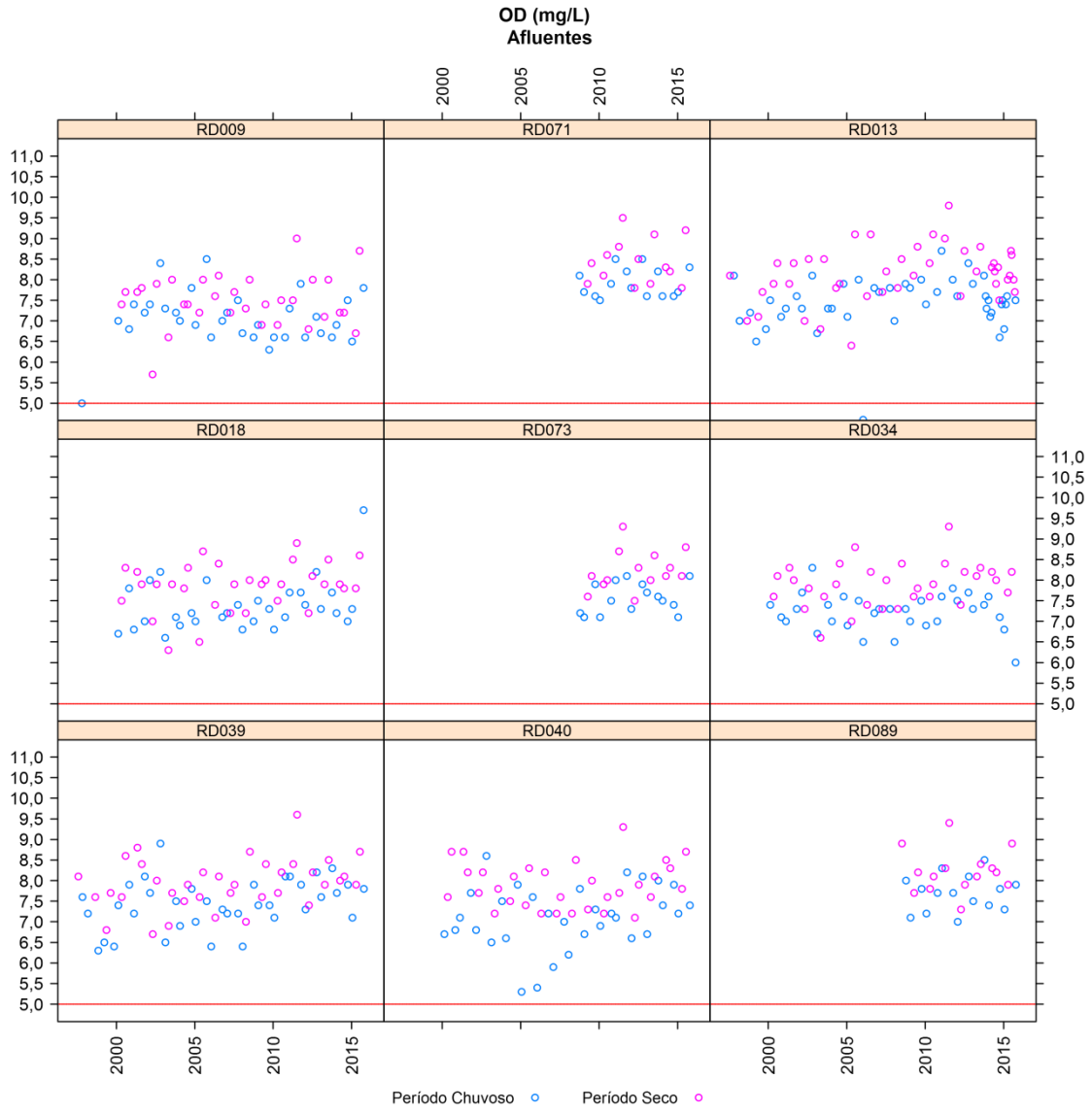
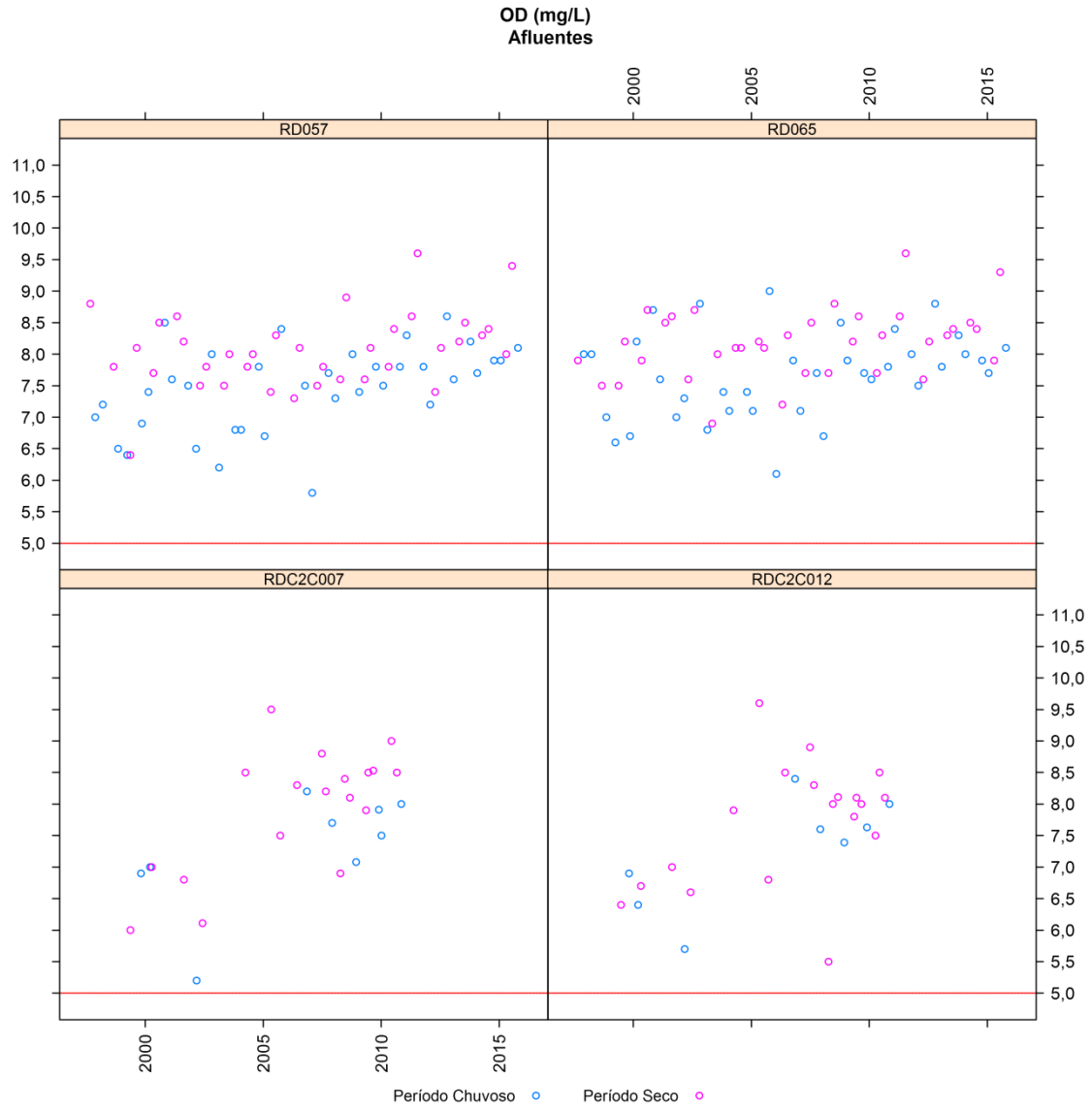


Figura 306 – Gráficos de dispersão dos dados de oxigênio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.9.16 pH *in loco*

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante, podendo determinadas condições de pH contribuírem para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Dessa forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de acordo com a legislação federal (Resolução CONAMA nº 357/2005). Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6,0 e 9,0 (PIVELI; KATO, 2005). Valores de pH mais alcalinos em águas naturais podem ser resultantes de constituintes à base de íons carbonatos e bicarbonatos de metais alcalinos e de alcalinos terrosos (OLIVEIRA, 2016).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar valor de pH entre 6,0 e 9,0. Nesse contexto, foram avaliadas as séries históricas de dados do IGAM/MG e do IEMA/ES no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 117) e seus afluentes (Tabela 118), de montante para jusante.

Tabela 117 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para pH *in loco* no rio Doce.

Rio Doce							
pH *in loco*							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	2%	25	0%	23	4%
	RD019	92	0%	47	0%	45	0%
	RD023	92	0%	47	0%	45	0%
	RD035	85	1%	44	0%	41	2%
	RD033	92	0%	47	0%	45	0%
	RD083	49	2%	26	0%	23	4%
	RD044	83	0%	43	0%	40	0%
	RD045	92	0%	47	0%	45	0%
	RD053	91	1%	47	0%	44	2%
	RD058	83	0%	43	0%	40	0%
	RD059	92	0%	47	0%	45	0%
	RD067	90	1%	46	2%	44	0%
ES	RDC1E010	26	0%	19	0%	7	0%
	RDC1E015	19	0%	13	0%	6	0%
	RDC1D020	27	4%	19	5%	8	0%
	RDC1D025	25	4%	18	6%	7	0%
	RDC1E030	25	8%	18	11%	7	0%

Nota: n: número de observações.

Para as estações de monitoramento do rio Doce (Tabela 117), não houve tendência de aumento ou diminuição do número de desacordos quando comparados os períodos seco e chuvoso, sendo que para a maioria delas não se observou desacordo com a faixa de limites legislada. No período seco, desacordos foram observados nas estações de jusante, não passando de 11%. No período chuvoso, desacordos foram registrados nas estações de montante, não passando de 4%.

Para as estações localizadas em afluentes do rio Doce (Tabela 118), assim como para as estações localizadas no rio principal, não se observaram desacordos para a maioria delas. No período seco, os percentuais de desacordos não passaram de 6% e, no período chuvoso, não passaram de 14%.

Tabela 118 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para pH *in loco* em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
pH *in loco*							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	66	0%	33	0%	33	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	89	0%	44	0%	45	0%
	RD018	64	0%	32	0%	32	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	64	0%	32	0%	32	0%
	RD039	73	10%	36	6%	37	14%
	RD040	64	3%	32	0%	32	6%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	73	0%	36	0%	37	0%
	RD065	73	0%	36	0%	37	0%
ES	RDC2C007	27	4%	18	6%	9	0%
	RDC2C012	27	7%	19	5%	8	13%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 307 e a Figura 308 apresentam os valores de mediana de pH para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Tanto para o rio Doce quanto para seus afluentes, não houve variações que pudessem ser consideradas entre o período seco e chuvoso.

No rio Doce, os valores de mediana não foram muito diferentes em termos espaciais, variando de 6,8 a 7,2, no período total. Nos afluentes, a variação foi maior: 5,5 a 8,5, no período total.

Figura 307 – Medianas dos valores de pH *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

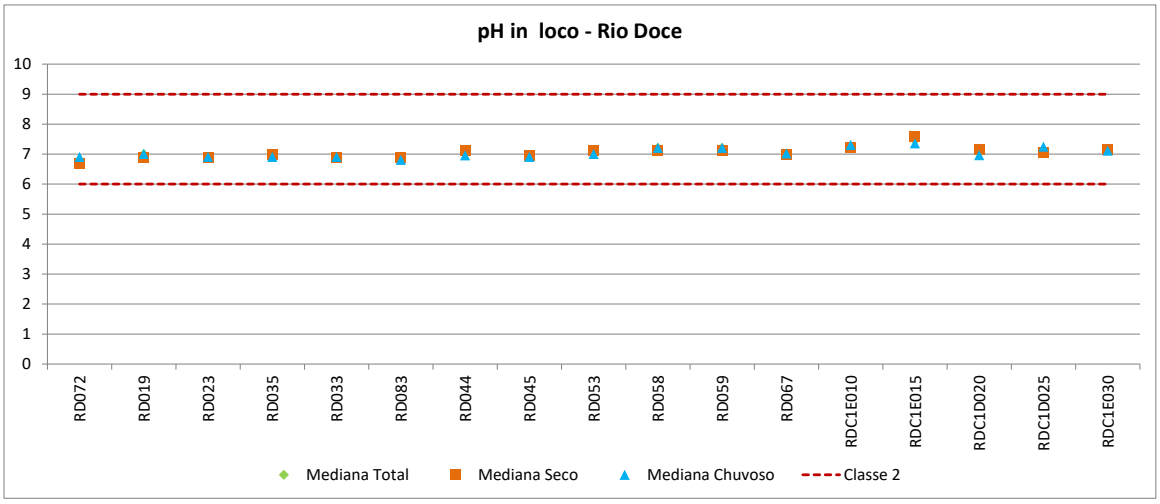
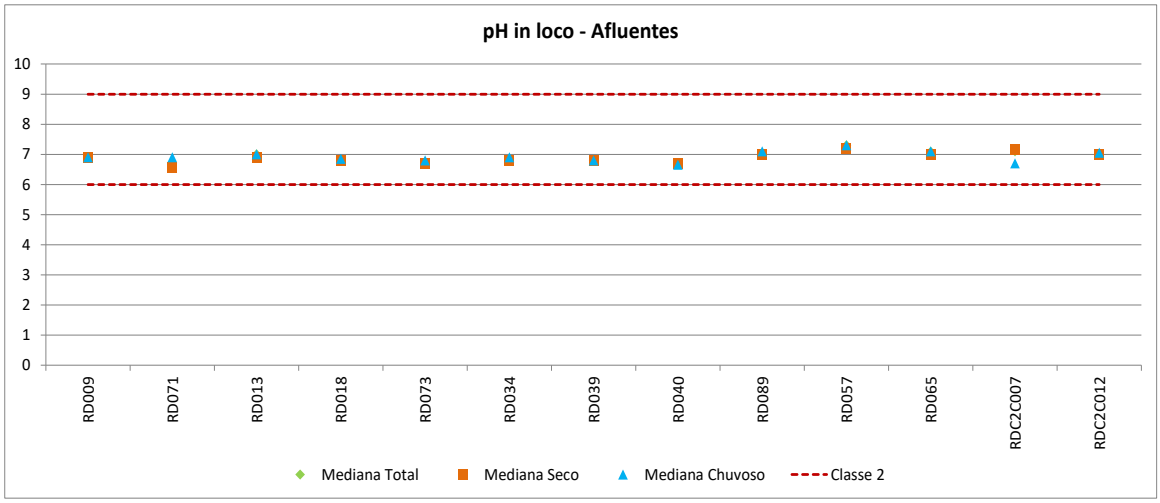


Figura 308 – Medianas dos valores de pH *in loco* para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão dos valores de pH ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 309) e parte II (Figura 310).

O comportamento da referida variável, apesar de variar ao longo do tempo, manteve-se dentro da faixa de 6,0 a 9,0, de modo geral. Dessa forma, poucos desacordos para o pH foram registrados em relação à faixa de 6,0 a 9,0, sendo estes sempre inferiores a 6,0 e não superiores a 9,0. Em especial, é possível notar para as estações do IEMA/ES a menor quantidade de dados disponíveis.

Figura 309 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).

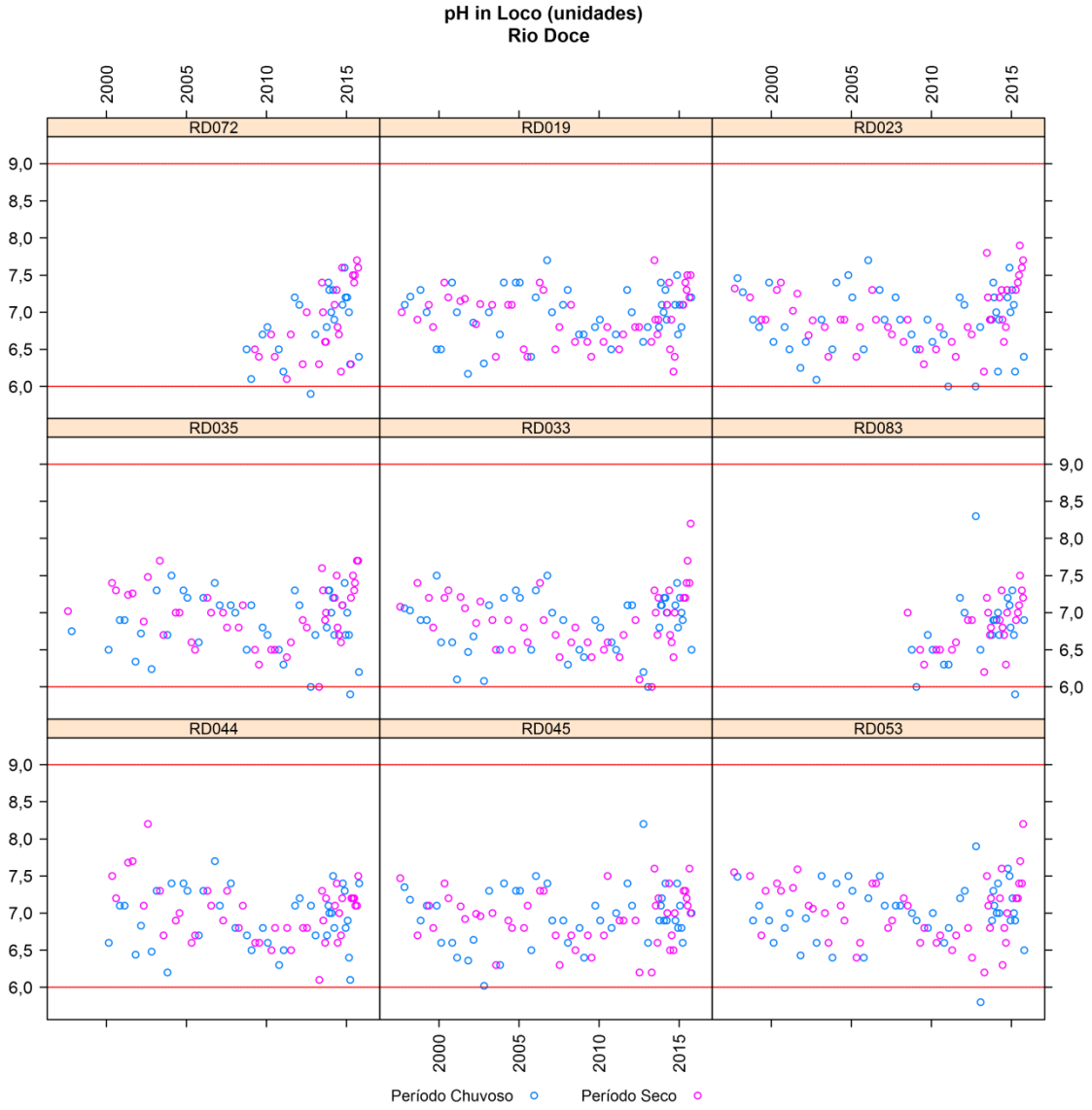
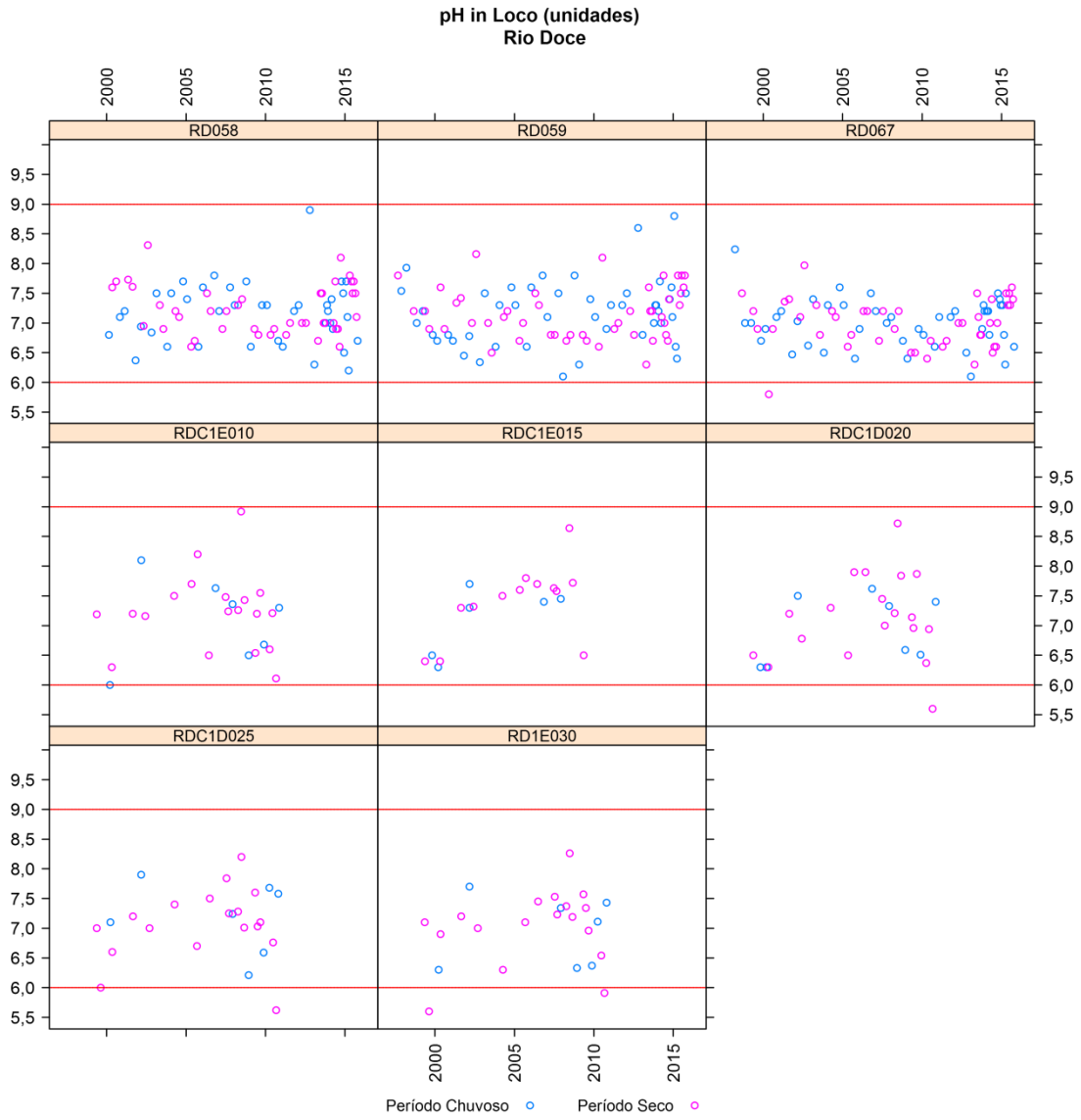


Figura 310 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



A Figura 311 (parte I) e a Figura 312 (parte II) apresentam os valores de pH ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas nos afluentes do rio Doce, de montante para jusante. De modo geral, foram registrados poucos desacordos nas estações situadas nos afluentes. Na estação RD039, foi observado o maior número de desacordos para o pH, sendo estes sempre inferiores a 6,0. O comportamento da referida variável, apesar de variar ao longo do tempo, se manteve dentro da faixa de 6,0 a 9,0, de modo geral.

Figura 311 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte I).

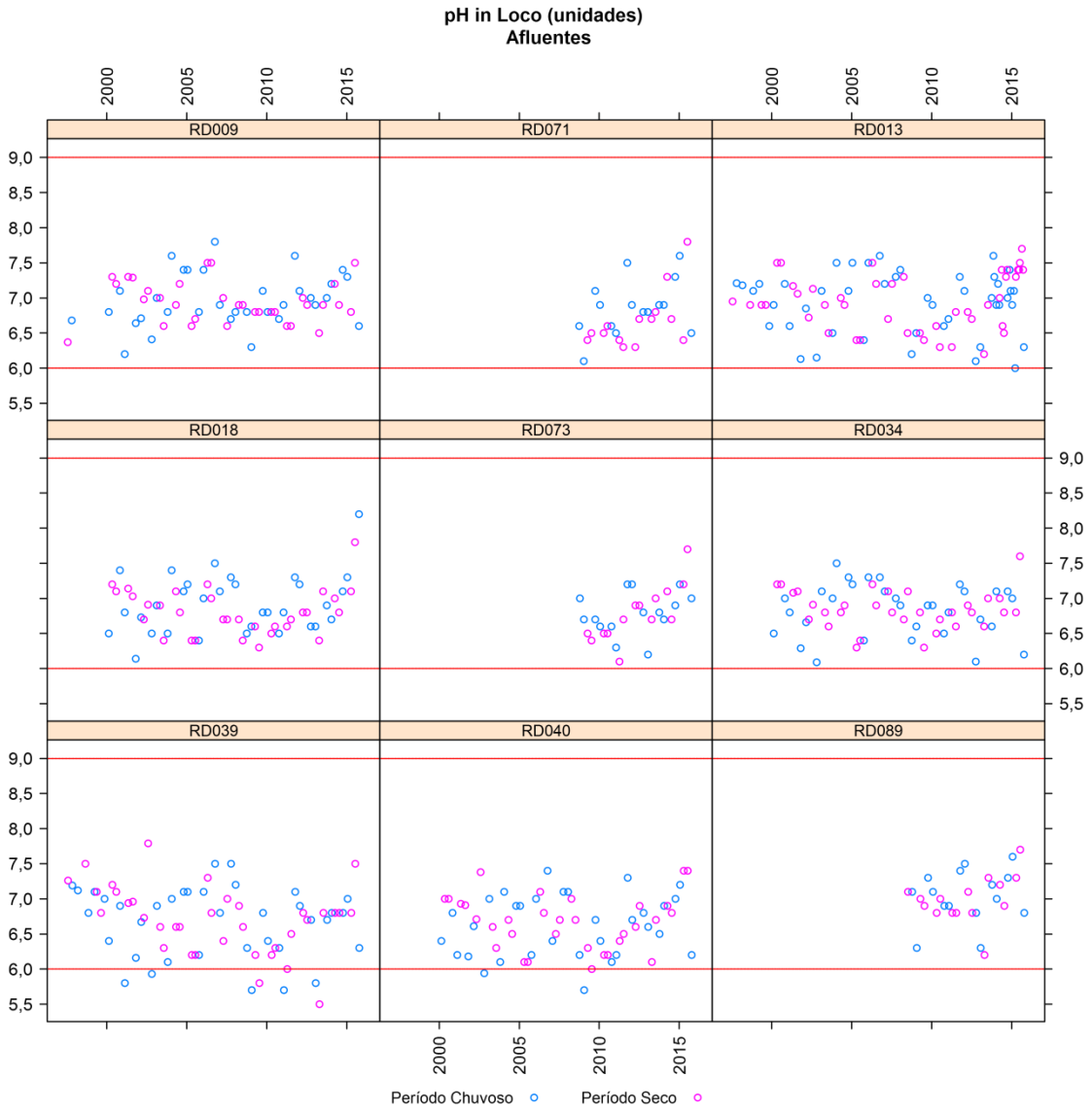
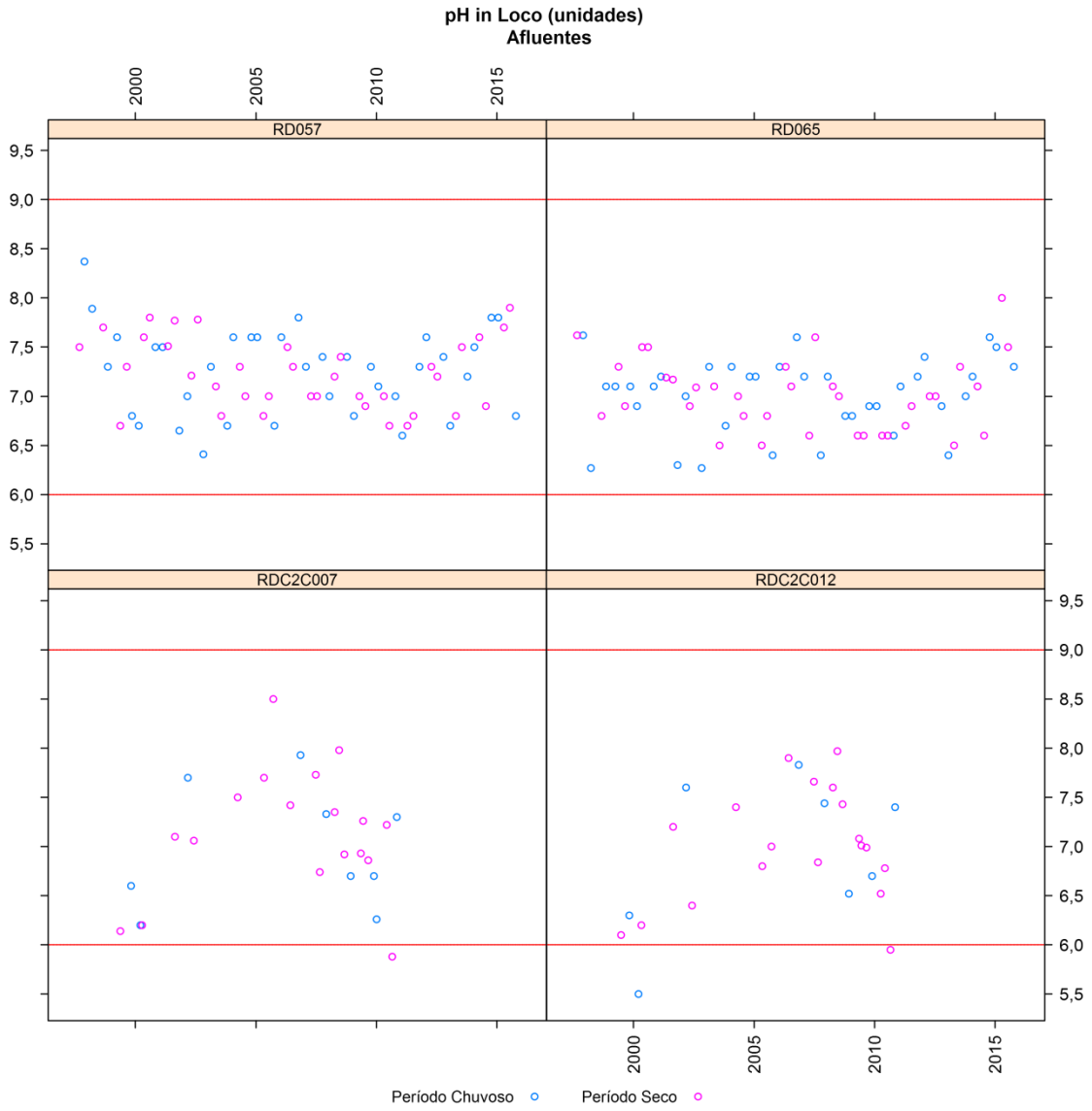


Figura 312 – Gráficos de dispersão dos dados de pH *in loco* ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.9.17 Selênio total

O selênio é um elemento que ocorre em baixas concentrações em águas naturais. Fontes antropogênicas relacionam-se a descargas de efluentes industriais, sendo essa substância utilizada no fabrico de eletrônicos, cerâmicas e xampus. O selênio é considerado um elemento-traço não essencial para plantas, mas essencial para animais. No entanto, em concentrações acima de valores-traço pode ser tóxico (APHA, 2005; PIVELI; KATO, 2005).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, as concentrações de selênio total não devem ultrapassar 0,01 mg/L em rios de Classe 2. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG, entre os anos de 1998 e 2013, no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,0005 mg/L.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 119) e seus afluentes (Tabela 120), de montante para jusante.

Tabela 119 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para selênio total no rio Doce.

Rio Doce							
Selênio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	10	0%	5	0%	5	0%
	RD019	31	0%	16	0%	15	0%
	RD023	31	0%	16	0%	15	0%
	RD035	28	0%	14	0%	14	0%
	RD033	31	0%	16	0%	15	0%
	RD083	11	0%	6	0%	5	0%
	RD044	28	0%	14	0%	14	0%
	RD045	31	0%	16	0%	15	0%
	RD053	31	0%	16	0%	15	0%
	RD058	28	0%	14	0%	14	0%
	RD059	31	0%	16	0%	15	0%
	RD067	31	0%	16	0%	15	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 120 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para selênio total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Selênio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	28	0%	14	0%	14	0%
	RD071	10	0%	5	0%	5	0%
	RD013	31	0%	16	0%	15	0%
	RD018	28	0%	14	0%	14	0%
	RD073	10	0%	5	0%	5	0%
	RD034	28	0%	14	0%	14	0%
	RD039	31	0%	16	0%	15	0%
	RD040	28	0%	14	0%	14	0%
	RD089	11	0%	6	0%	5	0%
	RD057	31	0%	16	0%	15	0%
	RD065	31	0%	16	0%	15	0%

Nota: n: número de observações.

Observou-se que tanto para as estações do rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes não foram registrados desacordos durante o período avaliado.

Avaliação espacial

A Figura 313 e a Figura 314 apresentam os valores de mediana de selênio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Tanto nas estações do rio Doce quanto naquelas situadas em seus tributários, os valores das medianas foram de 0,0005 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso).

Figura 313 – Medianas dos valores de selênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

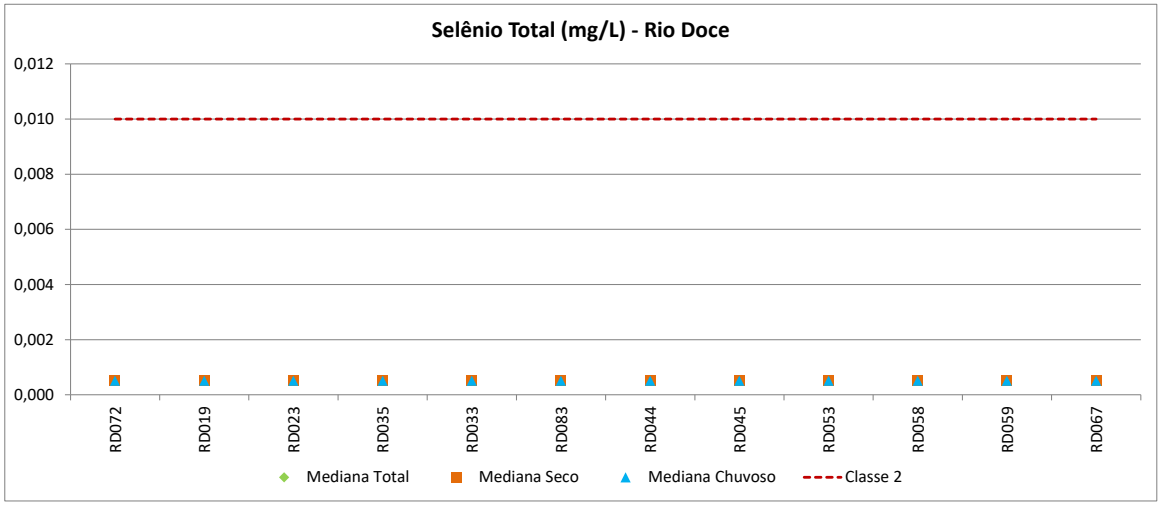
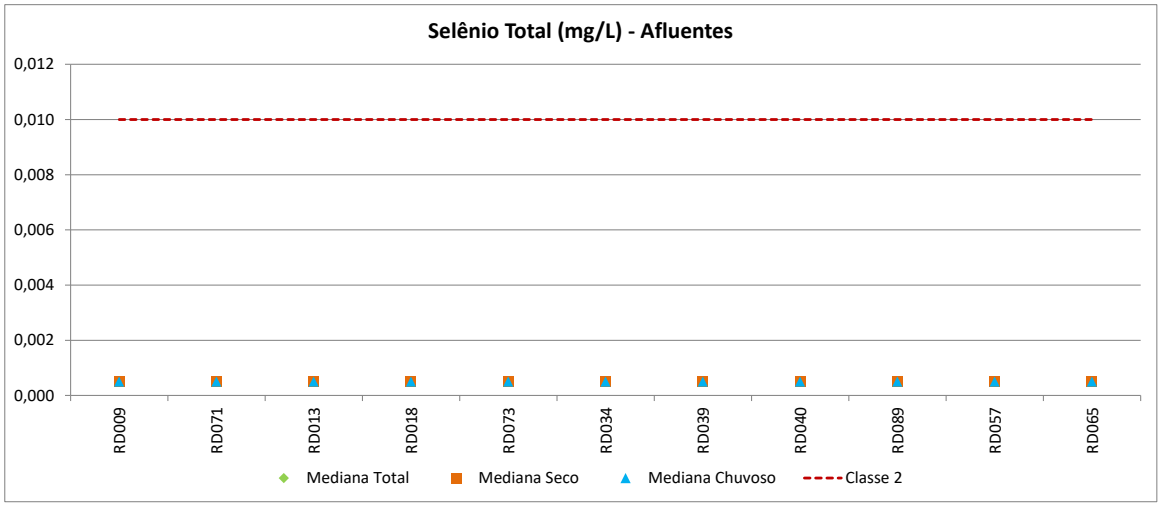


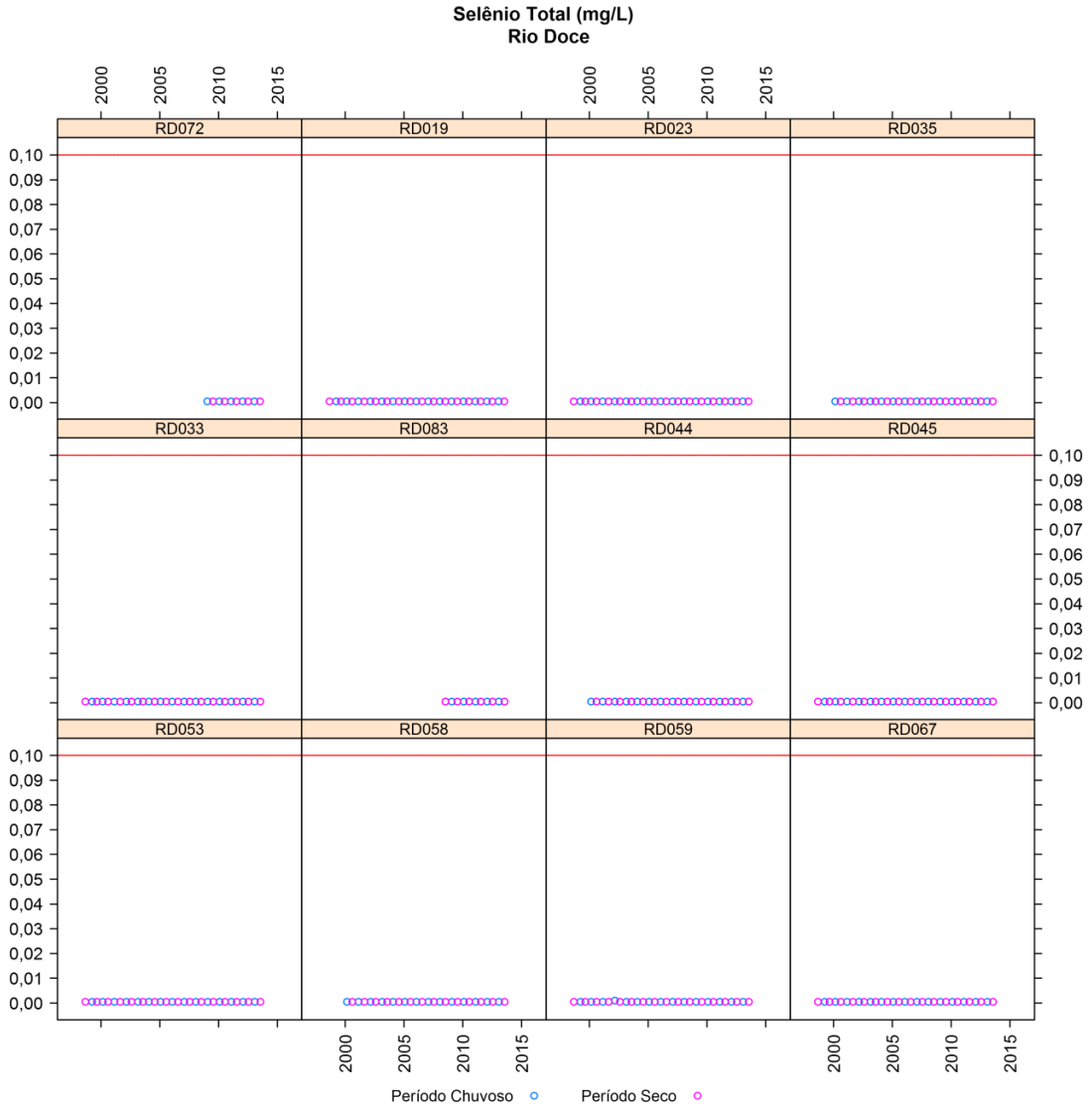
Figura 314 – Medianas dos valores de selênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de selênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 315) e seus afluentes (Figura 316), de montante para jusante.

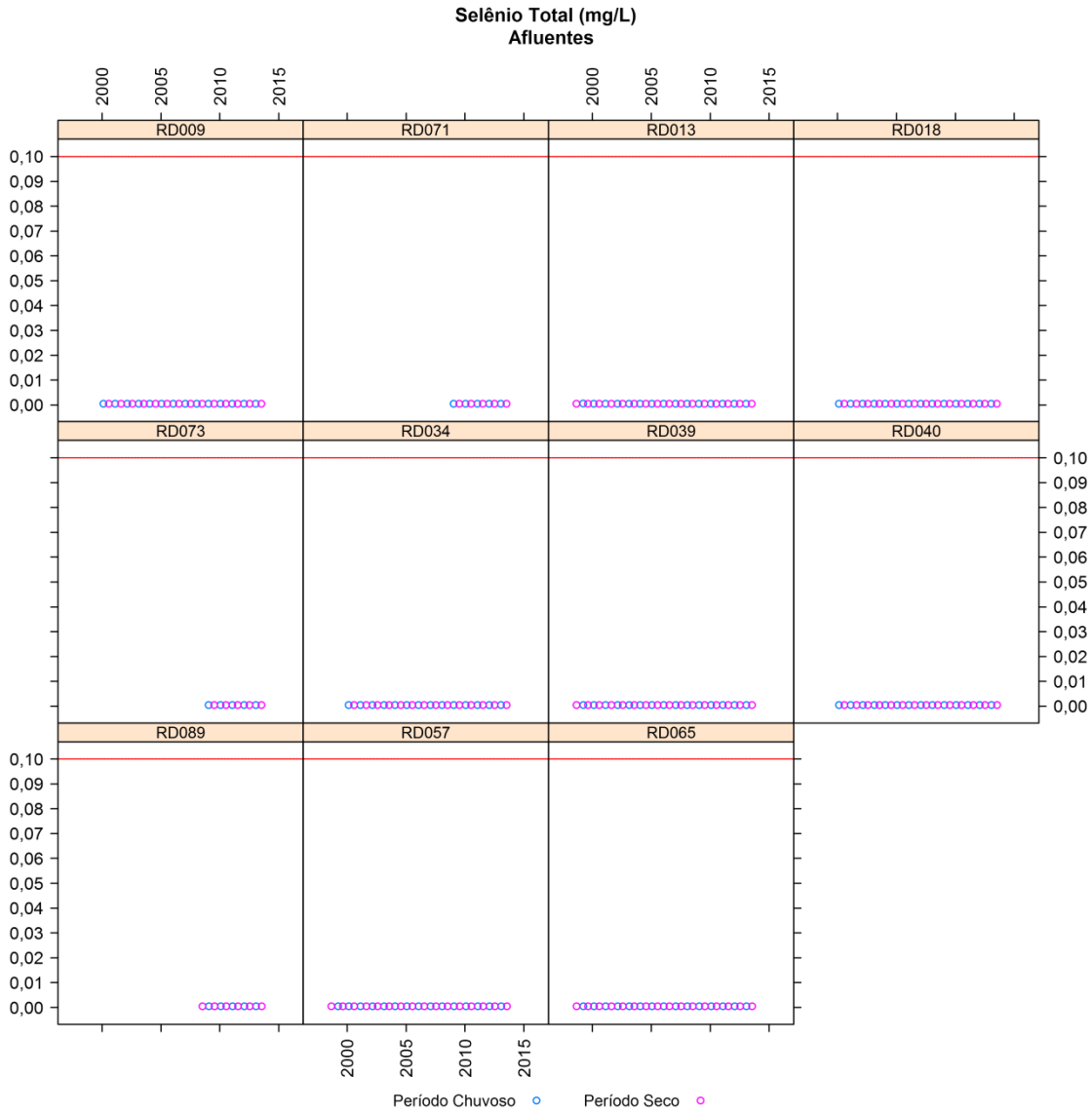
Figura 315 – Gráficos de dispersão dos dados de selênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



As concentrações de selênio total tenderam ao limite de quantificação do método (0,0005 µg/L) em todo o período monitorado nas estações situadas no rio Doce e seus tributários.

Conforme comentado no item 3.8.4, quando os resultados das análises dos parâmetros de qualidade de água resultaram em "inferior ao limite de quantificação (LQ)", utilizou-se o próprio valor do LQ para fins de cálculo. Ou seja, originalmente os dados de selênio total resultaram em < 0,0005 mg/L, mas, para fins de cálculo, adotou-se o valor 0,0005 µg/L.

Figura 316 – Gráficos de dispersão dos dados de selênio ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.9.18 Sulfato total

O sulfato é o ânion SO_4^{-2}, um dos mais abundantes íons na natureza. Origina-se do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados que são muito solúveis, exceto $SrSO_4$ e $BaSO_4$ (FEITOSA, 1997 apud COSTA, 2001).

Nas águas superficiais, ocorre em descargas de esgotos domésticos (por exemplo, através da degradação de proteínas) e efluentes industriais (exemplos: efluentes de indústrias de celulose e papel, química, farmacêutica etc.). Em águas tratadas, o sulfato é proveniente do emprego de coagulantes como o sulfato de alumínio, o sulfato ferroso, o sulfato férrico e a caparrosa clorada (PIVELI; KATO, 2005).

Os sulfatos também podem se originar da oxidação da pirita, bem como da lixiviação de minerais como gipsita e anidrita, sendo, geralmente, muito solúveis (SANTOS, 1997 apud MARTINS, 2005).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 podem apresentar concentrações de sulfato total de até 250 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 121) e seus afluentes (Tabela 122).

De acordo com a Tabela 121 e a Tabela 122, não foram observados desacordos com o limite legislado durante o período avaliado, tanto nas estações de monitoramento do rio Doce quanto naquelas situadas em seus afluentes.

Tabela 121 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sulfato total no rio Doce.

Rio Doce							
Sulfato Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	14	0%	7	0%	7	0%
	RD019	36	0%	18	0%	18	0%
	RD023	36	0%	18	0%	18	0%
	RD035	32	0%	16	0%	16	0%
	RD033	36	0%	18	0%	18	0%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	36	0%	18	0%	18	0%
	RD053	35	0%	18	0%	17	0%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	36	0%	18	0%	18	0%
	RD067	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 122 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para sulfato total em afluentes do rio Doce.

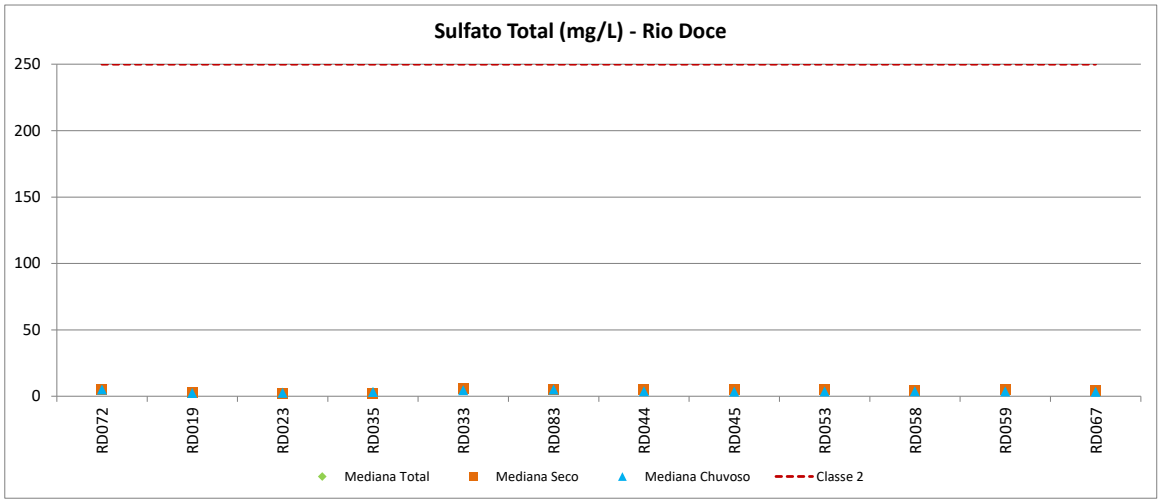
Afluentes							
Sulfato Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	32	0%	16	0%	16	0%
	RD071	14	0%	7	0%	7	0%
	RD013	36	0%	18	0%	18	0%
	RD018	32	0%	16	0%	16	0%
	RD073	14	0%	7	0%	7	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	36	0%	18	0%	18	0%
	RD040	32	0%	16	0%	16	0%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	36	0%	18	0%	18	0%
	RD065	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

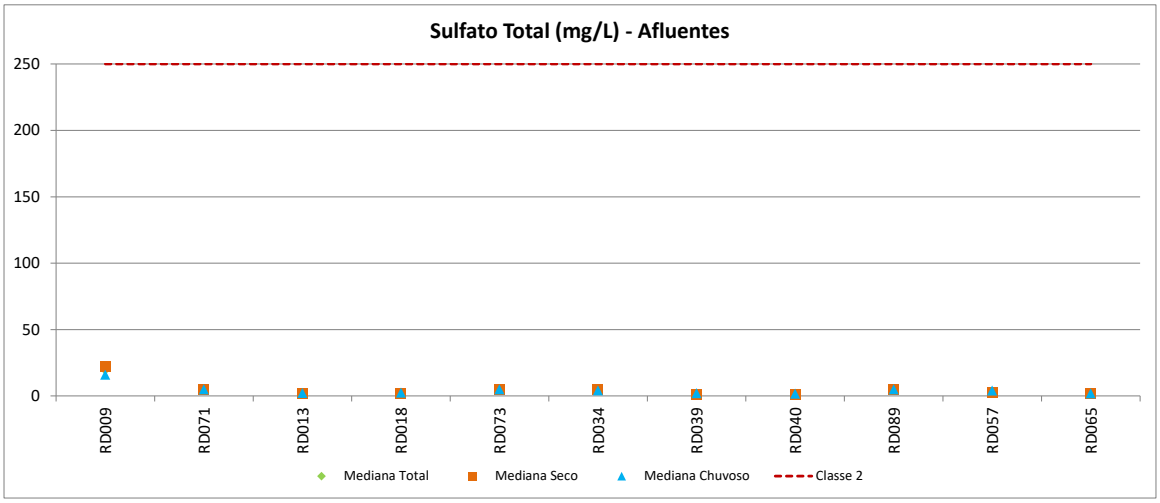
A Figura 317 e a Figura 318 apresentam os valores de mediana de sulfato total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Para as estações localizadas no rio Doce (Figura 317), pouca oscilação foi observada ao longo do referido curso d'água, com valores de mediana do período total variando de 2,45 a 5,15 mg/L.

Figura 317 – Medianas dos valores de sulfato total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações situadas em afluentes do rio Doce (Figura 318), notou-se valor mais elevado na estação RD009, no rio do Carmo, com mediana para o período total igual a 19,70 mg/L. Para as demais estações, as medianas variaram entre 1,30 e 5,00 mg/L, considerando o período total.

Figura 318 – Medianas dos valores de sulfato total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de sulfato total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 319) e seus afluentes (Figura 320), de montante para jusante.

Para as estações no rio Doce (Figura 319), observou-se pouca variação na série de dados, com concentrações de sulfato total variando de 1,0 mg/L a 10,0 mg/L, de modo geral. Mesmo quando considerados os valores máximos encontrados, estes se encontram muito abaixo do limite legislado para rios de Classe 2, de 250 mg/L.

Nos afluentes (Figura 320), de modo geral, também se observou pouca variação na série de dados, com concentrações de sulfato total variando de 1,0 mg/L a 10,0 mg/L, assim como registrado nas estações do rio Doce. Exceção se fez na estação RD009, no rio do Carmo, onde as concentrações variaram de 5,80 a 70,40 mg/L, com mediana de 19,70 mg/L e média de 22,71 mg/L.

Figura 319 – Gráficos de dispersão dos dados de sulfato total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

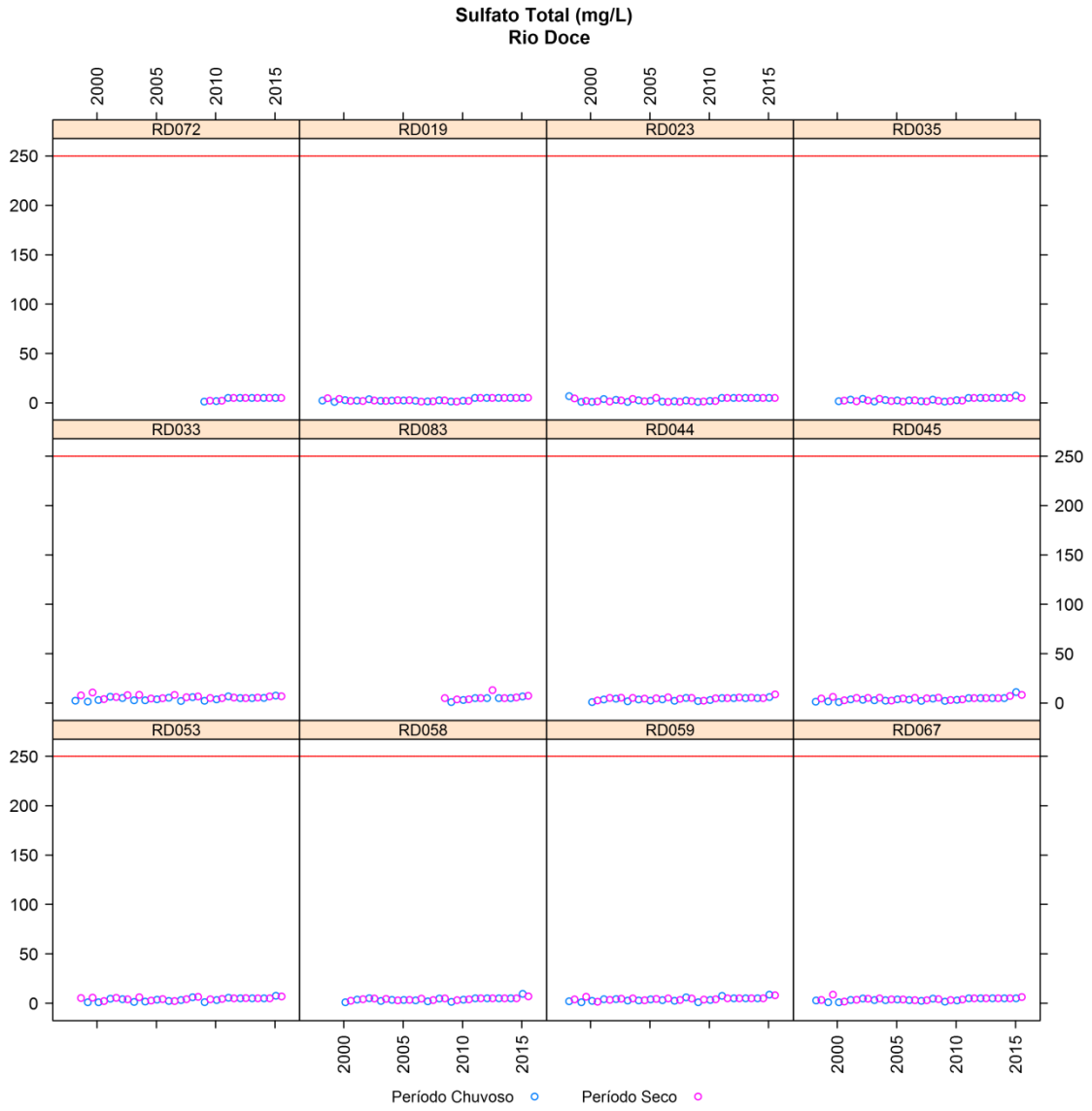
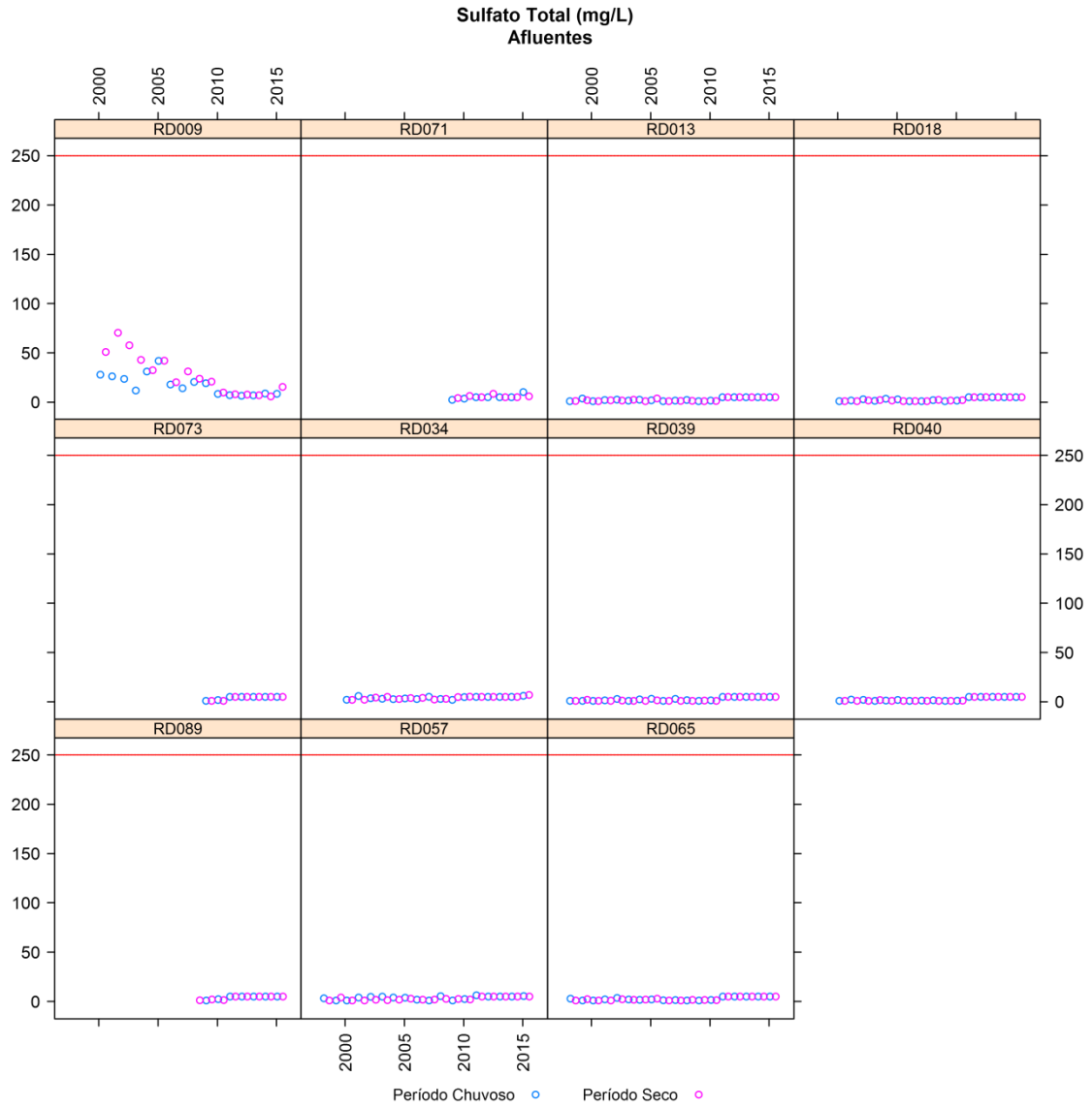


Figura 320 – Gráficos de dispersão dos dados de sulfato total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10 Resultados das variáveis químicas da água (metais e semimetais)

3.8.10.1 Alumínio total

Entre os metais, o alumínio é o mais abundante na crosta terrestre e, dessa forma, pode ocorrer naturalmente em águas superficiais, advindo da erosão do solo. Em boa parte da região de análise, predominam as classes de solo latossolo vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo, sendo o primeiro considerado acentuadamente drenado, com baixa saturação de bases (distróficos) e predominantemente alto em alumínio, resultante de rochas gnáissicas, leuco e mesocráticas, de caráter ácido, magmáticos charnoquitos, xistos e de depósitos argiloarenosos; o segundo é resultante de gnaisses diversos, charnoquitos, xistos e

magmáticos (OLIVEIRA, 2016; FUKUZAWA, 2008). Sua presença também é associada à indústria, às atividades agrícolas e à mineração.

O íon alumínio sob elevados índices de precipitações fluviais em climas tropicais e subtropicais pode ser liberado para o solo e para os lençóis freáticos a partir do intemperismo das rochas e, dependendo de sua concentração, são considerados ou denominados solos lateríticos, tendo um teor médio entre 1 e 32%, em massa, sendo, na sua maioria, sempre superiores a 15%. Em regiões onde é comum a ocorrência de chuvas ácidas, o alumínio pode atingir o lençol freático inviabilizando o uso de águas potáveis (SIGOLO, 1998).

Com relação a riscos à saúde humana, ainda não há consenso entre os pesquisadores sobre o assunto, sendo que a Organização Mundial de Saúde está revendo suas diretrizes quanto à presença de alumínio na água potável ou, ainda, eventuais riscos para a saúde, associados ao metal (CETESB, 2012).

O monitoramento das concentrações de alumínio total ocorreu somente para as estações do IGAM/MG até julho de 2006. Desse modo, para as estações RD072 e RD083, no rio Doce, e para as estações RD071, RD073 e RD089, em afluentes do rio Doce, que tiveram seu monitoramento iniciado em 2008, não existe registro de dados de alumínio total.

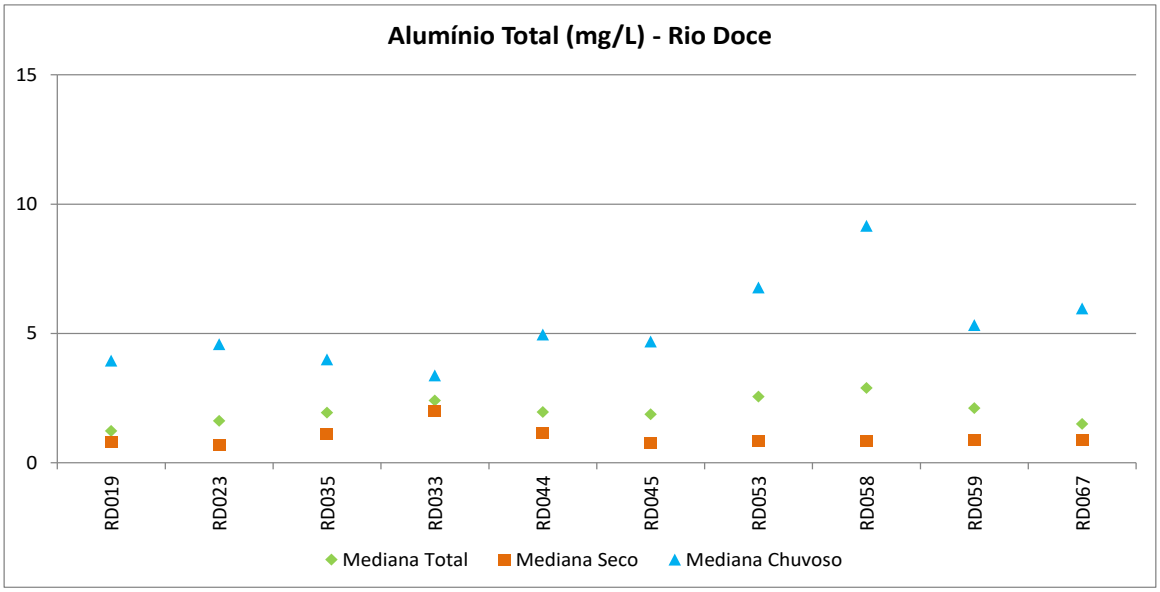
Na Resolução CONAMA nº 357/2005, não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 321 e a Figura 322 apresentam os valores de mediana de alumínio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

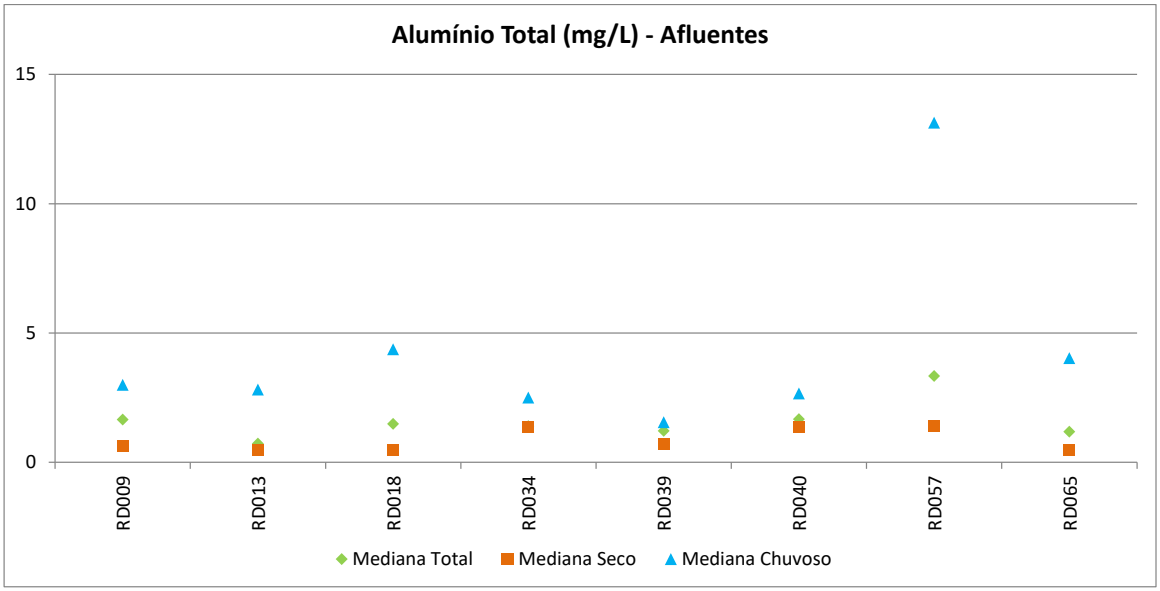
Para as estações do rio Doce (Figura 321), observaram-se valores mais elevados no período chuvoso, sendo essa diferença menos significativa na estação RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre). De acordo com as medianas calculadas para o período total, os valores apresentaram-se homogêneos, variando de 1,22 mg/L a 2,88 mg/L. Valor mais elevado foi observado na estação RD033 (período total).

Figura 321 – Medianas dos valores de alumínio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Nas estações localizadas nos afluentes do rio Doce (Figura 322), também se registraram valores mais elevados de mediana para o período chuvoso. Nas estações RD018 (rio Casca), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu), a diferença foi mais evidente. As medianas calculadas para o período total variaram de 0,72 a 3,34 mg/L. Valor mais elevado foi observado na estação RD057 (rio Caratinga).

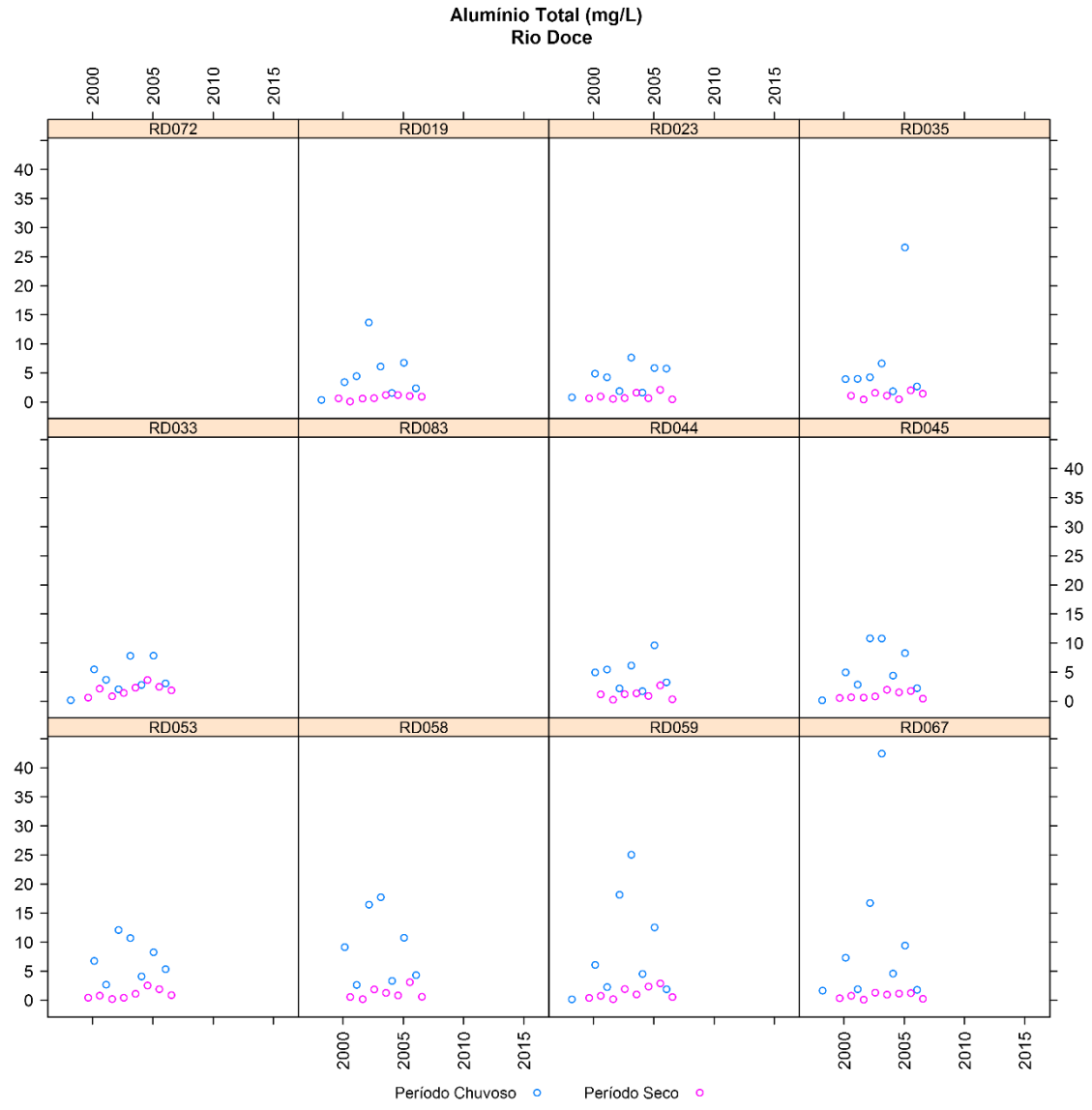
Figura 322 – Medianas dos valores de alumínio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de alumínio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 323) e seus afluentes (Figura 324), de montante para jusante.

Figura 323 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

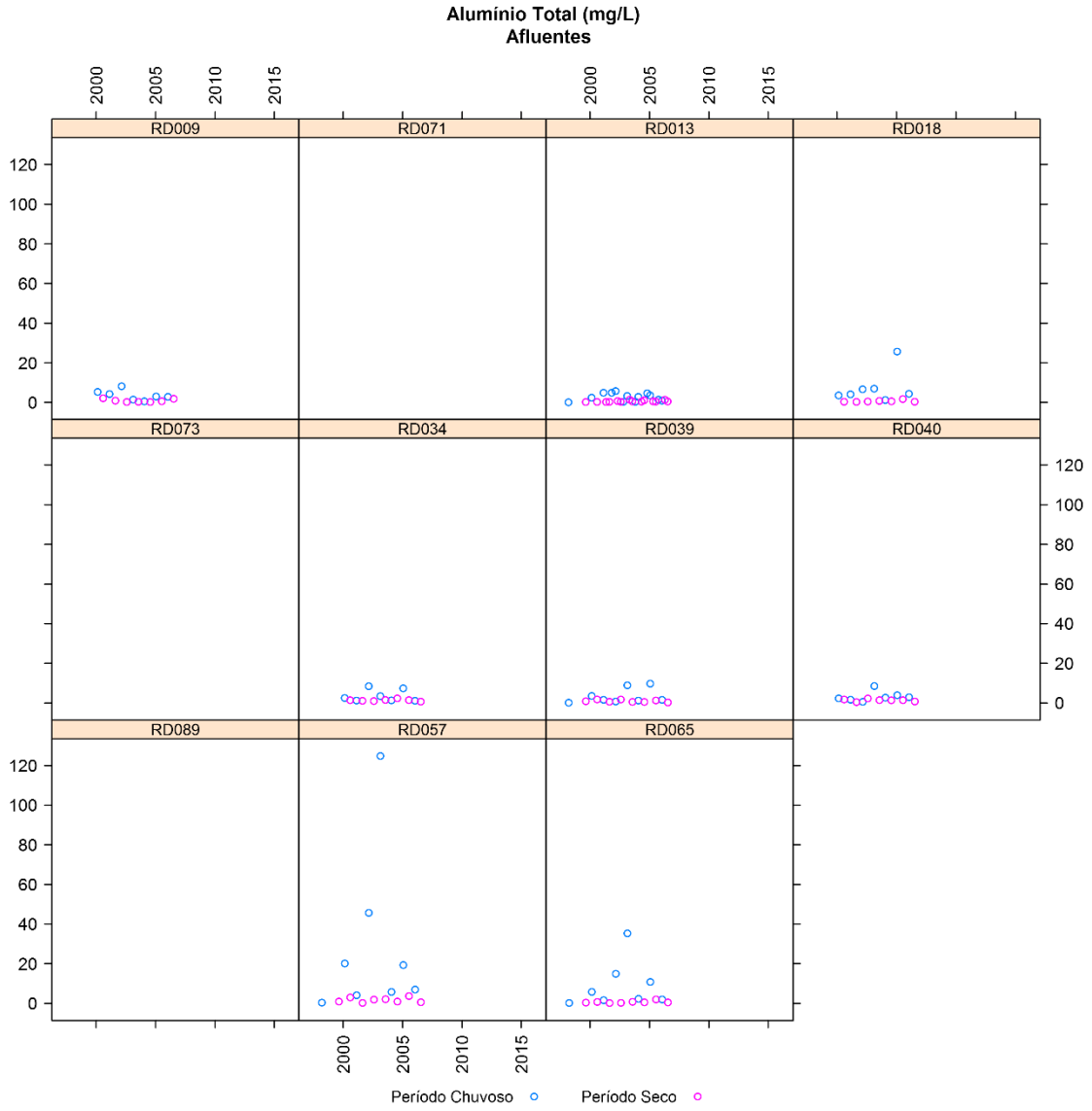


Em relação à Figura 323, observou-se, para as estações situadas mais a jusante (RD058, RD059 e RD067), além da estação RD035, no município de Santana do Paraíso, maior variação dos dados (mínimo: 0,11 mg/L e máximo: 42,42 mg/L). Para as demais estações (RD019, RD023, RD033, RD044, RD045 e RD053), o valor mínimo observado foi de 0,10 mg/L e o máximo foi de 13,68 mg/L.

Para os afluentes do rio Doce (Figura 324), maior variação na série histórica ocorreu para as estações RD018 (rio Casca), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu):

0,29 mg/L a 25,70 mg/L; 0,21 mg/L a 124,78 mg/L e 0,16 mg/L a 35,30 mg/L, respectivamente. Em relação ao valor máximo registrado para a estação RD057 (124,78 mg/L), este foi considerado estatisticamente um *outlier*, elevando o valor da média das concentrações da referida estação.

Figura 324 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.2 Alumínio dissolvido

A concentração de metal-traço em águas naturais pode ser determinada em sua forma total ou apenas na fração dissolvida. O metal dissolvido constitui-se de uma fração lábil e outra não lábil. O metal lábil representa a fração do metal dissolvido que inclui os íons metálicos hidratados livres e os complexos lábeis do metal associado. É normalmente assumido que o metal lábil representa a fração do metal que é biodisponível, considerado como a fração tóxica do metal dissolvido. A fração não lábil inclui metais ligados em complexos ou adsorvidos em

material orgânico (MILANI, 2004). Para mais informações, vide Alumínio Total (item 3.8.10.1).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de alumínio dissolvido de até 0,1 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 123) e seus afluentes (Tabela 124), dispostas de montante para jusante.

Para as estações de monitoramento do rio Doce (Tabela 123), percentuais de desacordos superiores a 20% ocorreram de modo geral no período chuvoso, variando de 30% a 50%. Para as estações RD072 (entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado), RD083 (entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito) e RD045 (Governador Valadares), não se observaram percentuais de desacordos tão relevantes no período chuvoso. Para o período seco, em 9 das 12 estações de monitoramento não se observou desacordo algum. Para as outras três estações (RD072, RD023 e RD033), os percentuais de desacordos não passaram de 10%.

Tabela 123 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o alumínio dissolvido no rio Doce.

Rio Doce							
Alumínio Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	14%	14	7%	15	20%
	RD019	21	14%	11	0%	10	30%
	RD023	21	19%	11	9%	10	30%
	RD035	21	14%	11	0%	10	30%
	RD033	21	19%	11	9%	10	30%
	RD083	30	3%	15	0%	15	7%
	RD044	21	14%	11	0%	10	30%
	RD045	21	10%	11	0%	10	20%
	RD053	21	14%	11	0%	10	30%
	RD058	21	19%	11	0%	10	40%
	RD059	21	14%	11	0%	10	30%
	RD067	21	24%	11	0%	10	50%

Nota: n: número de observações.

Para as estações localizadas nos afluentes do rio Doce (Tabela 124), os percentuais de desacordos também foram mais relevantes no período chuvoso: em 5 das 11 estações, observaram-se desacordos em mais de 20% do tempo avaliado, chegando a 30% para as estações RD034 (rio Piracicaba), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu). Nas estações RD018 (rio Casca), RD039 (rio Santo Antônio), RD040 (rio Corrente Grande) e

RD089 (rio Suaçuí Grande), os desacordos atingiram 20% do tempo monitorado e nas estações do rio do Carmo (RD009 e RD071) os percentuais de desacordos não passaram de 10%.

Tabela 124 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o alumínio dissolvido em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Alumínio Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	21	5%	11	0%	10	10%
	RD071	29	10%	14	14%	15	7%
	RD013	42	14%	21	5%	21	24%
	RD018	21	10%	11	0%	10	20%
	RD073	29	21%	14	14%	15	27%
	RD034	21	14%	11	0%	10	30%
	RD039	21	14%	11	9%	10	20%
	RD040	21	10%	11	0%	10	20%
	RD089	30	10%	15	0%	15	20%
	RD057	21	14%	11	0%	10	30%
	RD065	21	14%	11	0%	10	30%

Nota: n: número de observações.

No período seco, assim como observado para as estações localizadas no rio Doce, não se observaram percentuais de desacordos superiores a 20%. Em 7 das 11 estações não se registraram desacordos com o limite legislado. Para as estações RD013 (rio Piranga) e RD039 (rio Santo Antônio), os desacordos não passaram de 10%. Para as estações RD071 (rio do Carmo) e RD073 (ribeirão do Sacramento), o percentual de desacordos ficou em 14%.

É importante destacar que, caso fosse avaliado somente o período total, algumas estações não aparentariam apresentar desacordos relevantes (superiores a 20%) quanto ao parâmetro em questão, o que é alterado quando se divide a série em período seco e chuvoso.

Avaliação espacial

A Figura 325 e a Figura 326 apresentam os valores das medianas das séries de concentrações de alumínio dissolvido ao longo do rio Doce e seus afluentes, respectivamente, para os períodos total, seco e chuvoso.

Observou-se que, em termos de mediana, as séries de dados são homogêneas ao longo de toda região estudada, com os valores das medianas convergindo para 0,1 mg/L. Convém destacar que o limite de quantificação do método utilizado nas análises laboratoriais foi de 0,1 mg/L, desse modo, não foi possível quantificar as amostras de água para o alumínio dissolvido em nível inferior a este.

Figura 325 – Medianas das concentrações de alumínio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

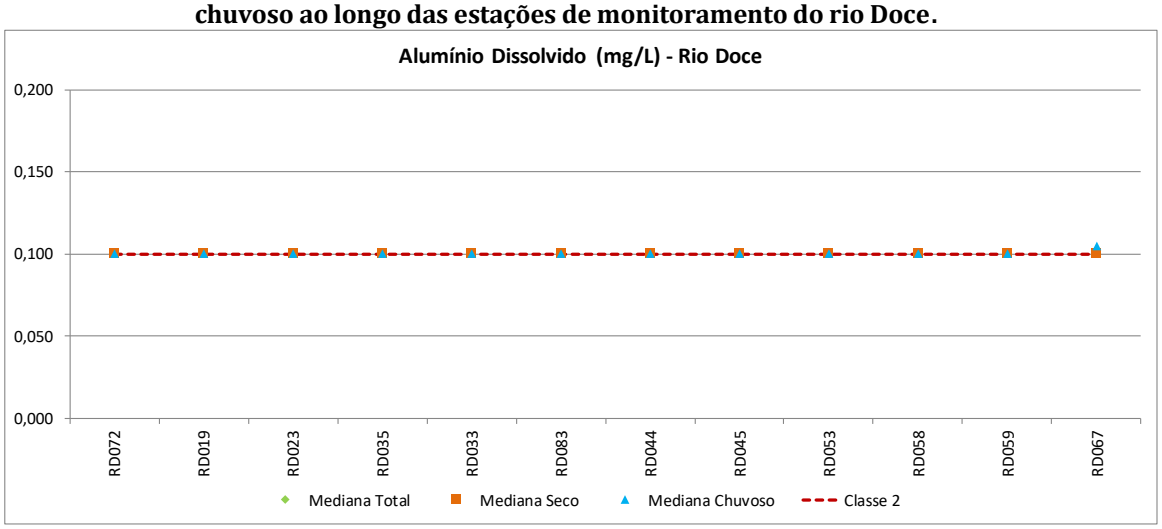
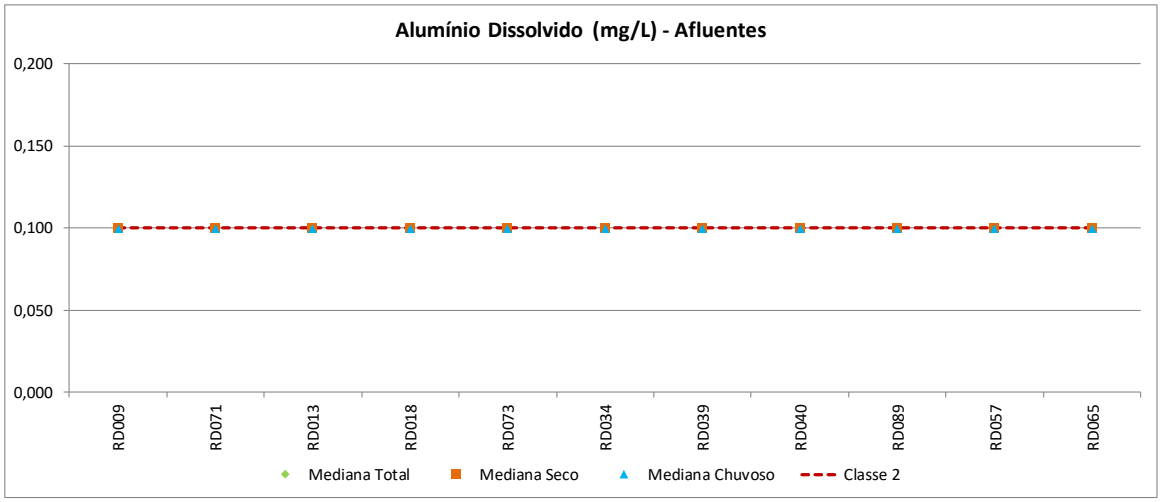


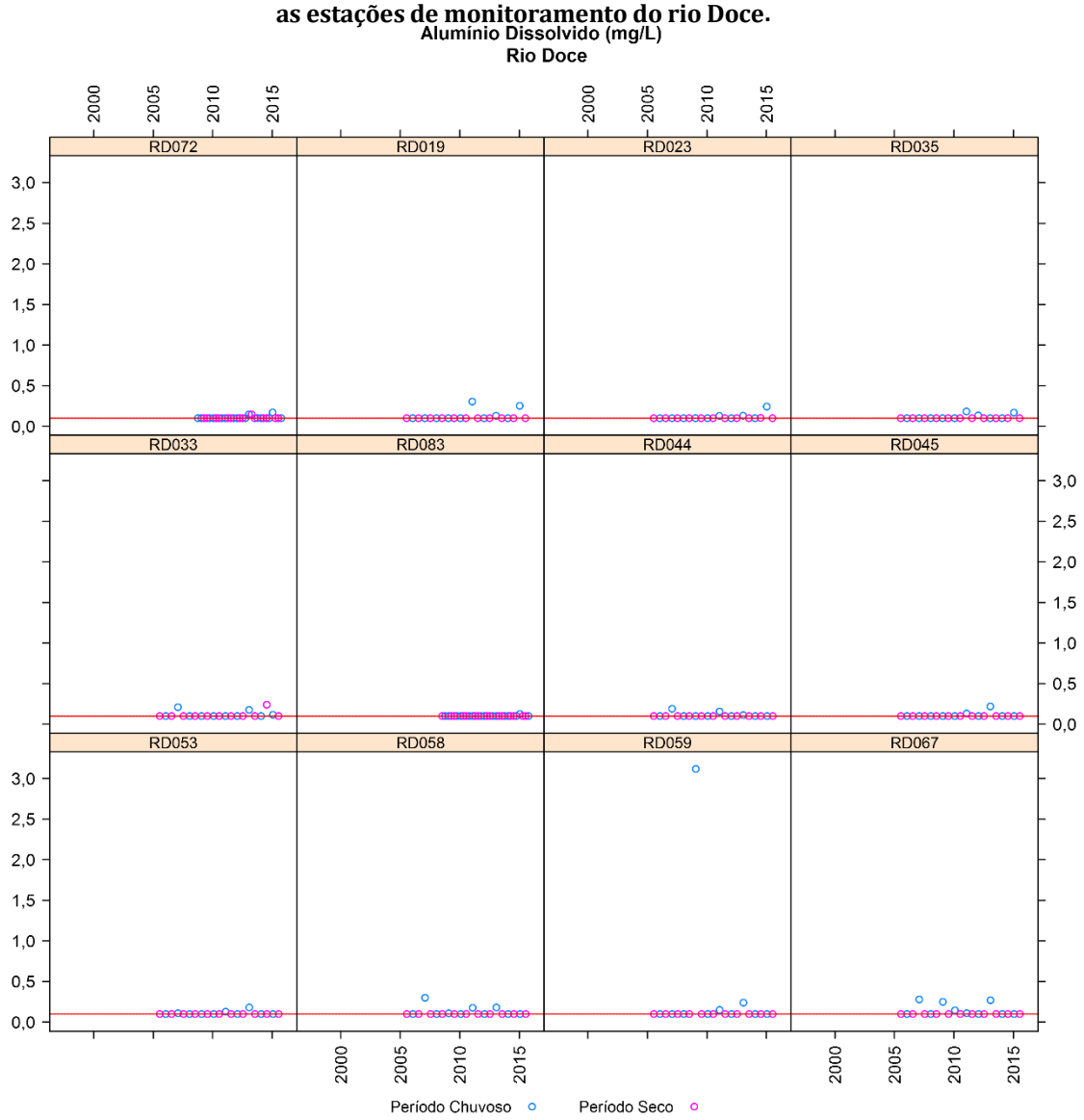
Figura 326 – Medianas das concentrações de alumínio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

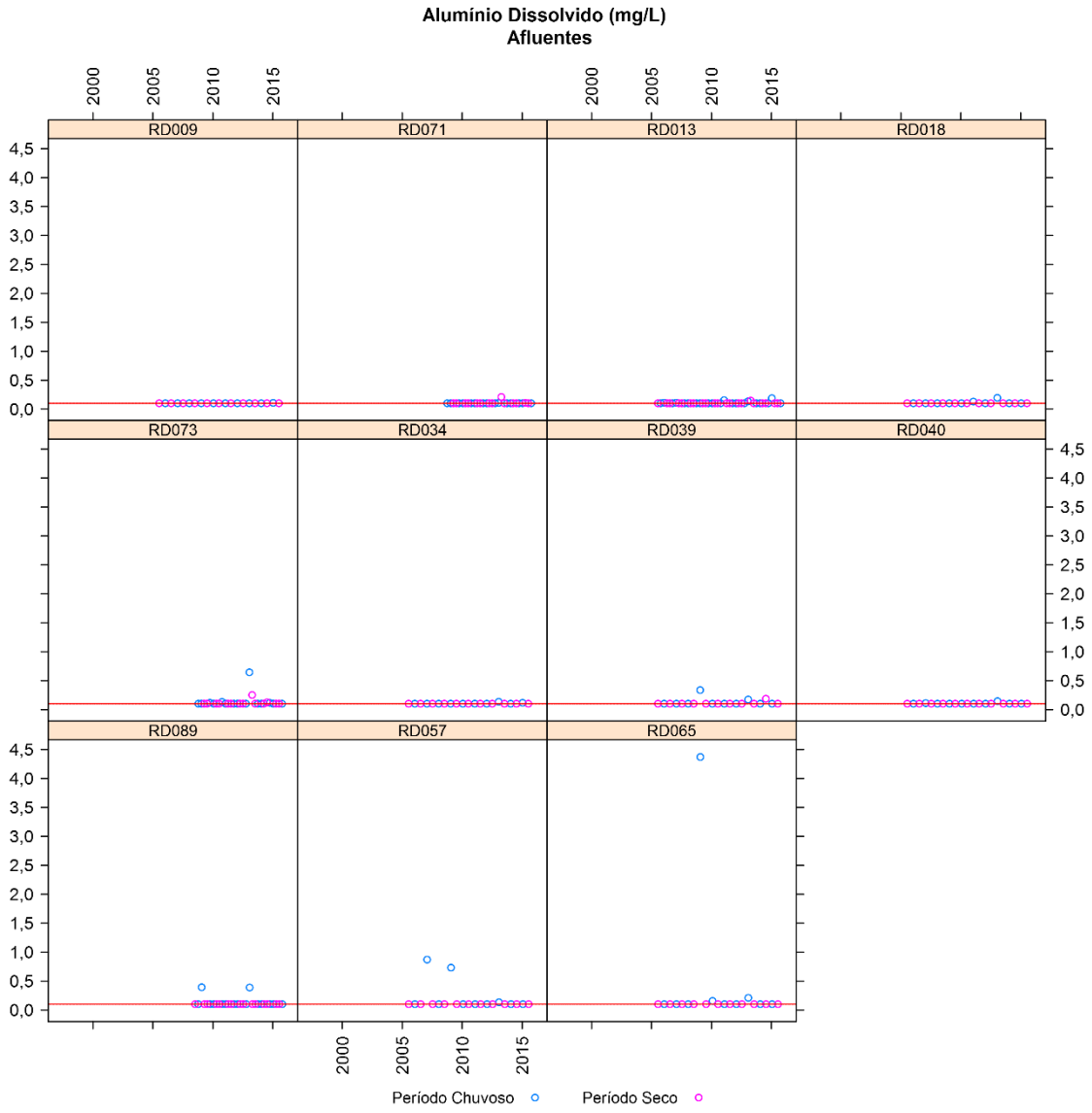
Conforme mencionado, em virtude de o limite de quantificação do método ser igual a 0,1 mg/L, não serão observados valores inferiores a este nas séries. É o que mostram a Figura 327 e a Figura 328. O valor máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios de Classe 2, é de 0,1 mg/L, como citado anteriormente. Nesse contexto, verificou-se que a maioria das concentrações não ultrapassou esse valor (Figura 327), com a presença de alguns poucos desacordos, os quais ocorreram majoritariamente no período chuvoso. Na estação RD059 (município de Resplendor), registrou-se a maior concentração de alumínio dissolvido (3,1 mg/L).

Figura 327 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Assim como para as estações do rio Doce, a maioria dos valores de alumínio dissolvido não ultrapassou 0,1 mg/L nas estações localizadas em afluentes do rio Doce, apresentando uma distribuição mais homogênea ao longo do tempo (Figura 328). Em algum momento, foram observados desacordos com o limite legislado, o que ocorreu especialmente no período chuvoso.

Figura 328 – Gráficos de dispersão dos dados de alumínio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce.



3.8.10.3 Arsênio total

O arsênio é um metaloide de baixa concentração média na crosta (1,8 ppm) e ocorre numa variedade de tipos de depósito mineral, principalmente na forma de arsenopirita e pirita arsenífera. O metal pode ser liberado na natureza a partir de um intemperismo natural, como o contato da água de rios e nascentes com rochas que apresentam elevada concentração do metal (GARDENAL, 2002). É usado como inseticida, herbicida, fungicida na indústria da preservação da madeira e está presente em atividades relacionadas à mineração (PIVELI; KATO, 2005).

Nas mineralizações auríferas do QF, quanto ao potencial poluidor, de acordo com Borba (2002), participam fluidos que transportam, além do ouro, elementos como Ag, As, Sb, Cu, Pb e Zn. Já o minério aurífero, presente nas rochas do Supergrupo Minas, apresenta associação com Ba, As, Hg, Cd, Sb e Cu (RIBEIRO, 1998). Esses elementos, que estão

incorporados às rochas, podem ser mobilizados para as águas e os sedimentos dos rios, com velocidades de mobilização e transporte acelerados pelas atividades antrópicas de extração mineral, sobretudo aquelas associadas à exploração aurífera, que ocorre desde o período colonial e persiste nos dias atuais, principalmente na forma de garimpos (RIBEIRO, 1998).

Nos sedimentos do ribeirão do Carmo, os elementos Hg, As, Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Cr, Ni e Li são componentes parcialmente oriundos da atividade extrativo-mineral, sobretudo daquelas ocorridas nos passado (ELEUTÉRIO, 1997). Entre esses metais, o As é o elemento que causa o maior problema geoquímico ambiental da região, não só pela elevada toxicidade, mas também pelas concentrações que se encontram em águas e sedimentos dos rios da região (ELEUTÉRIO, 1997; COSTA 2001; PIMENTEL 2001; BORBA, 2002). Assim, entre os elementos tóxicos (Pb, Cd, Hg, As, Zn e Cu) associados à província aurífera do QF, o arsênio é o que merece mais atenção, principalmente por ser fortemente disponibilizado pela atividade de mineração. No QF foram produzidas, em três séculos, cerca de 1.300 t de ouro primário, o que equivale a uma quantidade de 390.000 t de arsênio liberada para o ambiente (BORBA, 2002). Conforme relatou, a principal fonte de contaminação de arsênio nessa região é antrópica, tendo sido herdada de solos contaminados, antigas pilhas de estéreis, antigas galerias de minas, além de águas e sedimentos contaminados.

O arsênio está entre os metais mais nocivos à saúde humana, como o mercúrio, o chumbo e o cádmio. Apresenta efeito cumulativo e, em concentrações elevadas, potencial carcinogênico.

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de arsênio total de até 0,1 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 125) e seus afluentes (Tabela 126), dispostas de montante para jusante.

Para o rio Doce (Tabela 125), observaram-se desacordos em três das 12 estações. Para a estação RD072, logo após a confluência do rio do Carmo com o rio Piranga, os desacordos ocorreram no período seco (14%), enquanto, para as estações RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata) e RD023 (entre os municípios de Marliéria e Pingo-d'Água), os desacordos ocorreram no período chuvoso, 11% e 6%, respectivamente.

Tabela 125 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para arsênio total no rio Doce.

Rio Doce							
Arsênio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	7%	14	14%	15	0%
	RD019	36	6%	18	0%	18	11%
	RD023	36	3%	18	0%	18	6%
	RD035	32	0%	16	0%	16	0%
	RD033	36	0%	18	0%	18	0%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	36	0%	18	0%	18	0%
	RD053	35	0%	18	0%	17	0%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	36	0%	18	0%	18	0%
	RD067	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

Para as estações dos afluentes do rio Doce (Tabela 126), percentuais de desacordos relevantes foram observados no rio do Carmo (RD009 e RD071). Na estação RD009, os desacordos ocorreram em 78% do tempo monitorado. Ainda, para a estação RD057 (rio Caratinga), observou-se percentual de desacordo de 6% no período chuvoso.

Tabela 126 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para arsênio total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Arsênio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	49	78%	24	71%	25	84%
	RD071	29	21%	14	21%	15	20%
	RD013	36	0%	18	0%	18	0%
	RD018	32	0%	16	0%	16	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	36	0%	18	0%	18	0%
	RD040	32	0%	16	0%	16	0%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	36	3%	18	0%	18	6%
	RD065	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 329 e a Figura 330 apresentam os valores de medianas das séries de concentrações de arsênio total ao longo do rio Doce e seus afluentes, respectivamente, para os períodos total, seco e chuvoso.

Para o rio Doce (Figura 329), valores de mediana mais elevados foram observados nas estações de montante: RD072, situada após a confluência do rio do Carmo e do rio Piranga, e RD019, a jusante da UHE Risoleta Neves (Candonga). A partir de então, os valores de mediana decresceram e se mantiveram homogêneos.

Nos afluentes (Figura 330), valores bastante elevados foram registrados na estação RD009, no rio do Carmo. Na estação RD071, também no rio do Carmo, a jusante da RD009, os valores de mediana diminuíram, mas ainda se mostraram mais elevados do que aqueles observados para os demais afluentes.

Pode-se inferir que os valores mais elevados de arsênio total registrados nas estações RD072 e RD019 ainda foram reflexos daqueles observados para o rio do Carmo.

Figura 329 – Medianas dos valores de arsênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

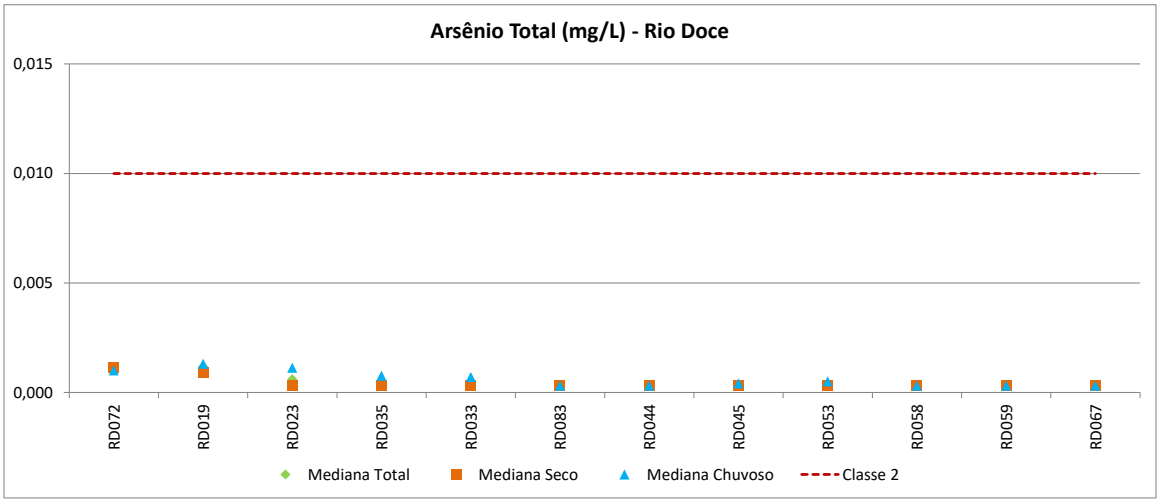
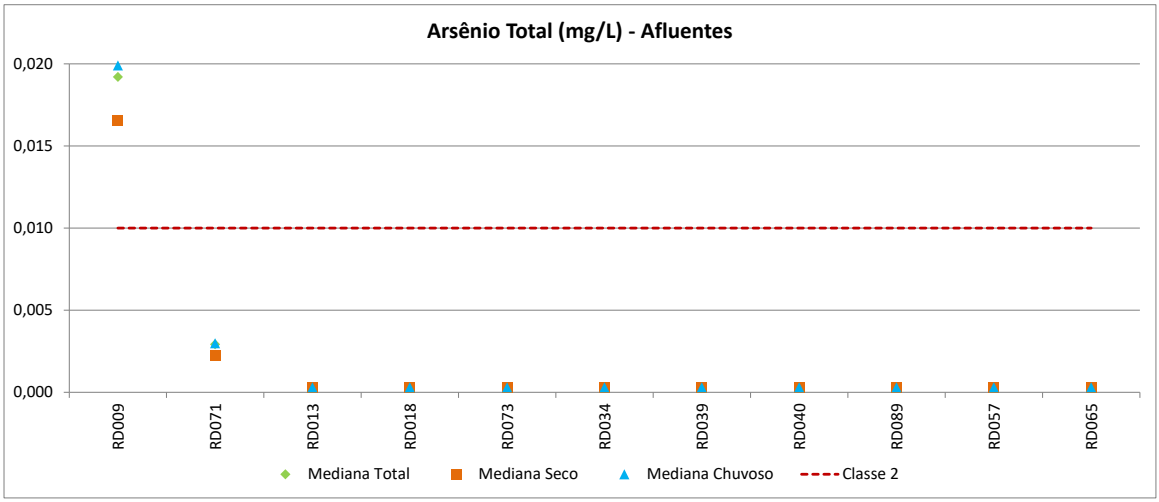


Figura 330 – Medianas dos valores de arsênio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



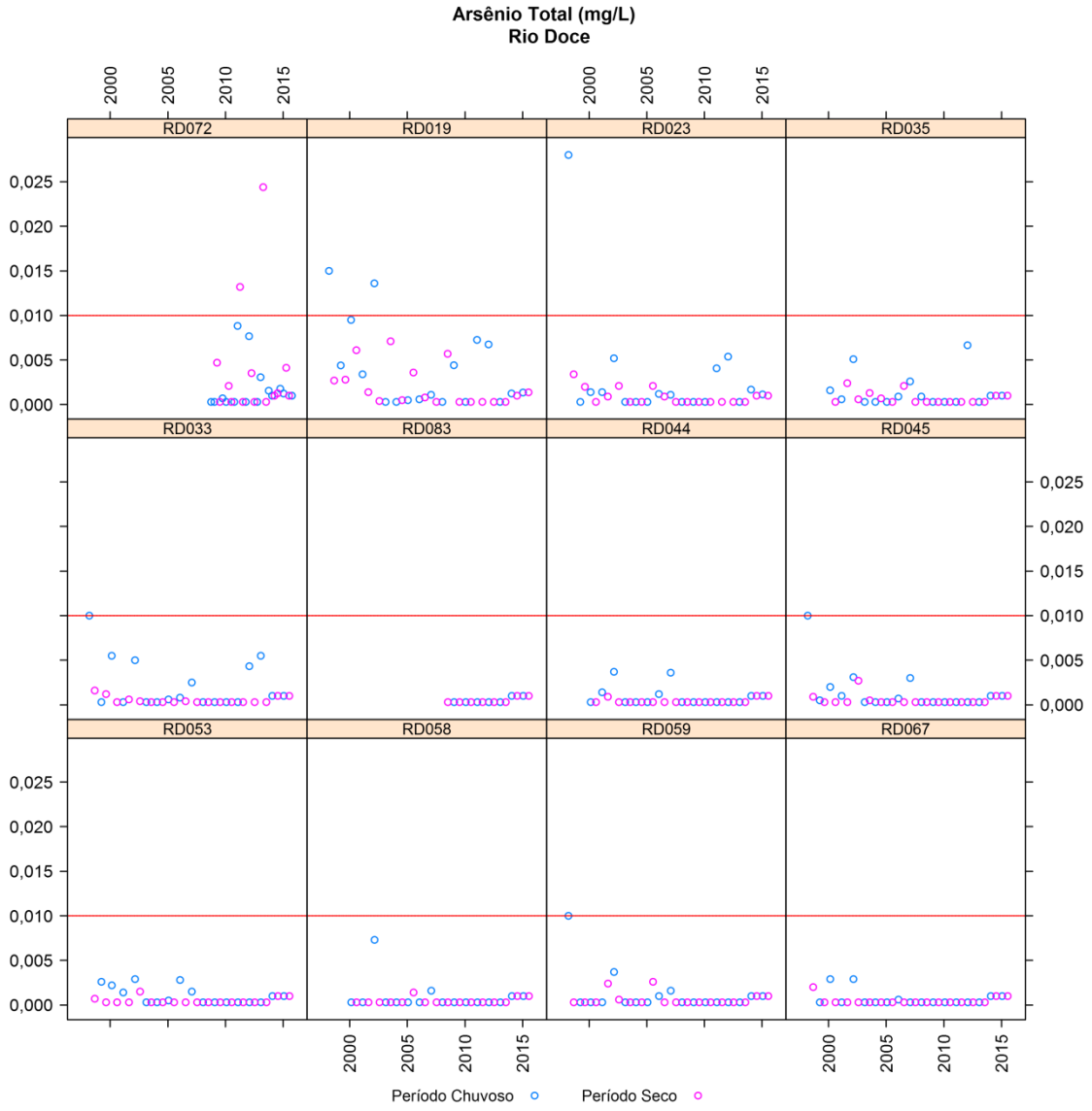
Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de arsênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 331) e seus afluentes (Figura 332), de montante para jusante.

Para as estações do rio Doce (Figura 331), uma maior variação de valores foi observada nas estações de montante RD072, situada após a confluência do rio do Carmo e do

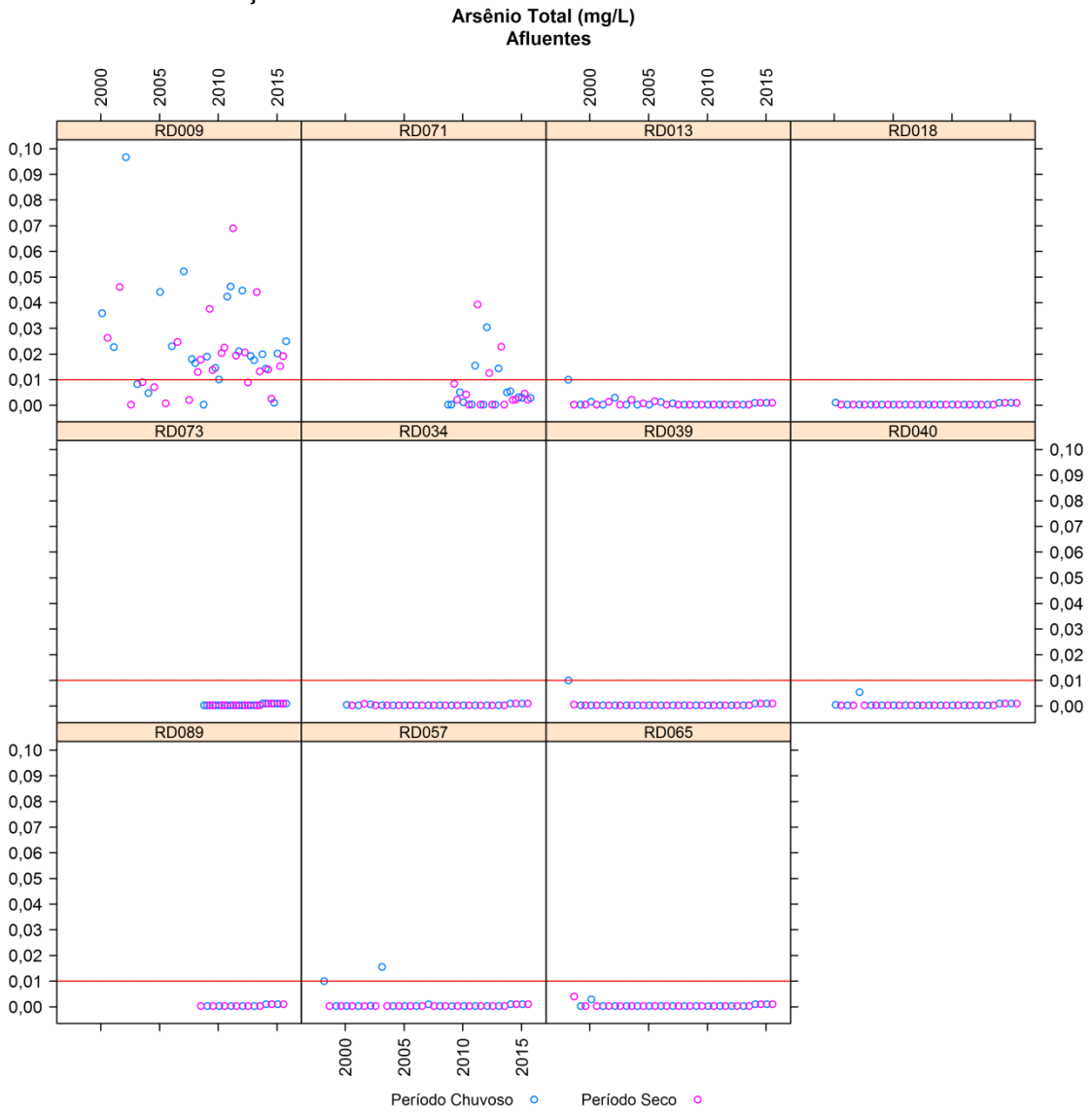
rio Piranga, e RD019, a jusante da UHE Risoleta Neves (Candonga). Para as demais estações, as séries mostraram-se mais homogêneas, salvo um número reduzido de amostras, que tiveram valores mais elevados.

Figura 331 – Gráficos de dispersão dos dados de arsênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações situadas nos afluentes (Figura 332), grande variação de valores foi observada para a estação RD009, e em menor proporção para a estação RD071, ambas no rio do Carmo. Os altos valores registrados para o arsênio total podem estar relacionados à exploração histórica de ouro na bacia do rio do Carmo (BORBA, 2002; SILVA, 2013). Para os demais afluentes, as séries se mostraram mais homogêneas ao longo do tempo, com raros valores mais elevados.

Figura 332 – Gráficos de dispersão dos dados de arsênio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.4 Bário total

O bário é um elemento encontrado em baixas concentrações em águas naturais, sendo sua principal origem o intemperismo e a erosão de rochas (lixiviado). Aportes antropogênicos de bários estão associados a atividades de mineração, refino e tratamento de minérios desse metal, bem como o fabrico de produtos que utilizam bário como plásticos, vidros, cerâmicas, eletrônicos, têxteis, lubrificantes, ligas metálicas, sabão e borracha (CETESB, 2017b).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de bário total de até 0,7 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o

período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 127) e seus afluentes (Tabela 128), dispostas de montante para jusante.

De acordo com a Tabela 127, não foram observados desacordos com o limite legislado no rio Doce durante o período avaliado.

Tabela 127 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para bário total no rio Doce.

Rio Doce							
Bário Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	14	0%	7	0%	7	0%
	RD019	36	0%	18	0%	18	0%
	RD023	36	0%	18	0%	18	0%
	RD035	32	0%	16	0%	16	0%
	RD033	36	0%	18	0%	18	0%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	36	0%	18	0%	18	0%
	RD053	35	0%	18	0%	17	0%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	36	0%	18	0%	18	0%
	RD067	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Para as estações localizadas em afluentes do rio Doce (Tabela 128), registrou-se desacordo somente na estação RD057 (rio Caratinga), no período chuvoso, sendo igual a 6%.

Tabela 128 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para bário total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Bário Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	32	0%	16	0%	16	0%
	RD071	14	0%	7	0%	7	0%
	RD013	36	0%	18	0%	18	0%
	RD018	32	0%	16	0%	16	0%
	RD073	14	0%	7	0%	7	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	36	0%	18	0%	18	0%
	RD040	32	0%	16	0%	16	0%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	36	3%	18	0%	18	6%
	RD065	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 333 e a Figura 334 apresentam os valores de medianas das séries de concentrações de bário total ao longo do rio Doce e seus afluentes, respectivamente, para os períodos total, seco e chuvoso.

Para o período total, os valores de mediana para as estações do rio Doce (Figura 333) variaram de 0,021 a 0,047 mg/L, sendo o valor mais elevado registrado na estação RD023 (entre os municípios de Marliéria e Pingo-d'Água). No período chuvoso, as medianas foram mais elevadas, variando de 0,031 mg/L a 0,070 mg/L ao longo do rio Doce.

Para os afluentes (Figura 334), os valores de mediana variaram de 0,023 mg/L a 0,082 mg/L, quando considerado o período total de dados, sendo o maior valor observado na estação RD057 (rio Caratinga). No período chuvoso, também se observou elevação de valores, assim como para as estações do rio Doce, com valores entre 0,026 mg/L e 0,123 mg/L.

De modo geral, não se observaram alterações significativas ao longo do rio Doce e afluentes em relação às medianas das concentrações de bário total.

Figura 333 – Medianas dos valores de bário total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

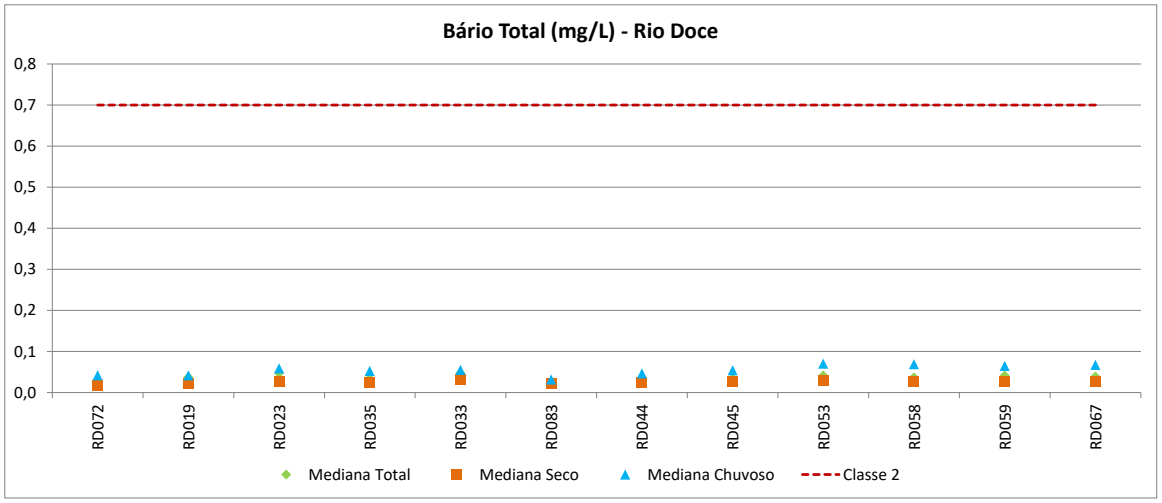
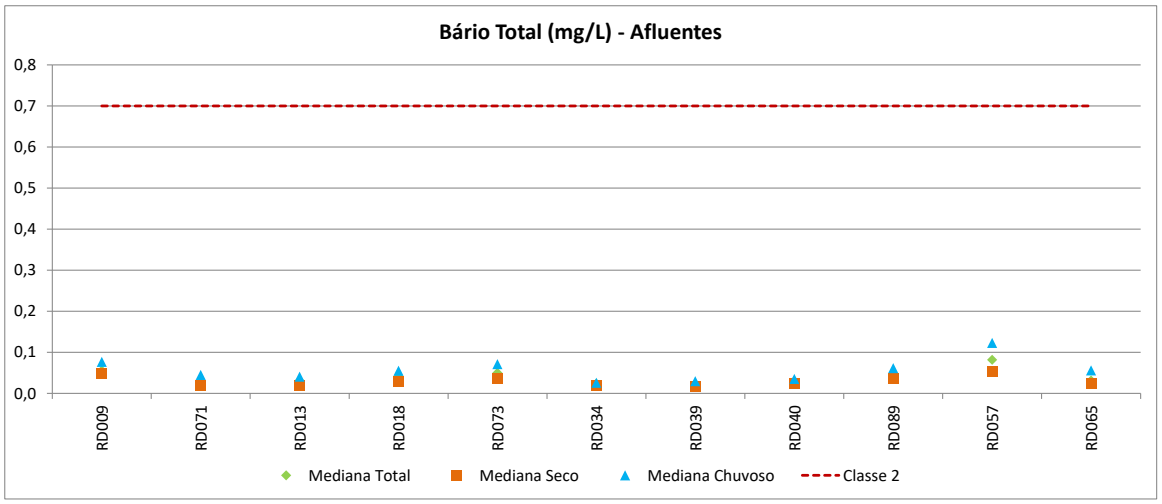


Figura 334 – Medianas dos valores de bário total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

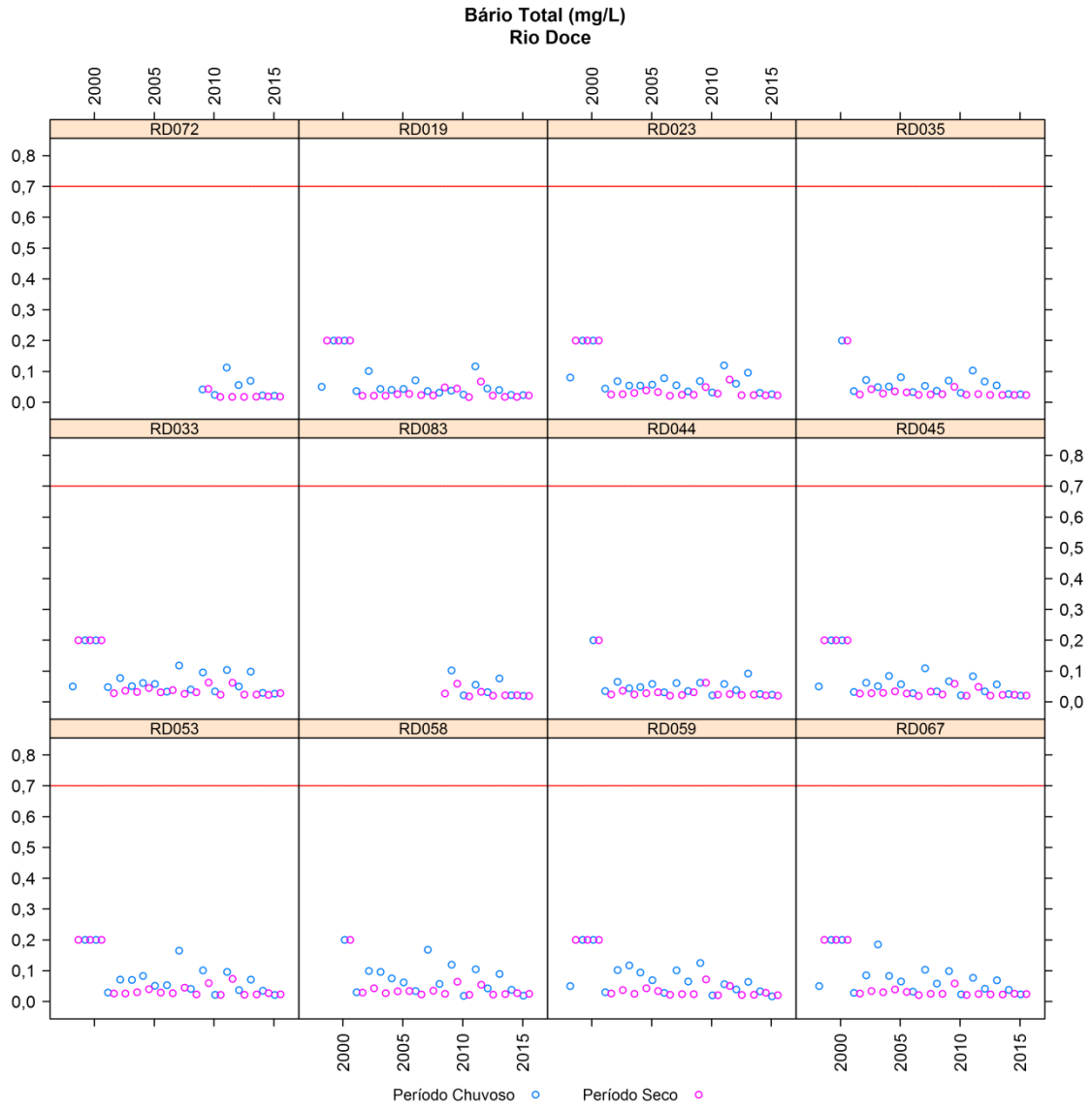


Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de bário total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 335) e seus afluentes (Figura 336), de montante para jusante.

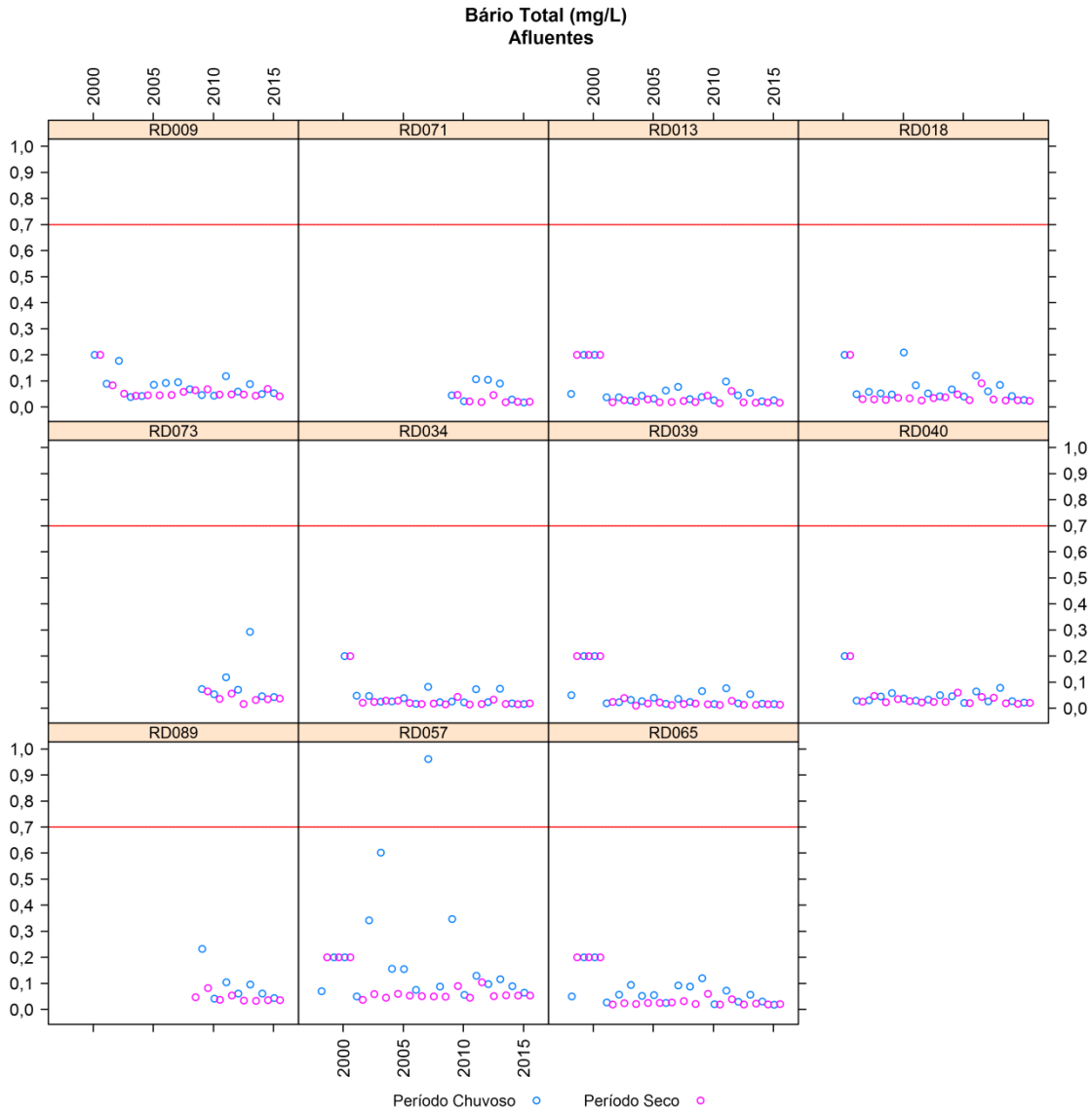
Observa-se, a partir da Figura 335, comportamento semelhante da variável bário total entre as estações de monitoramento do rio Doce. Na maioria dos casos, as concentrações não passaram de 0,2 mg/L, estando abaixo do limite de 0,7 mg/L, da Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2.

Figura 335 – Gráficos de dispersão dos dados de bário total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações localizadas em afluentes do rio Doce (Figura 336), de modo geral, as concentrações não passaram de 0,2 mg/L. Exceções foram observadas para as estações RD073 (ribeirão Sacramento) e RD057 (rio Caratinga), onde se registraram valores máximos de 0,293 e 0,961 mg/L.

Figura 336 – Gráficos de dispersão dos dados de bário total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.5 Boro total

Em águas naturais, o boro é encontrado na forma de teores baixos de boratos, advindos da lixiviação de rochas ricas em boro e borossilicatos. Em águas superficiais, o teor pode ser substancialmente aumentado por descargas domésticas, uma vez que esse elemento é ingrediente de detergentes e outros produtos de limpeza (CETESB, 2016).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de boro total de até 0,5 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite

legislado (item 3.8.3). A avaliação de boro total foi iniciada no ano de 2006, com limite de quantificação do método igual a 0,07 mg/L.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 129) e seus afluentes (Tabela 130), dispostas de montante para jusante.

Observa-se a partir da Tabela 129 e da Tabela 130 que para o período avaliado não se registraram desacordos com o limite legislado nas estações monitoradas no rio Doce e em seus afluentes.

Tabela 129 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para boro total no rio Doce.

Rio Doce							
Boro Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	10	0%	5	0%	5	0%
	RD019	16	0%	8	0%	8	0%
	RD023	16	0%	8	0%	8	0%
	RD035	16	0%	8	0%	8	0%
	RD033	16	0%	8	0%	8	0%
	RD083	11	0%	6	0%	5	0%
	RD044	16	0%	8	0%	8	0%
	RD045	16	0%	8	0%	8	0%
	RD053	16	0%	8	0%	8	0%
	RD058	16	0%	8	0%	8	0%
	RD059	16	0%	8	0%	8	0%
	RD067	16	0%	8	0%	8	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 130 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para boro total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Boro Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	16	0%	8	0%	8	0%
	RD071	10	0%	5	0%	5	0%
	RD013	16	0%	8	0%	8	0%
	RD018	16	0%	8	0%	8	0%
	RD073	10	0%	5	0%	5	0%
	RD034	16	0%	8	0%	8	0%
	RD039	16	0%	8	0%	8	0%
	RD040	16	0%	8	0%	8	0%
	RD089	11	0%	6	0%	5	0%
	RD057	16	0%	8	0%	8	0%
	RD065	16	0%	8	0%	8	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 337 e a Figura 338 apresentam os valores de mediana de boro total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Observou-se tanto para as estações do rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes que os valores de mediana foram de 0,07 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso), e, portanto, não foram observadas alterações em termos espaciais.

Figura 337 – Medianas dos valores de boro total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

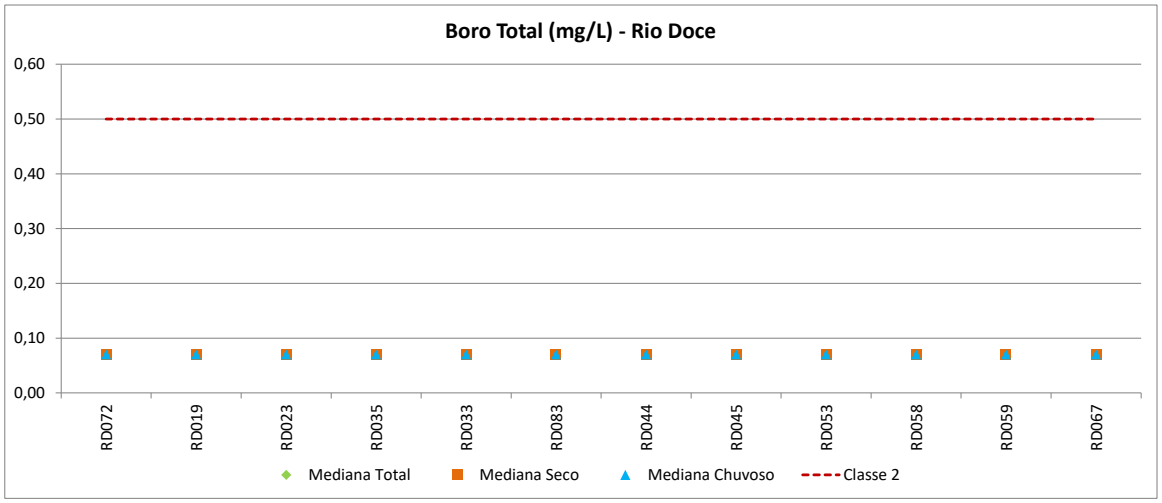
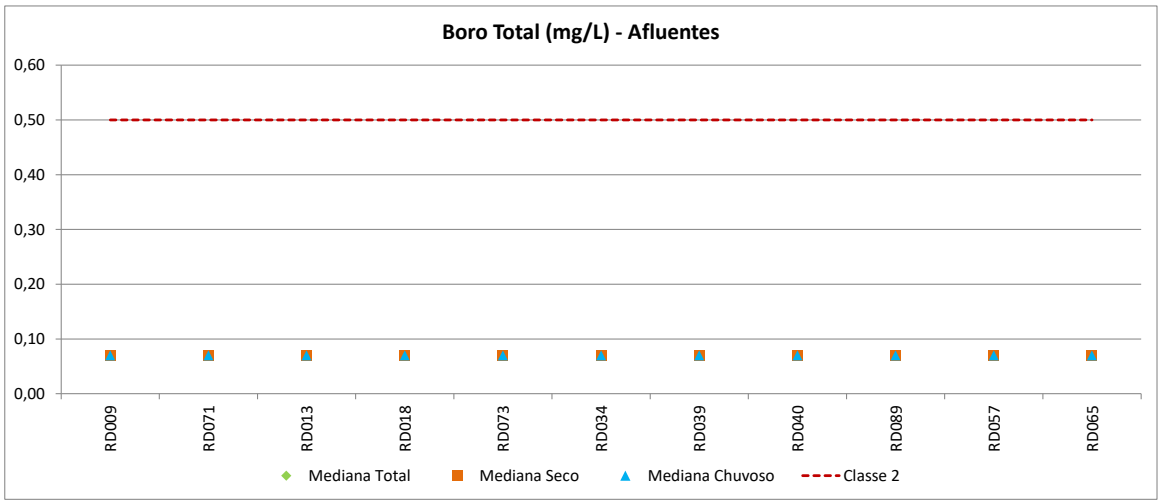


Figura 338 – Medianas dos valores de boro total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de boro total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 339) e seus afluentes (Figura 340), de montante para jusante.

De modo geral, tanto para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes, os valores de boro dissolvido foram de 0,07 mg/L, salvo raras exceções.

Figura 339 – Gráficos de dispersão dos dados de boro total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

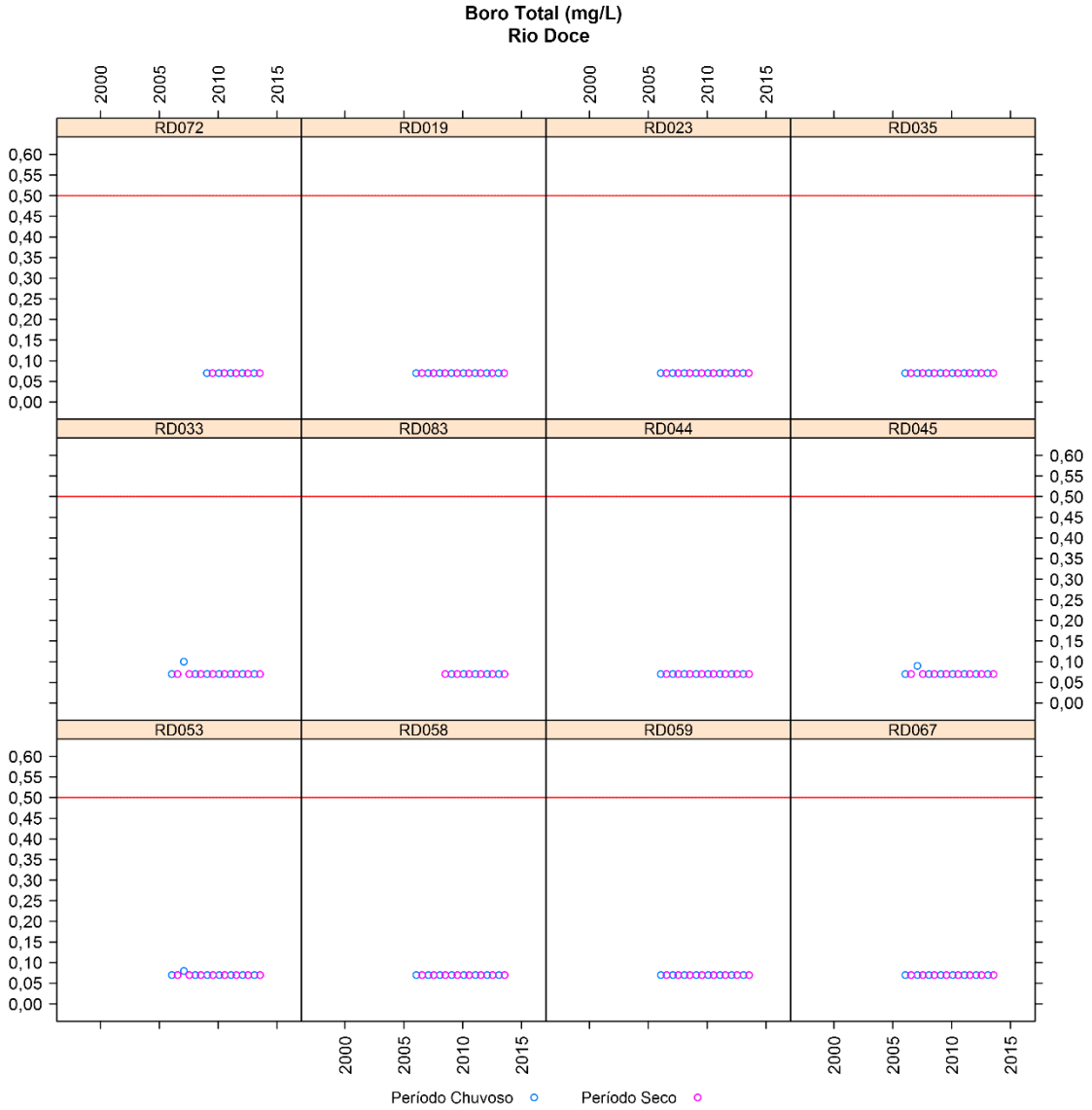
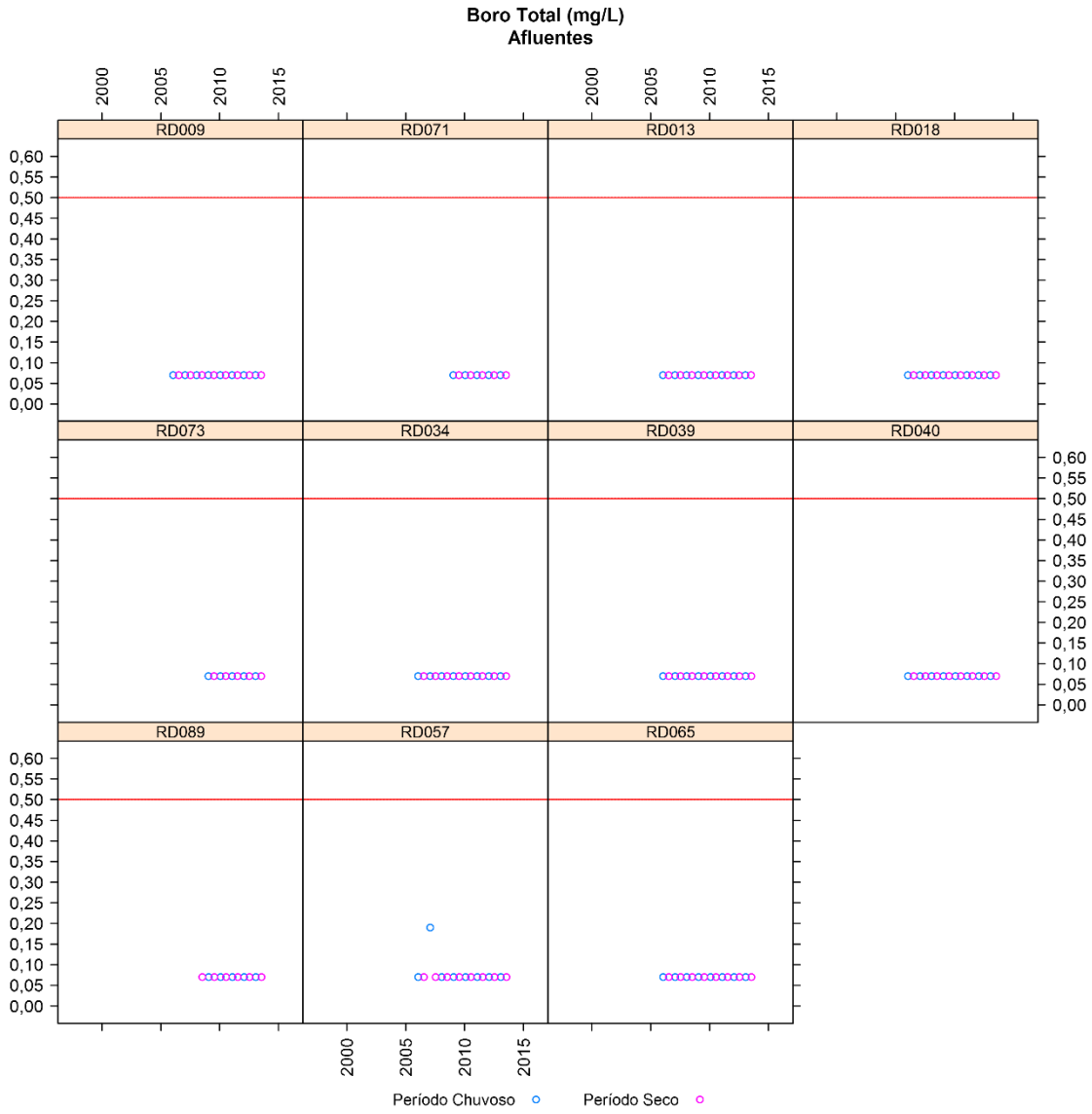


Figura 340 – Gráficos de dispersão dos dados de boro total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.6 Boro dissolvido

A concentração de metal-traço em águas naturais pode ser determinada em sua forma total ou apenas na fração dissolvida. O metal dissolvido constitui-se de uma fração lábil e outra não lábil. O metal lábil representa a fração do metal dissolvido que inclui os íons metálicos hidratados livres e os complexos lábeis do metal associado. É normalmente assumido que o metal lábil representa a fração do metal que é biodisponível, considerado como a fração tóxica do metal dissolvido. A fração não lábil inclui metais ligados em complexos ou adsorvidos em material orgânico (MILANI, 2004). Para mais informações, vide Boro Total (item 3.8.10.5).

O monitoramento das concentrações de boro dissolvido ocorreu somente para as estações do IGAM/MG até julho de 2005. Desse modo, para as estações RD072 e RD083, no rio Doce, e para as estações RD071, RD073 e RD089, em afluentes do rio Doce, que tiveram

seu monitoramento iniciado em 2008, não existe registro de dados de boro dissolvido. O número de eventos monitorados, em relação à avaliação da variável em questão, foi de no máximo 16, no rio Doce e afluentes. Além disso, no início do monitoramento dessa variável, o limite de quantificação do método utilizado era de 0,02 mg/L, quando, no ano de 2001, o limite de quantificação foi alterado para 0,07 mg/L.

Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 341 e a Figura 342 apresentam os valores de mediana de boro dissolvido para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Observou-se tanto para as estações do rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes que os valores de mediana foram de 0,07 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso), e, portanto, não foram observadas alterações em termos espaciais.

Figura 341 – Medianas dos valores de boro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

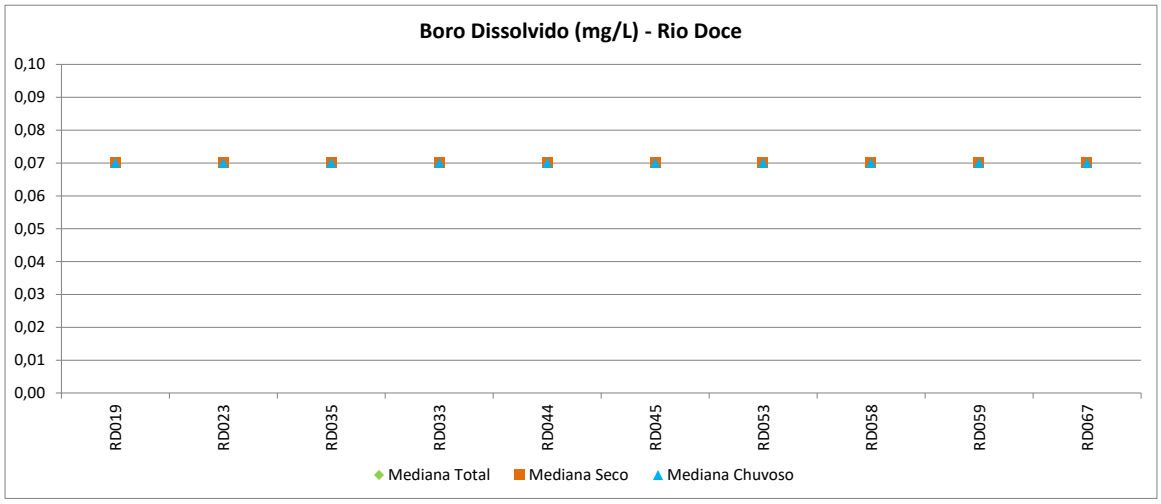
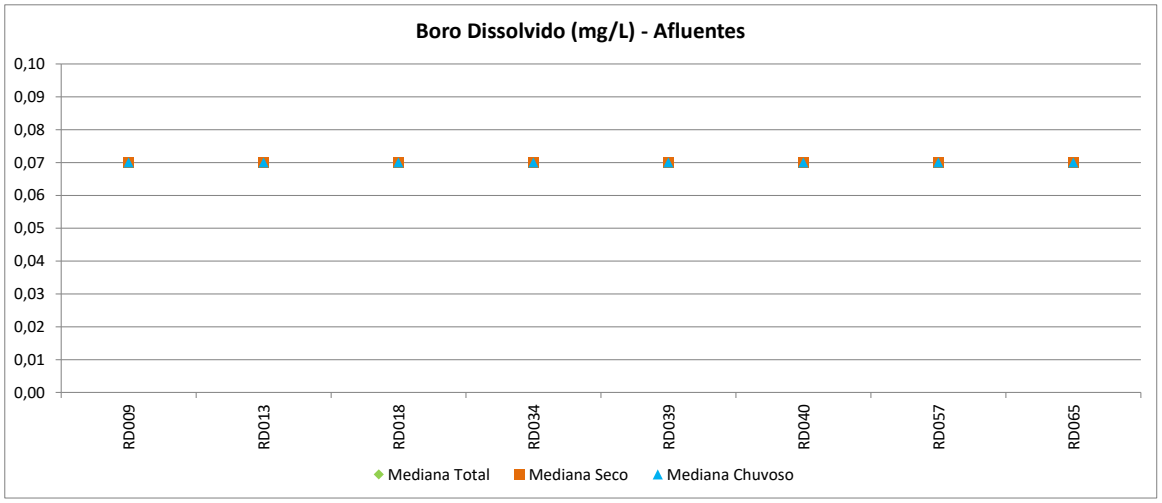


Figura 342 – Medianas dos valores de boro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de boro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 343) e seus afluentes (Figura 344), de montante para jusante.

De modo geral, tanto para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes, os valores de boro dissolvido variaram entre os limites de quantificação adotados, ora 0,02 mg/L, ora 0,07 mg/L, não passando de 0,10 mg/L.

Figura 343 – Gráficos de dispersão dos dados de boro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

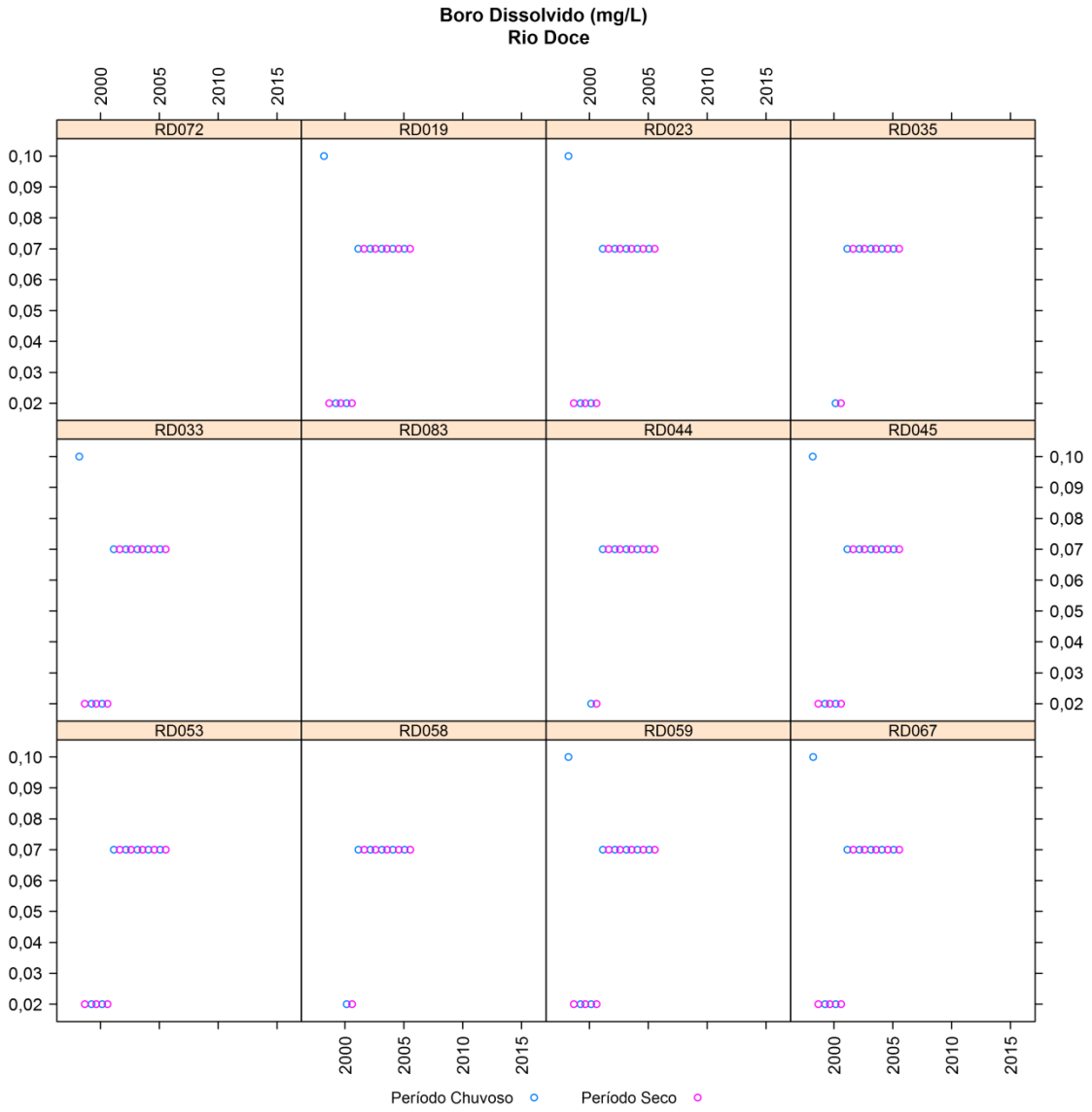
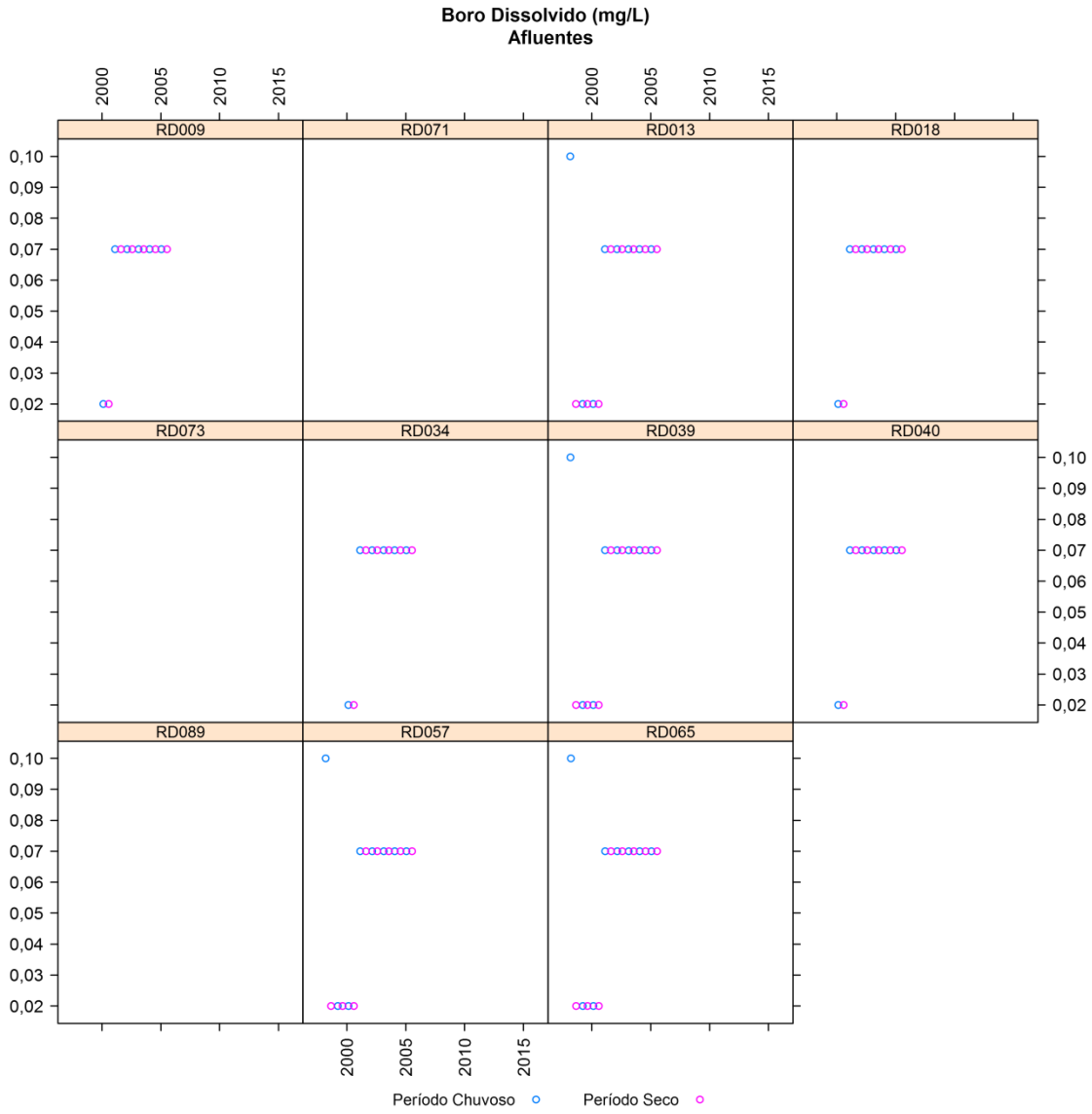


Figura 344 – Gráficos de dispersão dos dados de boro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.7 Cádmio total

Fontes antropogênicas de cádmio estão principalmente associadas à indústria de galvanoplastia, soldas e também à de produção de baterias (Ni-Cd), além da produção de pigmentos. Concentrações de cádmio em águas naturais e não poluídas são inferiores a 1 µg/L. Esse elemento é altamente tóxico à vida humana (CETESB, 2016).

Para Oliveira (2016), no diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce, em estudo de caso da sub-bacia do rio Piranga, o cádmio é um dos elementos químicos constituintes de rochas da região, bem como proveniente de situações antrópicas, de defensivos agrícolas, entre outros.

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de cádmio total de até 0,001 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,0005 mg/L.

Para as estações do rio Doce (Tabela 131), observou-se desacordo com o limite legislado a jusante do município de Ipaba, na estação RD033 (6%), no período chuvoso. Com relação ao período seco, também 6% de desacordos foram registrados na estação RD059 (município de Resplendor). Nas demais estações, não se registraram desacordos.

Tabela 131 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cádmio total no rio Doce.

Rio Doce							
Cádmio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	0%	14	0%	15	0%
	RD019	35	0%	18	0%	17	0%
	RD023	35	0%	18	0%	17	0%
	RD035	32	0%	16	0%	16	0%
	RD033	35	3%	18	0%	17	6%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	35	0%	18	0%	17	0%
	RD053	35	0%	18	0%	17	0%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	35	3%	18	6%	17	0%
	RD067	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

Para as estações dos afluentes do rio Doce (Tabela 132), observou-se desacordo com o limite legislado nas estações RD040 (rio Corrente Grande) e RD057 (rio Caratinga), no período chuvoso, sendo igual a 6%. Nas demais estações, não se registraram desacordos.

Tabela 132 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cádmio total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Cádmio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	32	0%	16	0%	16	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	35	0%	18	0%	17	0%
	RD018	32	0%	16	0%	16	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	35	0%	18	0%	17	0%
	RD040	32	3%	16	0%	16	6%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	35	3%	18	0%	17	6%

Afluentes							
Cádmio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
	RD065	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 345 e a Figura 346 apresentam os valores de mediana de cádmio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Observa-se tanto para as estações do rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes que os valores de mediana foram de 0,0005 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso), e, portanto, não foram observadas alterações em termos espaciais.

Figura 345 – Medianas dos valores de cádmio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

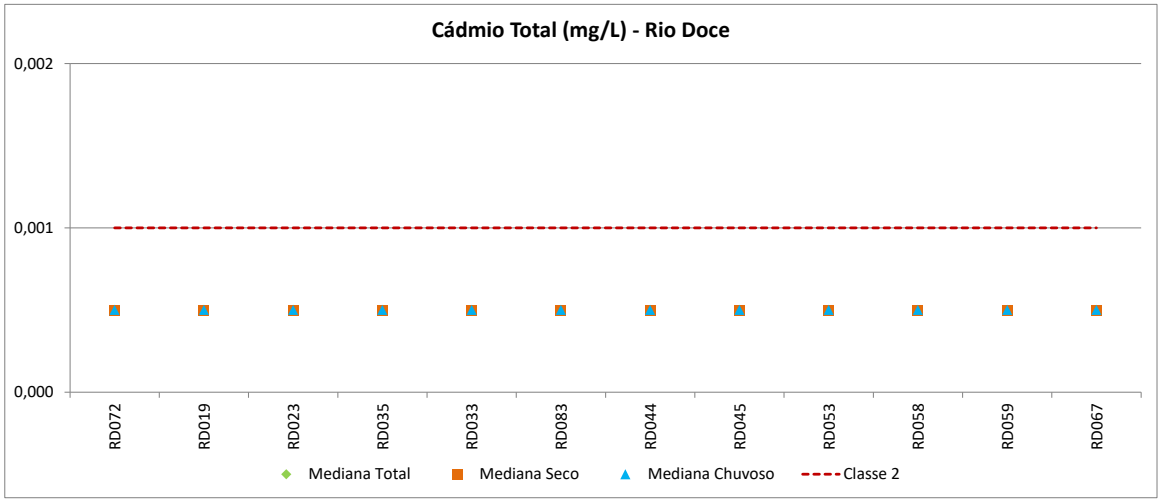
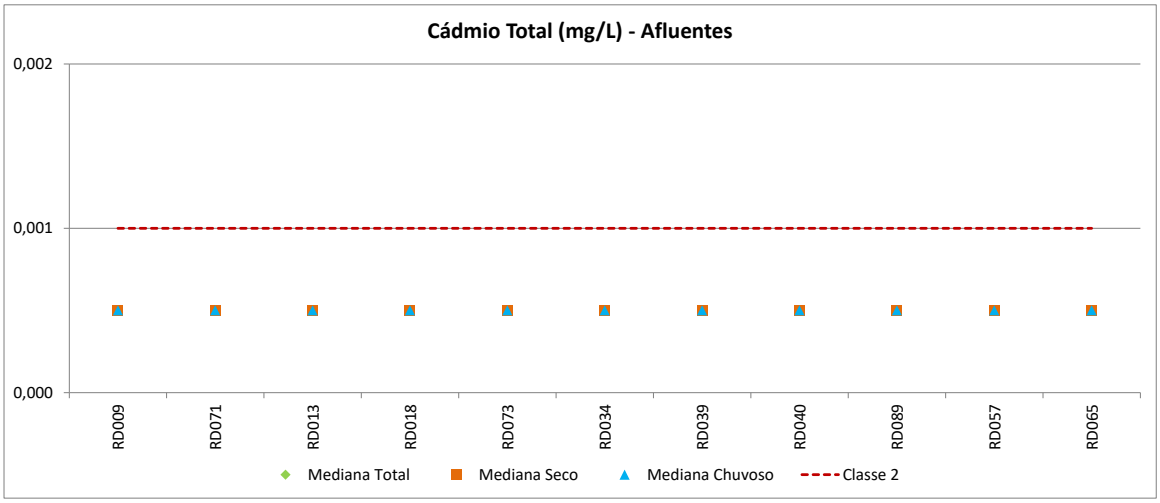


Figura 346 – Medianas dos valores de cádmio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cádmio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 347) e seus afluentes (Figura 348), de montante para jusante.

De modo geral, tanto para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes, os valores de cádmio total foram de 0,0005 mg/L, valor correspondente ao limite de quantificação do método analítico.

No rio Doce (Figura 347), valores superiores ao limite legislado (≤ 0,0010 mg/L) foram registrados nas estações RD033, entre os municípios de Belo Oriente e Bugre, e RD059, em Resplendor: 0,0015 mg/L e 0,0012 mg/L, respectivamente.

Para os afluentes (Figura 348), observou-se uma concentração de 0,0104 mg/L na estação RD040 (rio Corrente Grande).

Figura 347 – Gráficos de dispersão dos dados de cádmio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

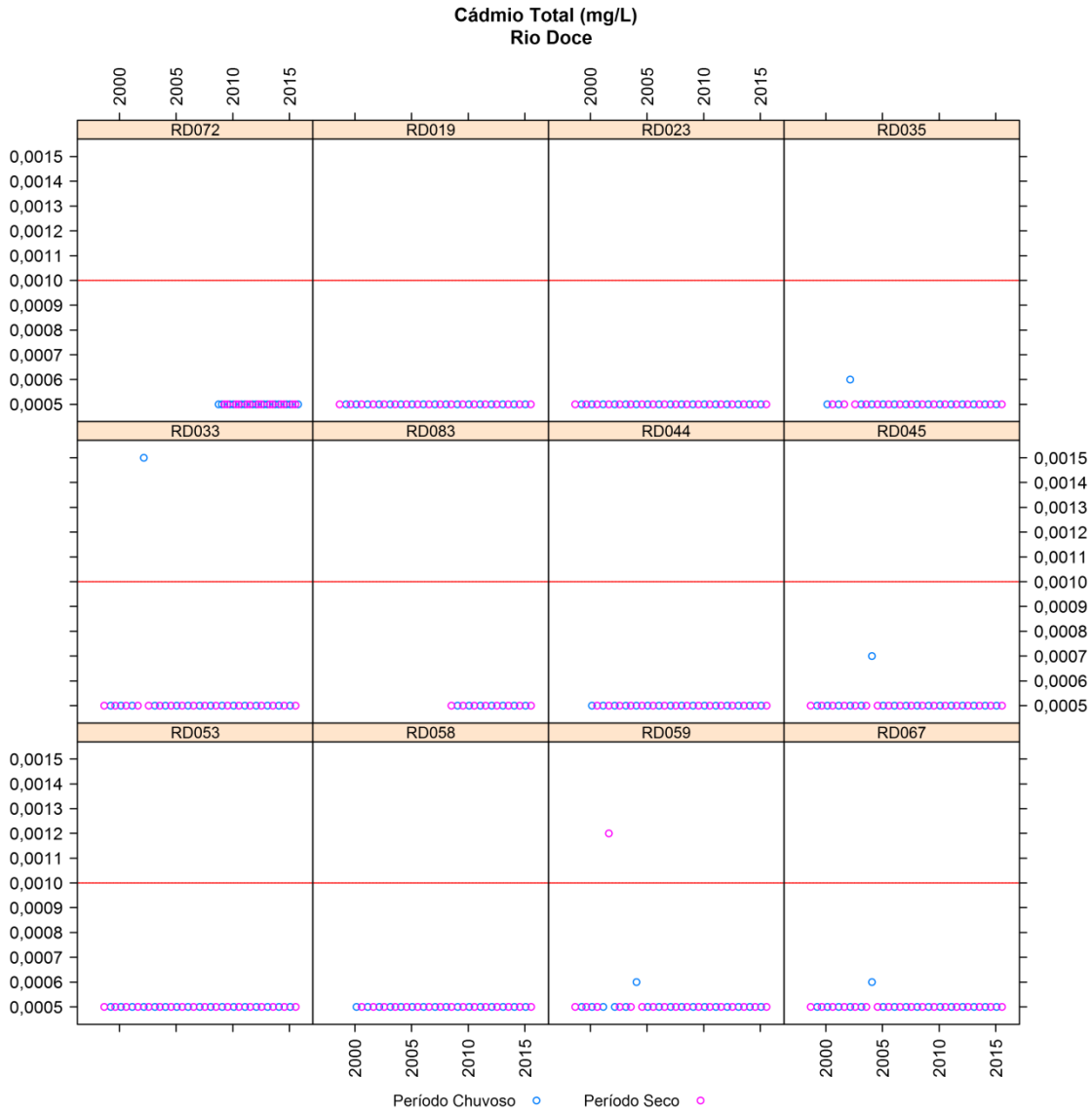
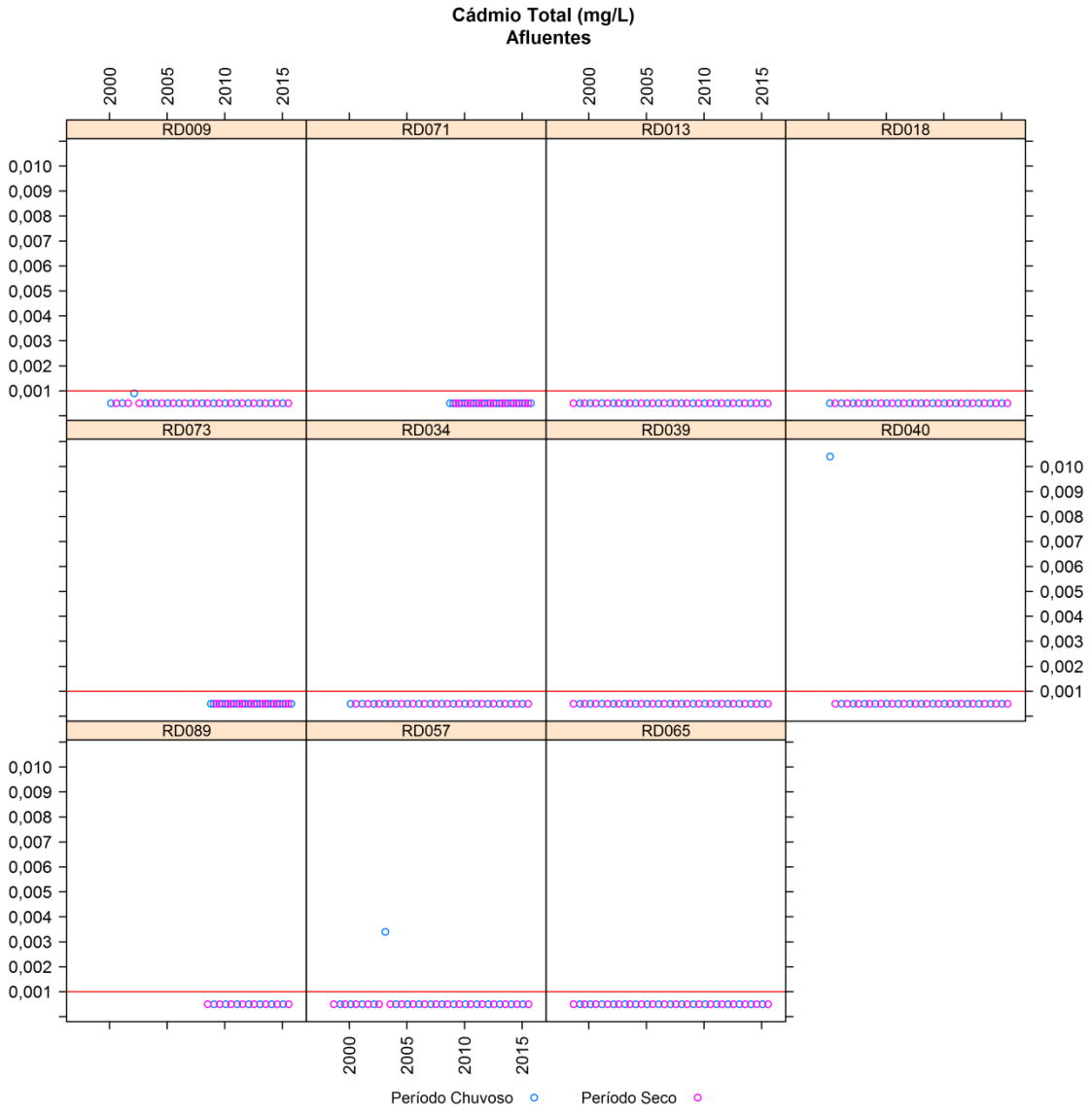


Figura 348 – Gráficos de dispersão dos dados de cádmio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.8 Cálcio total

O cálcio é um elemento abundante, existente na maioria das águas e rochas. Os sais de cálcio possuem moderada a elevada solubilidade e tendem a se precipitar como carbonato de cálcio ($CaCO_3$), principal responsável pela dureza da água, seguido pelo magnésio (COSTA, 2001).

Para o cálcio total, foram avaliados os dados disponíveis na base do IGAM/MG. Conforme mencionado no item 3.8.3, não há valor máximo de referência disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 para o cálcio total, dessa forma, não foram calculados percentuais de desacordos.

Avaliação espacial

A Figura 349 e a Figura 350 apresentam os valores de mediana de cálcio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Figura 349 – Medianas dos valores de cálcio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

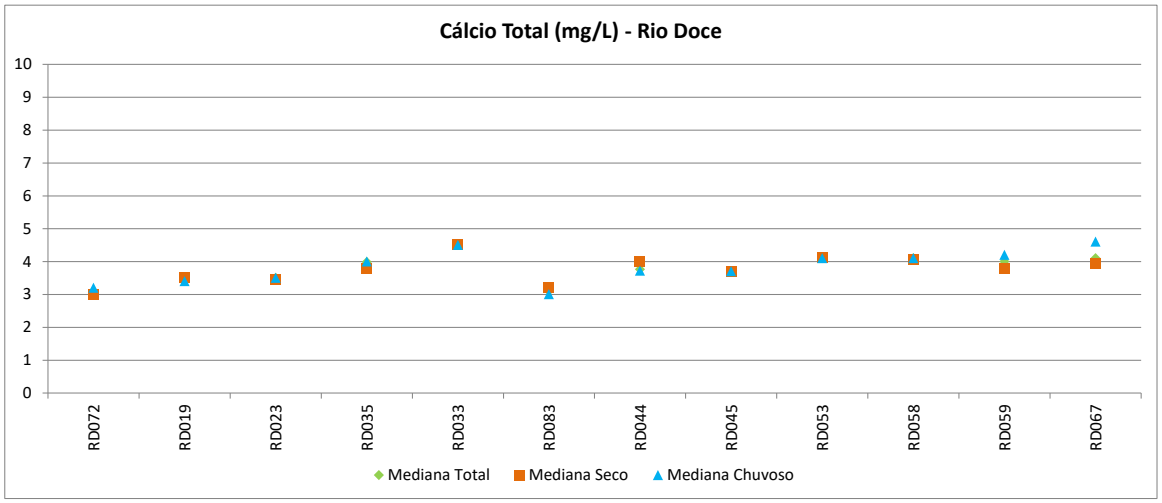
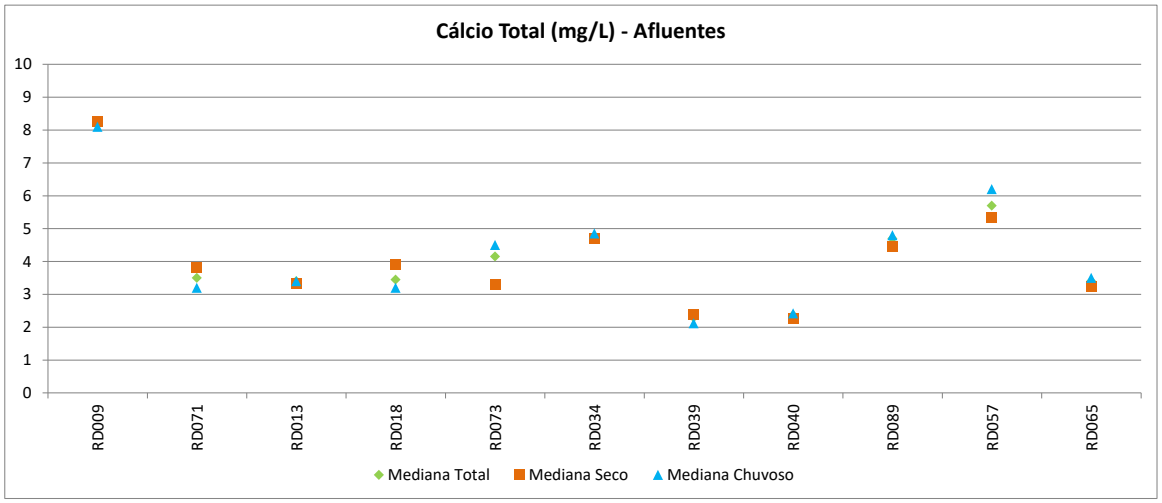


Figura 350 – Medianas dos valores de cálcio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Para as estações do rio Doce (Figura 349), os valores de mediana variaram pouco: de 3,1 mg/L a 4,5 mg/L, no período total. Nas estações RD072 (entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado) e RD083 (entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito), foram observados os menores valores de mediana (3,1 mg/L), e na estação RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), o maior (4,5 mg/L). De modo geral, não se observou diferença significativa de valores de mediana entre os períodos chuvoso e seco.

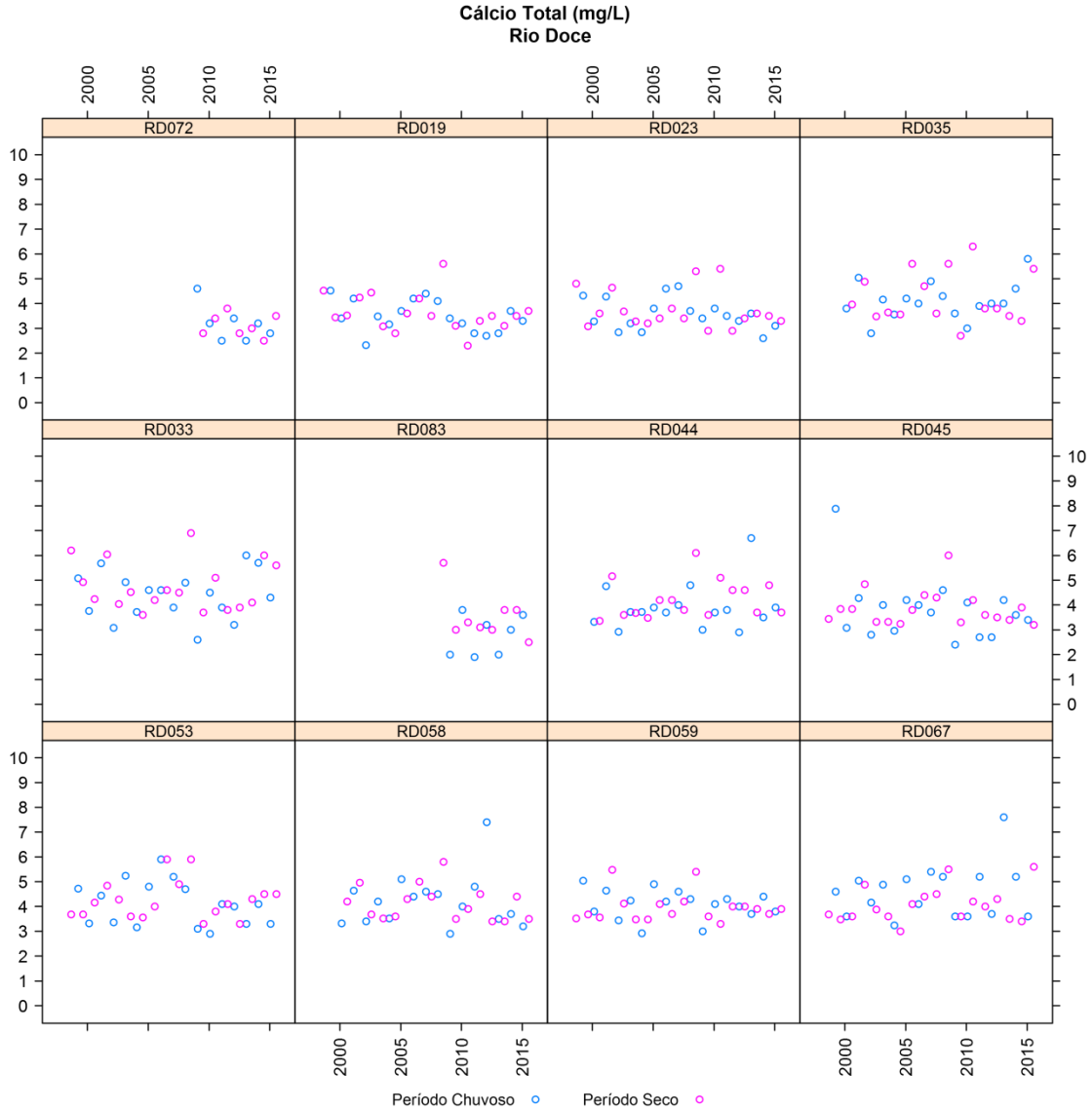
Entre as estações localizadas em afluentes (Figura 350), observou-se maior variação de valores de mediana: 2,3 mg/L, na estação RD039 (rio Santo Antônio) e 8,3 mg/L, na estação

RD009 (rio do Carmo). Também não se observou diferença significativa de valores de mediana entre os períodos chuvoso e seco.

Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cálcio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 351) e seus afluentes (Figura 352), de montante para jusante.

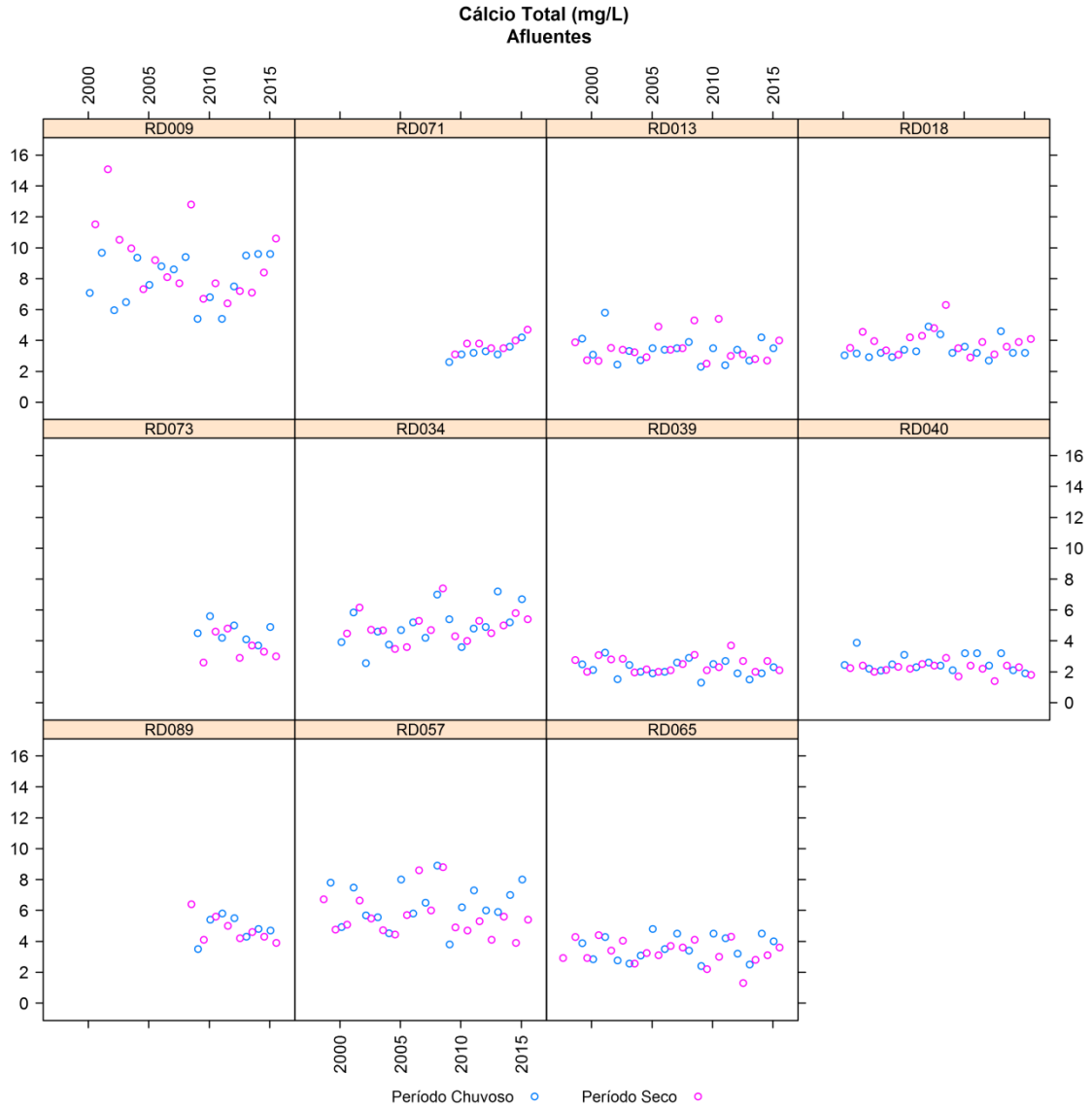
Figura 351 – Gráficos de dispersão dos dados de cálcio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 351), os valores apresentaram-se mais dispersos ao longo do tempo, sem tendência de comportamento visível. Considerando todas as estações do rio Doce, as concentrações de cálcio total variaram de 1,90 mg/L a 7,88 mg/L.

Para os afluentes do rio Doce (Figura 352), concentrações mais elevadas foram registradas na estação RD009 (rio do Carmo), em primeira instância e, então, nas estações RD057 (rio Caratinga) e RD034 (rio Piracicaba). Para as demais estações, as concentrações permaneceram dentro da faixa: 1,30 mg/L a 6,40 mg/L. Também não se observaram tendências de comportamento nas séries.

Figura 352 – Gráficos de dispersão dos dados de cálcio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.9 Chumbo total

A maior parte do chumbo presente no ar, bebidas e alimento origina-se na emissão veicular, pela queima da gasolina (BAIRD, 2002). Com relação à sua ocorrência em águas doces, este é advindo de descargas de efluentes industriais, da lixiviação do solo ou ainda pela deposição atmosférica. Por ser um composto bioacumulativo, provoca envenenamento

crônico (EPA, 2001; CETESB, 2016). Com relação à indústria, esse metal é utilizado na indústria da construção, em isolamentos acústicos, conexões entre metais sólidos e munição (BAIRD, 2002).

O chumbo (Pb) é encontrado no solo em concentrações que variam de 2 a 200 mg/kg, sendo comum em um teor médio de 5 a 30 mg/kg. O seu comportamento geoquímico nos solos é influenciado pelos processos pedogenéticos, pelas atividades microbiológicas, pelo clima e pela topografia da região. Segundo Sigolo (1998), em ambientes tropicais, o teor de chumbo pode estar associado aos óxidos e hidróxidos de ferros dos horizontes lateríticos, os quais são definidos por possuírem uma fração de argilominerais do grupo caulinitas e de óxido e de hidróxido de ferro e/ou de alumínio, o que lhes confere a estrutura de poros e de agregações altamente estáveis. Para Sigolo (1998), o íon Pb^{2+} forma sais que podem ter maior mobilidade no meio ambiente e podem ser provenientes de fontes de poluição ou rejeitos de origem doméstica ou industrial.

Para Bernardes et al. (1990) e Cotrim (1991) apud Sigolo (1998), os resíduos gerados nos processos de tratamento de esgotos e, portanto, o seu não tratamento e seus lançamentos em lençóis freáticos, nas regiões de drenagens etc., podem causar contaminações ambientais por metais pesados como o chumbo (Pb).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de chumbo total de até 0,01 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 133) e seus afluentes (Tabela 134), dispostas de montante para jusante.

De acordo com a Tabela 133, foram observados desacordos tanto no período seco quanto no período chuvoso nas estações de monitoramento localizadas no rio Doce. Contudo, as não conformidades foram mais frequentes no período chuvoso, chegando a percentuais superiores a 20% em 9 das 12 estações. Maior percentual de desacordos no período chuvoso foi registrado na estação RD033 (municípios de Bugre e Belo Oriente) e RD045 (município de Governador Valadares), com 41% em ambas.

Para as estações situadas em tributários do rio Doce (Tabela 134), de modo geral, os percentuais de desacordos foram mais elevados no período chuvoso. Percentuais de desacordos superiores a 20% foram registrados nas estações RD057 (rio Caratinga), com 47% de desacordos e RD065 (rio Manhuaçu), com 23%. Nas estações RD009 (rio do Carmo) e RD073 (ribeirão Sacramento), os percentuais de desacordos chegaram a 18% e 20%, respectivamente.

Tabela 133 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para chumbo total no rio Doce.

Rio Doce							
Chumbo Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	10%	14	21%	15	0%
	RD019	36	14%	19	5%	17	24%
	RD023	69	13%	35	11%	34	15%
	RD035	43	19%	21	10%	22	27%
	RD033	35	23%	18	6%	17	41%
	RD083	15	7%	8	0%	7	14%
	RD044	32	16%	16	6%	16	25%
	RD045	35	20%	18	0%	17	41%
	RD053	35	20%	18	6%	17	35%
	RD058	41	15%	20	5%	21	24%
	RD059	35	17%	18	6%	17	29%
	RD067	44	16%	22	9%	22	23%

Nota: n: número de observações.

Tabela 134 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para chumbo total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Chumbo Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	33	9%	16	0%	17	18%
	RD071	29	3%	14	7%	15	0%
	RD013	35	9%	18	6%	17	12%
	RD018	46	7%	23	4%	23	9%
	RD073	29	14%	14	7%	15	20%
	RD034	32	6%	16	0%	16	13%
	RD039	44	7%	22	0%	22	14%
	RD040	32	3%	16	0%	16	6%
	RD089	15	7%	8	0%	7	14%
	RD057	35	26%	18	6%	17	47%
	RD065	45	13%	23	4%	22	23%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 353 e a Figura 354 apresentam os valores de mediana de chumbo total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Figura 353 – Medianas dos valores de chumbo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

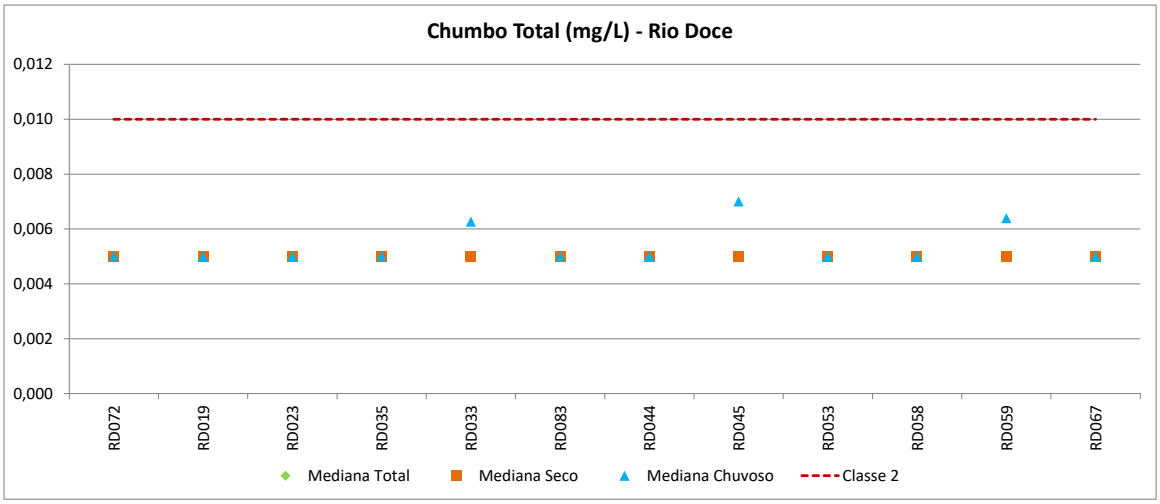
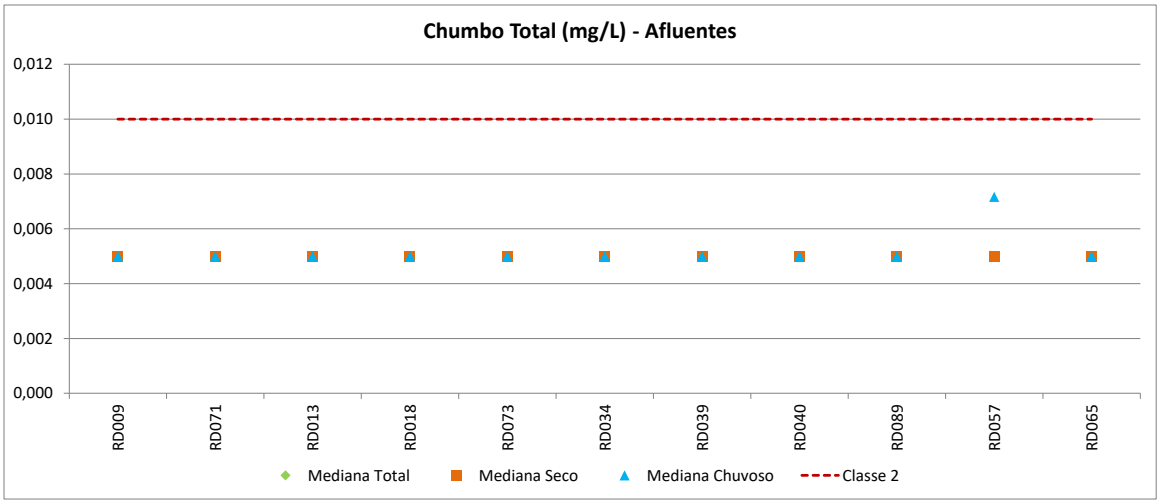


Figura 354 – Medianas dos valores de chumbo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



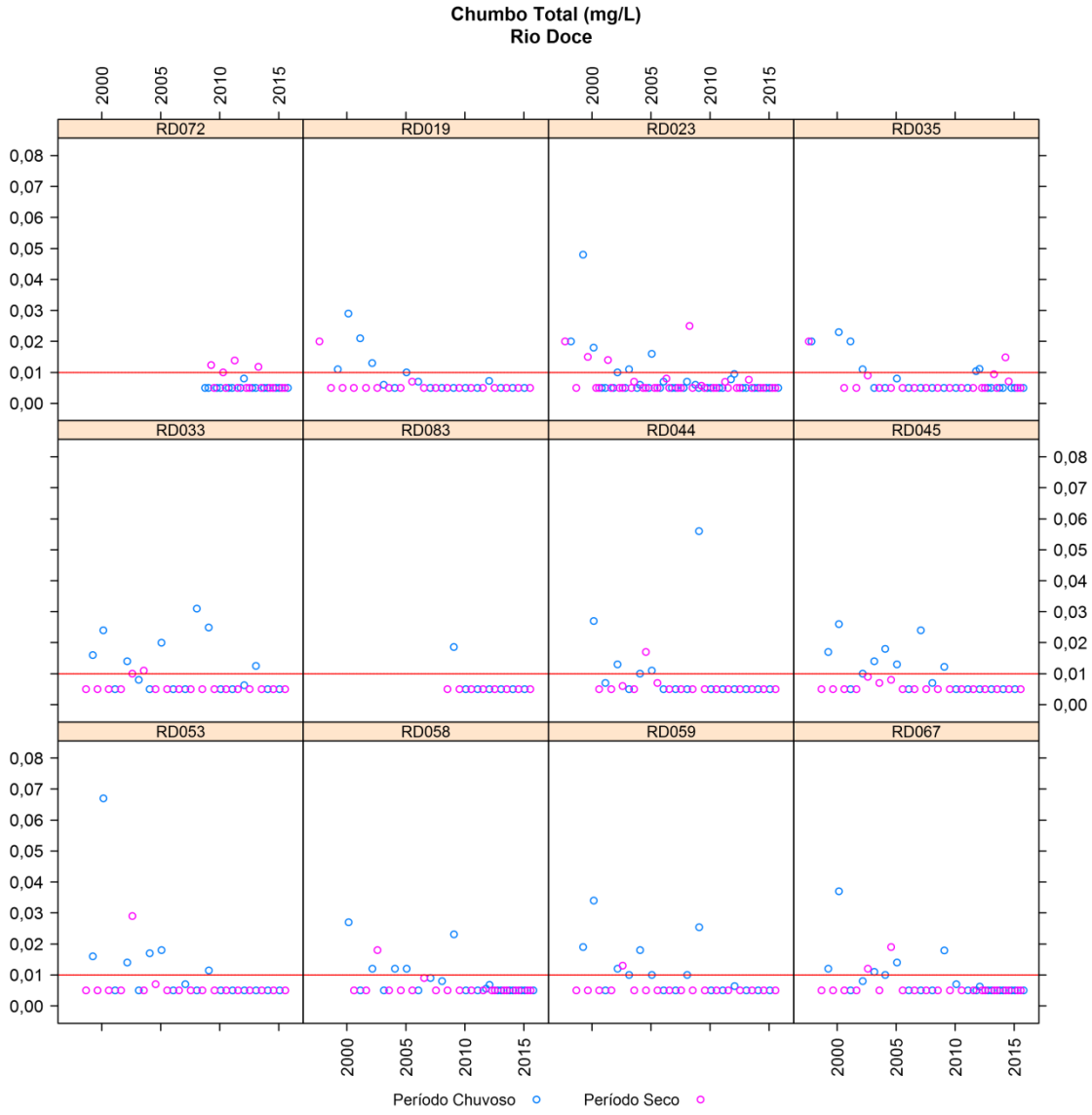
Para as estações do rio Doce (Figura 353), as medianas do período total e seco apresentaram valor de 0,005 mg/L. No período chuvoso, para a maioria das estações as medianas também apresentaram valor de 0,005 mg/L. Nas estações RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), RD045 (no município de Governador Valadares), RD059 (no município de Resplendor), contudo, os valores das medianas foram superiores, respectivamente: 0,006 mg/L, 0,007 mg/L e 0,006 mg/L.

Nos tributários do rio Doce (Figura 354), as medianas apresentaram valor de 0,005 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso). Exceção se fez na estação RD057 (rio Caratinga), na qual a mediana foi de 0,007 mg/L.

Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de chumbo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 355) e seus afluentes (Figura 356), de montante para jusante.

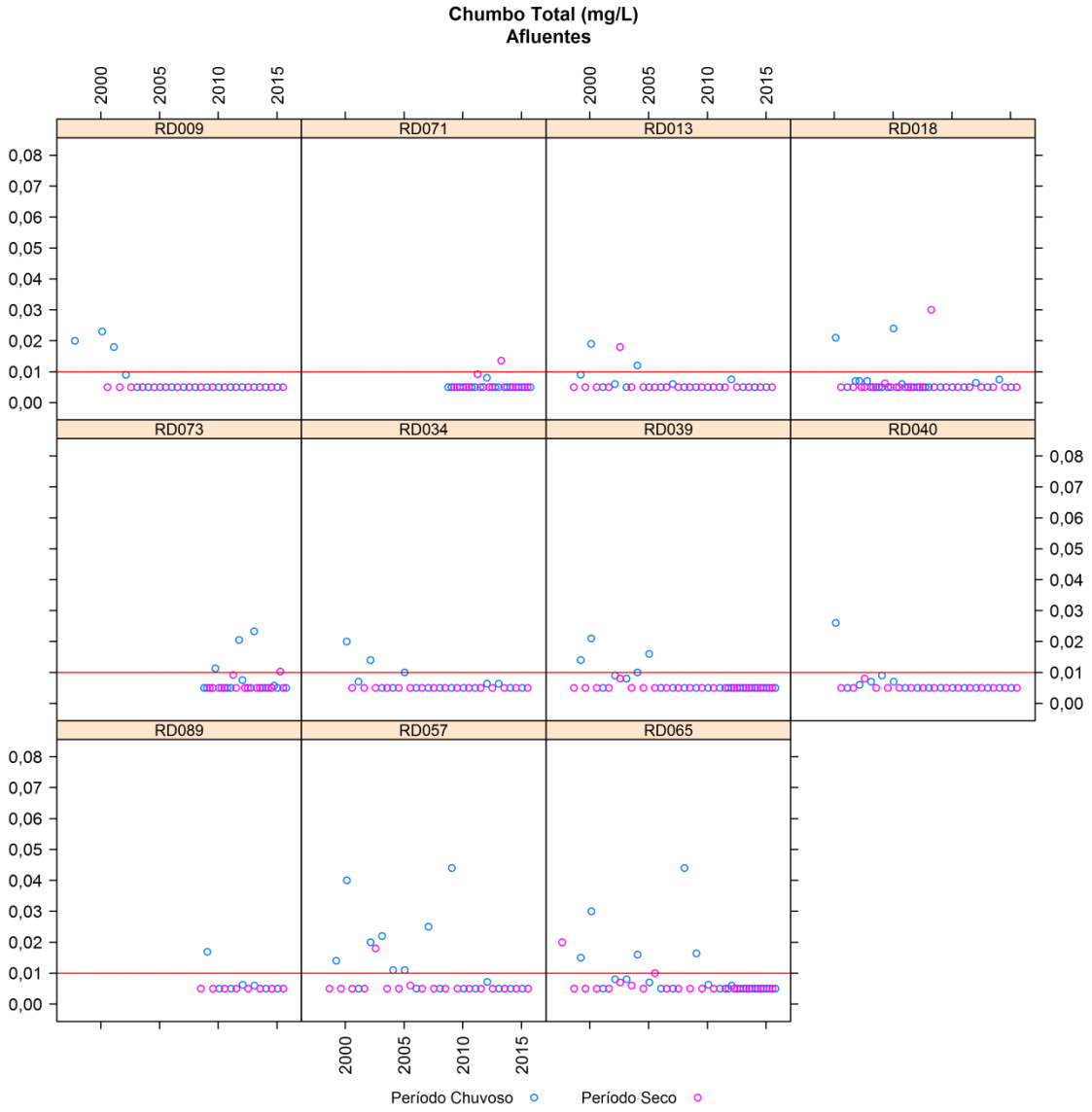
Figura 355 – Gráficos de dispersão dos dados de chumbo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Tanto para as estações de monitoramento do rio Doce (Figura 355) quanto para aquelas situadas em seus tributários (Figura 356), apesar de se observar alguma dispersão de dados ao longo do tempo, nota-se que as concentrações de chumbo total tenderam, na maioria das vezes, a 0,005 mg/L, lembrando que o limite legislado da referida variável é de 0,01 mg/L.

Nas estações RD023 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), RD044 (em Governador Valadares) e RD053 (entre os municípios de Galileia e Tumiritinga), foram registrados os valores máximos: 0,048 mg/L, 0,056 mg/L e 0,067 mg/L, respectivamente. Para os tributários do rio Doce, valores máximos foram observados nas estações RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu), sendo igual a 0,044 mg/L.

Figura 356 – Gráficos de dispersão dos dados de chumbo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.10 Cobre total

De ocorrência natural em rochas, solo, ar e água, além de animais e plantas, o cobre é um elemento de baixa solubilidade, sendo considerado um nutriente essencial para os dois últimos, em baixas doses (CETESB, 2016). Fontes antropogênicas de cobre são, principalmente, inseticidas, tintas, pigmentos, vidros, esmaltes, preservativos de alimentos e couros, ligas metálicas, fios e cabos elétricos (MARTINS, 2005).

Na região, o teor de cobre pode estar relacionado à produção de aguardente (FUKUZAWA, 2008), além de outras fontes possíveis de contaminação, como resultantes do intemperismo de rochas de sulfetos minerais.

O cobre, segundo Sigolo (1998), é o metal pesado com menor mobilidade no solo e nos lençóis freáticos em virtude de sua fácil fixação pela matéria orgânica e pelos óxidos de ferro, alumínio e manganês e, também, pelos argilominerais, podendo ser encontrado na forma de íons cúpricos, adsorvidos a sítios de troca iônica, na forma de óxidos, entre outros. A sua limitação no meio pode ser consequente do elevado pH local, da quantidade de ácidos húmicos ou da matéria orgânica, do potencial redox e de sua interação com outros metais como o zinco em minerais secundários e em alguns tipos de argila.

O monitoramento das concentrações de cobre total ocorreu somente para as estações do IGAM/MG entre 1998 e meados de 2006. Desse modo, para as estações RD072 e RD083, no rio Doce, e para as estações RD071, RD073 e RD089, em afluentes do rio Doce, que tiveram seu monitoramento iniciado em 2008, não existe registro de dados de cobre total. O número de eventos monitorados, em relação à avaliação da variável em questão, foi de no máximo 31. Além disso, no início do monitoramento da referida variável, o limite de quantificação do método utilizado era de 0,007 mg/L, quando, no início de 2005, o limite de quantificação foi alterado para 0,004 mg/L.

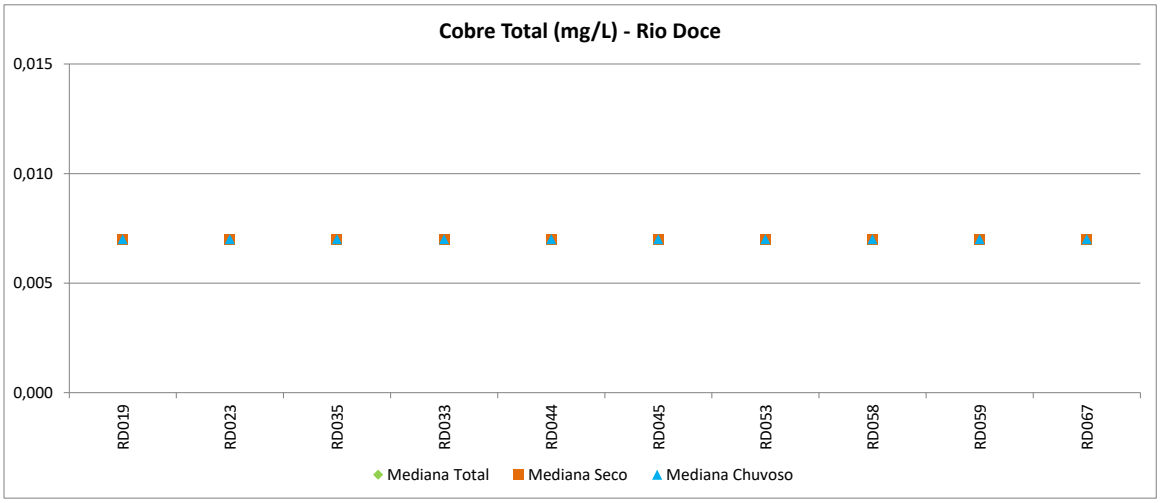
Na Resolução CONAMA nº 357/2005, não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 357 e a Figura 358 apresentam os valores de mediana de cobre total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

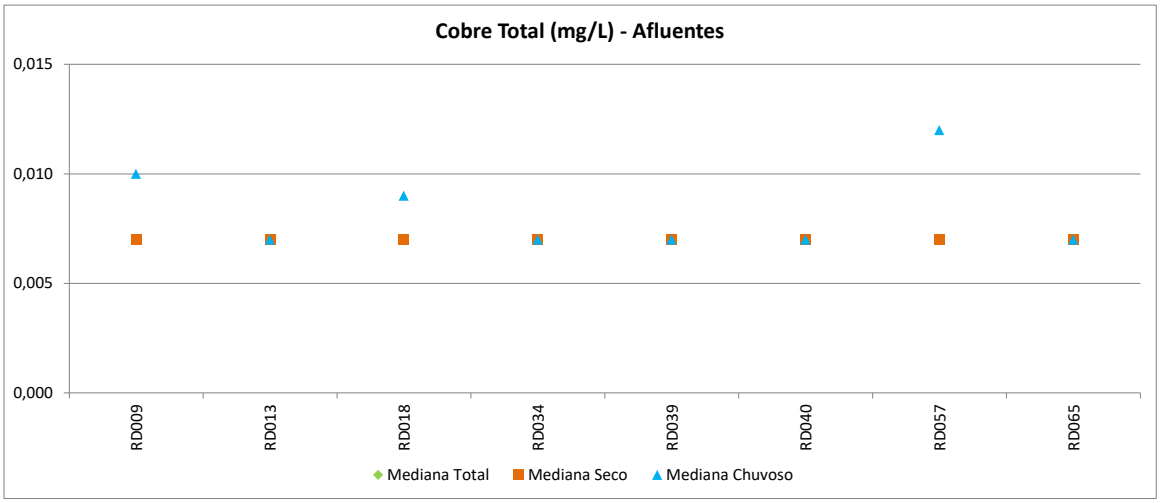
Nas estações do rio Doce (Figura 357), as medianas apresentaram valor de 0,007 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso).

Figura 357 – Medianas dos valores de cobre total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para os tributários, as medianas também tenderam a 0,007 mg/L, de modo geral. Contudo, para as estações RD009 (rio do Carmo), RD018 (rio Casca) e RD057 (rio Caratinga), no período chuvoso, resultaram medianas mais elevadas, respectivamente: 0,010 mg/L, 0,009 mg/L e 0,012 mg/L.

Figura 358 – Medianas dos valores de cobre total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



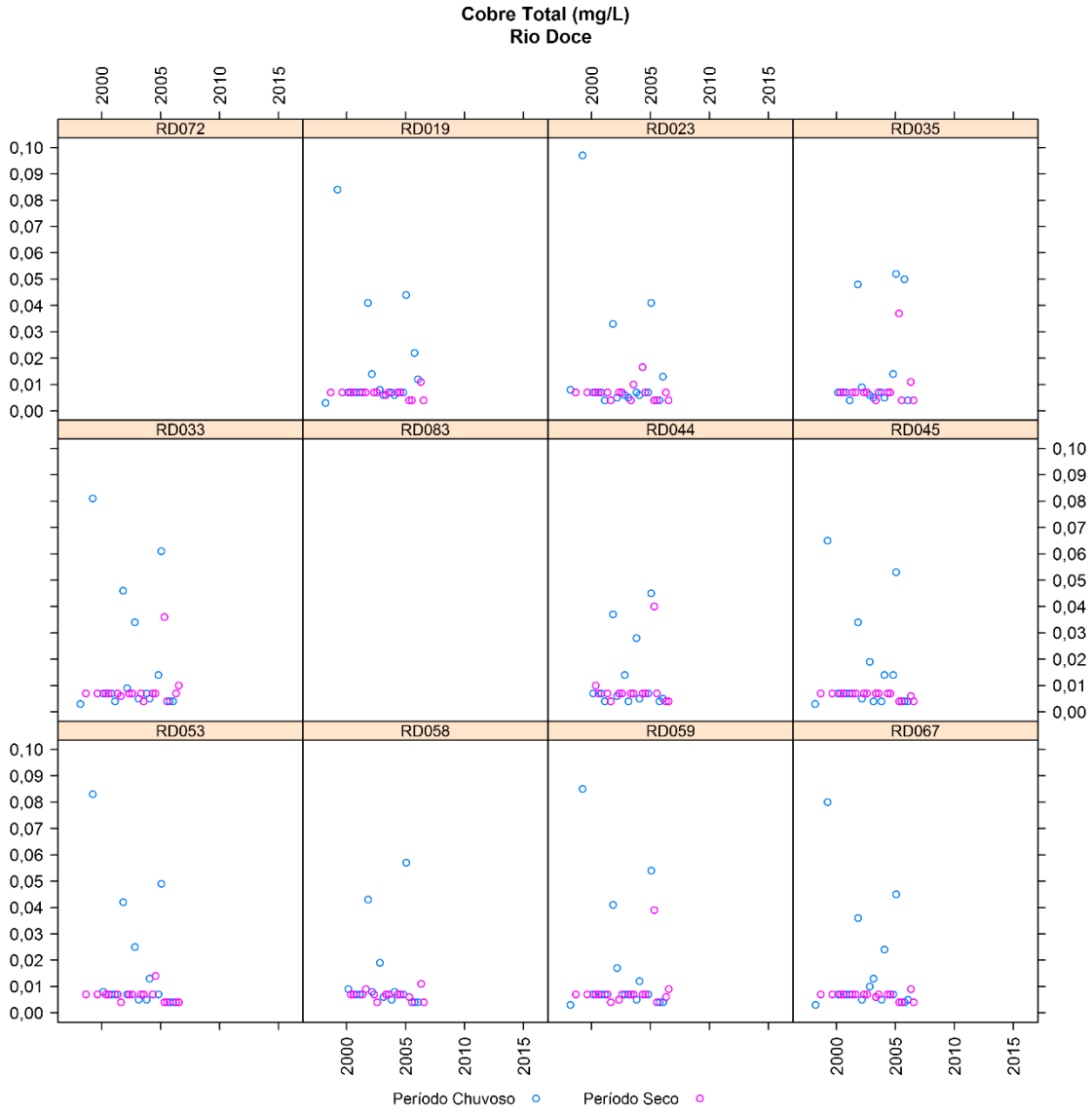
Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cobre total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 359) e seus afluentes (Figura 360), de montante para jusante.

Para as estações do rio Doce (Figura 359), observa-se que a maioria dos dados se situou abaixo da concentração de 0,010 mg/L. Contudo, ao longo do monitoramento foram registrados valores mais elevados para todas as estações. Valor máximo foi registrado na

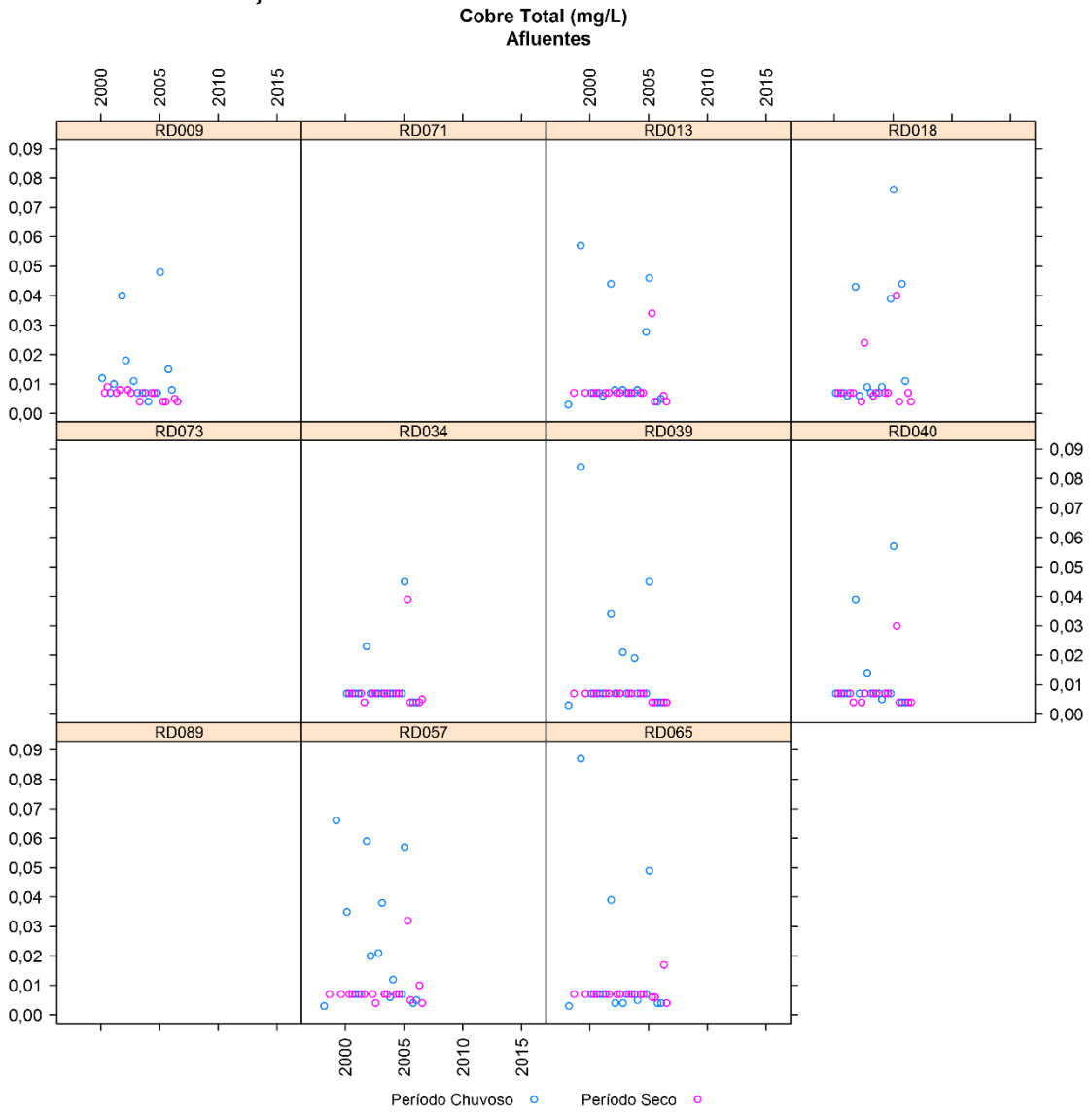
estação RD023 (entre os municípios de Marliéria e Pingo-d'Água), sendo igual a 0,097 mg/L. Não se observou tendência à diminuição ou elevação de valores ao longo do tempo.

Figura 359 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para os afluentes do rio Doce (Figura 360), a maioria dos dados também se situou abaixo da concentração de 0,010 mg/L. Em algum período do monitoramento, foram registrados valores mais elevados do que aquele citado. Valor máximo foi registrado na estação RD065 (rio Manhuaçu): 0,087 mg/L.

Figura 360 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.11 Cobre dissolvido

A concentração de metal-traço em águas naturais pode ser determinada em sua forma total ou apenas na fração dissolvida. O metal dissolvido constitui-se de uma fração lábil e outra não lábil. O metal lábil representa a fração do metal dissolvido que inclui os íons metálicos hidratados livres e os complexos lábeis do metal associado. É normalmente assumido que o metal lábil representa a fração do metal que é biodisponível, considerado como a fração tóxica do metal dissolvido. A fração não lábil inclui metais ligados em complexos ou adsorvidos em material orgânico (MILANI, 2004). Para mais informações vide Cobre Total (item 3.8.10.10).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, concentrações de cobre dissolvido não devem ultrapassar 0,009 mg/L em rios de Classe 2. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). O início do monitoramento dessa variável ocorreu em meados de 2005. O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,0005 mg/L.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 135) e seus afluentes (Tabela 136), dispostas de montante para jusante.

Para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Tabela 135), os percentuais de desacordos foram relativamente baixos. Os percentuais de desacordos foram mais elevados no período chuvoso (máximo de 7%) em relação ao período seco (máximo de 3%), de modo geral.

Tabela 135 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cobre dissolvido no rio Doce.

Rio Doce							
Cobre Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	48	0%	25	0%	23	0%
	RD019	61	5%	32	3%	29	7%
	RD023	61	2%	32	0%	29	3%
	RD035	61	2%	32	0%	29	3%
	RD033	61	3%	32	3%	29	3%
	RD083	49	0%	26	0%	23	0%
	RD044	61	0%	32	0%	29	0%
	RD045	61	0%	32	0%	29	0%
	RD053	61	2%	32	0%	29	3%
	RD058	61	2%	32	0%	29	3%
	RD059	61	2%	32	3%	29	0%
	RD067	61	0%	32	0%	29	0%

Nota: n: número de observações.

Nos tributários do rio Doce (Tabela 136), os percentuais de desacordos também foram superiores no período chuvoso e variaram de 0% a 10%, sendo iguais a 0% em 5 das 11 estações.

Tabela 136 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cobre dissolvido em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Cobre Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	42	7%	21	5%	21	10%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	58	5%	29	3%	29	7%
	RD018	42	7%	21	5%	21	10%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	42	5%	21	5%	21	5%
	RD039	42	5%	21	10%	21	0%
	RD040	42	5%	21	5%	21	5%
	RD089	30	0%	15	0%	15	0%
	RD057	42	0%	21	0%	21	0%
	RD065	42	2%	21	0%	21	5%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 361 e a Figura 362 apresentam os valores de mediana de cobre dissolvido para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Tanto para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 361) quanto para aquelas situadas em seus tributários (Figura 362), os valores das medianas foram de 0,004 mg/L no período total, seco e chuvoso, valor idêntico ao limite de quantificação do método utilizado, e, portanto, não foram observadas alterações espaciais.

Figura 361 – Medianas dos valores de cobre dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

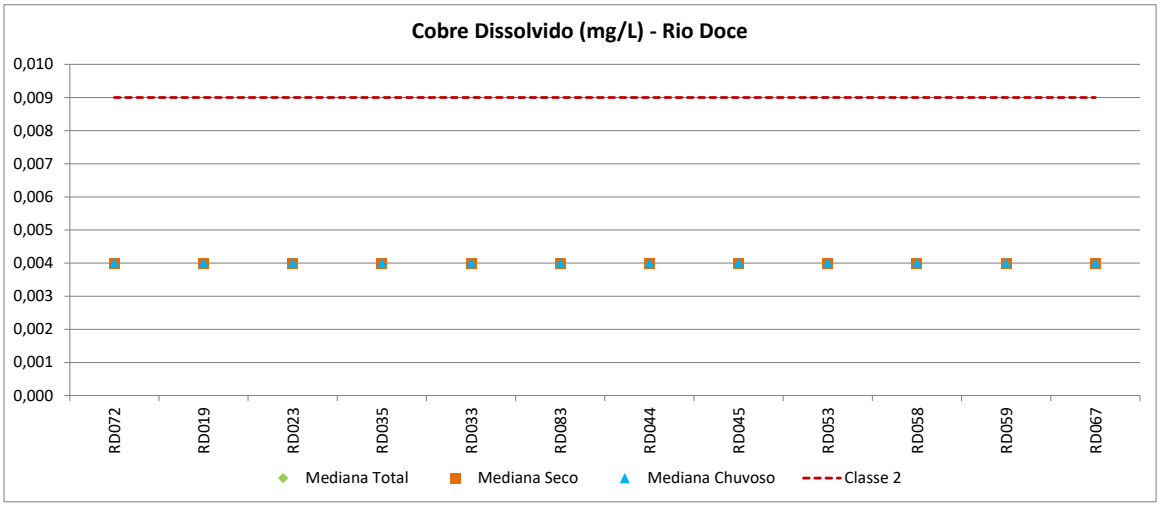
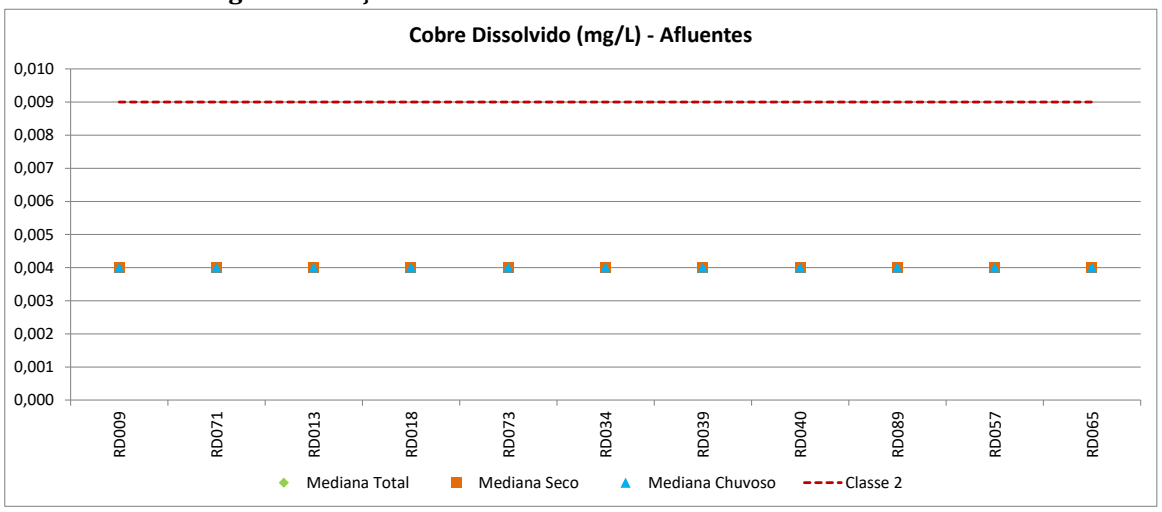


Figura 362 – Medianas dos valores de cobre dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cobre dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 363) e seus afluentes (Figura 364), de montante para jusante.

De modo geral, para as estações de monitoramento do rio Doce (Figura 363), as concentrações de cobre dissolvido apresentaram, ao longo do tempo, valores em torno do limite de quantificação do método (0,004 mg/L). Na estação RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata) registrou-se o valor máximo para as estações do rio Doce, chegando a 0,411 mg/L, ou seja, 45 vezes superior ao limite legislado. Cabe ressaltar, contudo, que esse valor elevado foi um registro pontual. Quando desconsiderado esse *outlier*, os valores máximos observados não passaram de 0,021 mg/L.

Para as estações situadas em afluentes do rio Doce (Figura 364), apesar de se observar alguma dispersão de dados ao longo do tempo, notou-se que as concentrações de cobre dissolvido tenderam, na maioria das vezes, a 0,004 mg/L. Valor mais elevado foi registrado na estação RD009 (rio do Carmo), chegando a 0,050 mg/L.

Figura 363 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

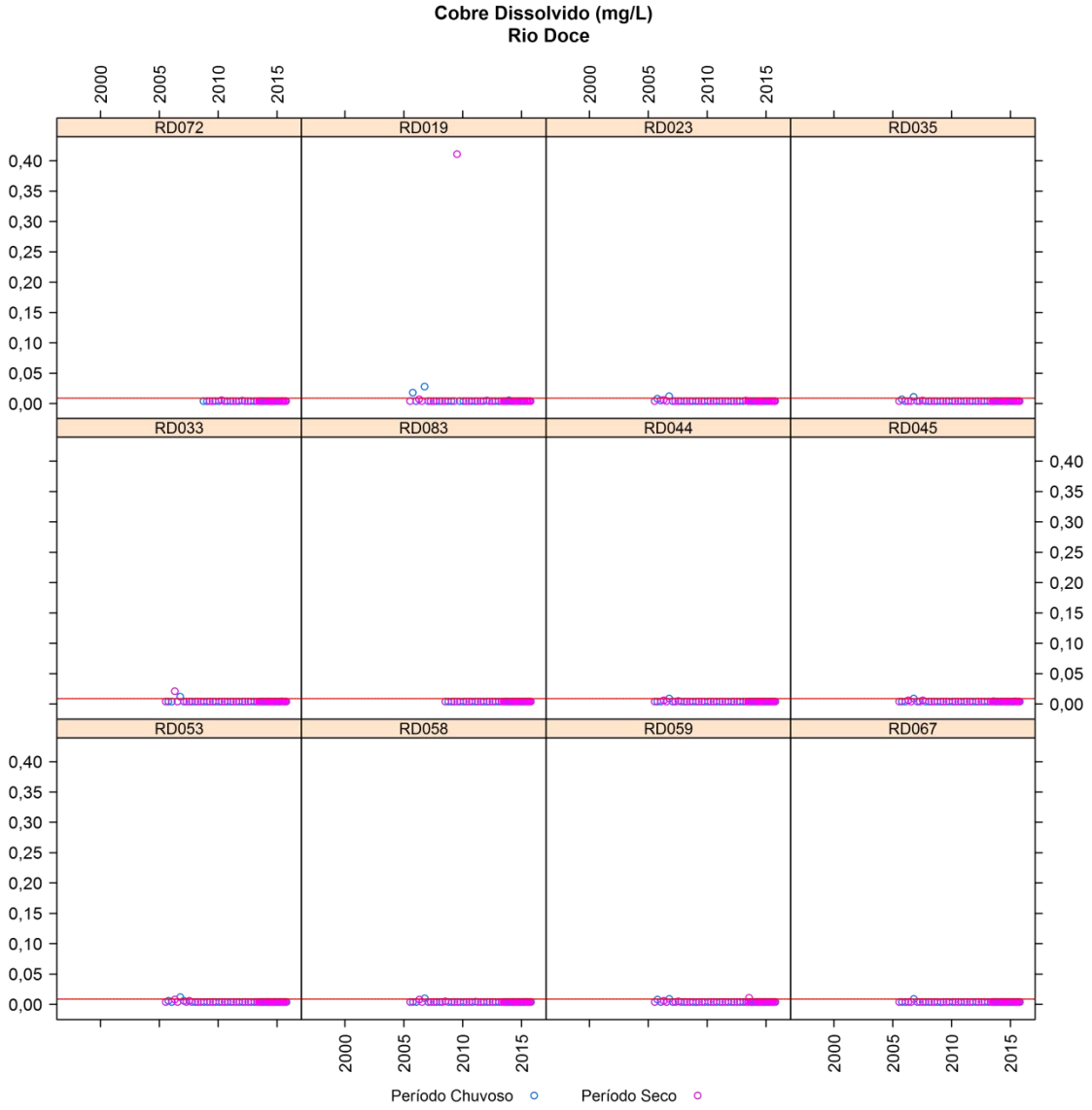
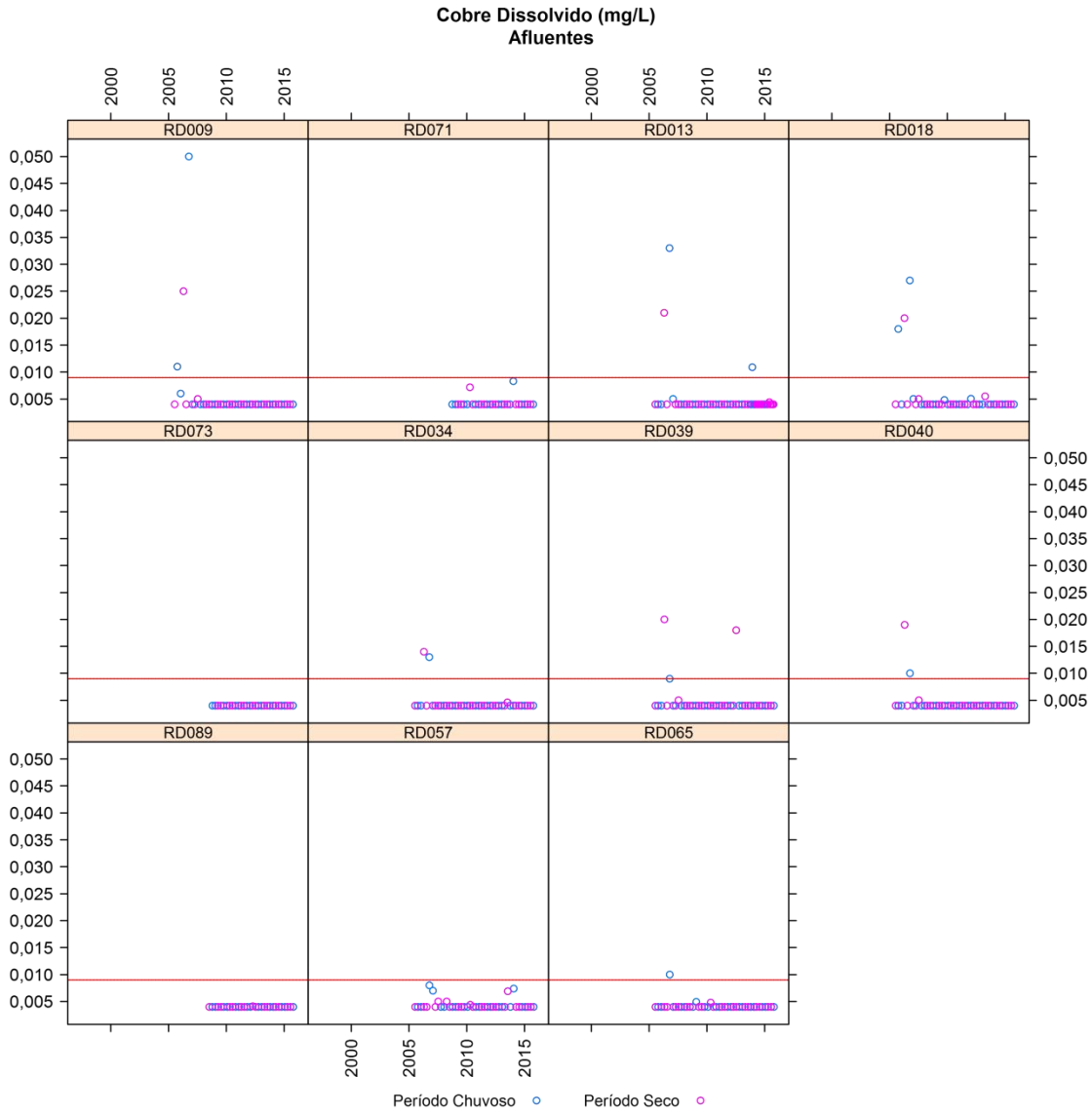


Figura 364 – Gráficos de dispersão dos dados de cobre dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.12 Cromo total

Fontes antrópicas de cromo ao ambiente vinculam-se às suas aplicações como anticorrosivo, na indústria de cromagem e cimento e em ligas com outros metais, compondo aços inoxidáveis. Os compostos trivalentes de cromo possuem baixa toxicidade, sendo inclusive considerados essenciais para o metabolismo humano; enquanto que os compostos hexavalentes podem provocar reações adversas, sendo considerados tóxicos e cancerígenos (MARTINS, 2005; CETESB, 2016).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, concentrações de cromo total não devem ultrapassar 0,05 mg/L em rios de Classe 2. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,04 mg/L.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 137) e seus afluentes (Tabela 138), dispostas de montante para jusante.

Para as estações situadas no rio Doce (Tabela 137), os percentuais de desacordos foram pouco relevantes ou inexistentes, não passando de 6% e ocorrendo principalmente no período chuvoso.

Tabela 137 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cromo total no rio Doce.

Rio Doce							
Cromo Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	0%	14	0%	15	0%
	RD019	35	3%	18	6%	17	0%
	RD023	36	3%	18	0%	18	6%
	RD035	32	0%	16	0%	16	0%
	RD033	36	3%	18	0%	18	6%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	3%	16	0%	16	6%
	RD045	36	0%	18	0%	18	0%
	RD053	35	3%	18	0%	17	6%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	36	0%	18	0%	18	0%
	RD067	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Nas estações localizadas em afluentes do rio Doce (Tabela 138), de modo geral, os percentuais de desacordos também foram pouco relevantes ou inexistentes. Exceção se fez para a estação RD057 (rio Caratinga), na qual se observaram desacordos com o limite legislado em 22% do período monitorado.

Tabela 138 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para cromo total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Cromo Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	32	0%	16	0%	16	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	36	3%	18	6%	18	0%
	RD018	32	3%	16	0%	16	6%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	36	3%	18	6%	18	0%
	RD040	32	0%	16	0%	16	0%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	36	11%	18	0%	18	22%
	RD065	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 365 e a Figura 366 apresentam os valores de mediana de cromo total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Tanto nas estações do rio Doce (Figura 365) quanto naquelas situadas em seus tributários (Figura 366), as medianas apresentaram valor de 0,040 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso).

Figura 365 – Medianas dos valores de cromo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

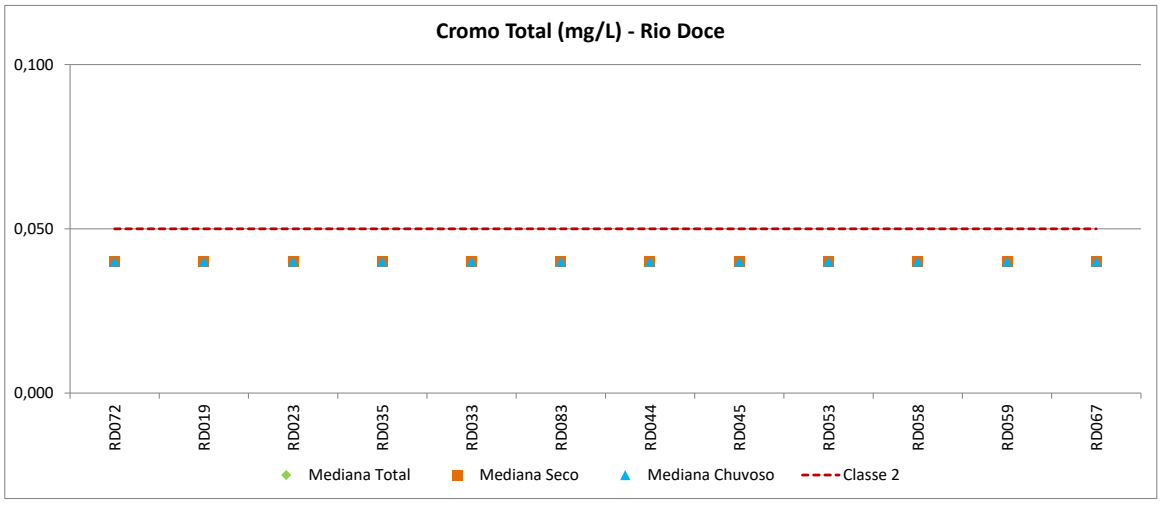
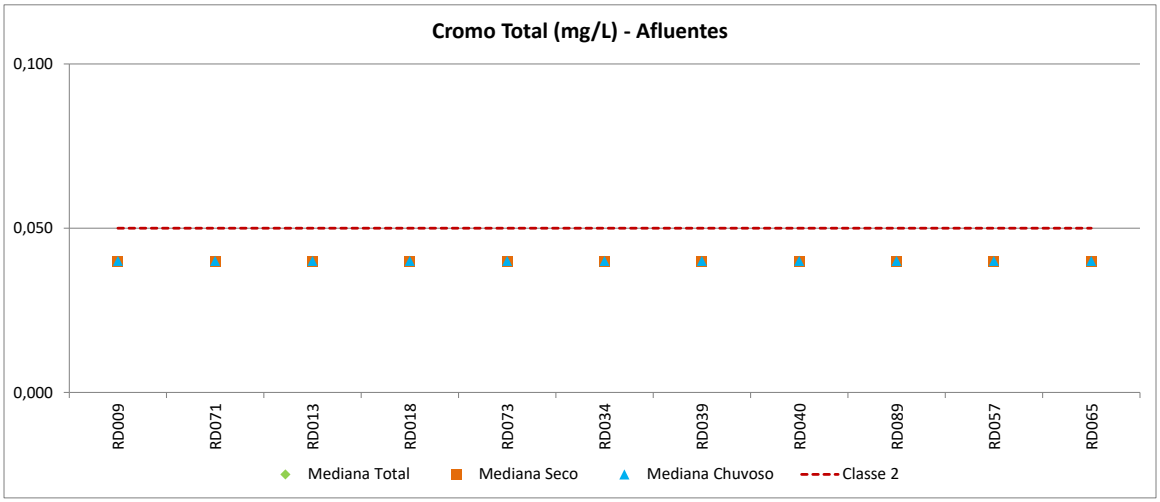


Figura 366 – Medianas dos valores de cromo total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cromo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 367) e seus afluentes (Figura 368), de montante para jusante.

Para as estações situadas no rio Doce (Figura 367), na maior parte do período avaliado, as concentrações de cromo total tenderam ao limite de quantificação do método (0,04 mg/L). Valores maiores que 0,04 mg/L e até mesmo superiores ao limite legislado (0,05 mg/L) foram registrados em um período inicial da série histórica. Nos últimos cinco anos monitorados (2010-2015), os valores estiveram de acordo com o limite legislado e tenderam ao limite de quantificação do método (0,04 mg/L).

Para os tributários do rio Doce (Figura 368), a tendência foi semelhante à observada para as estações do rio principal. Na estação RD057 (rio Caratinga), foram registrados valores muito superiores aos encontrados para as demais estações da região de estudo, chegando a 0,130 mg/L.

Figura 367 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

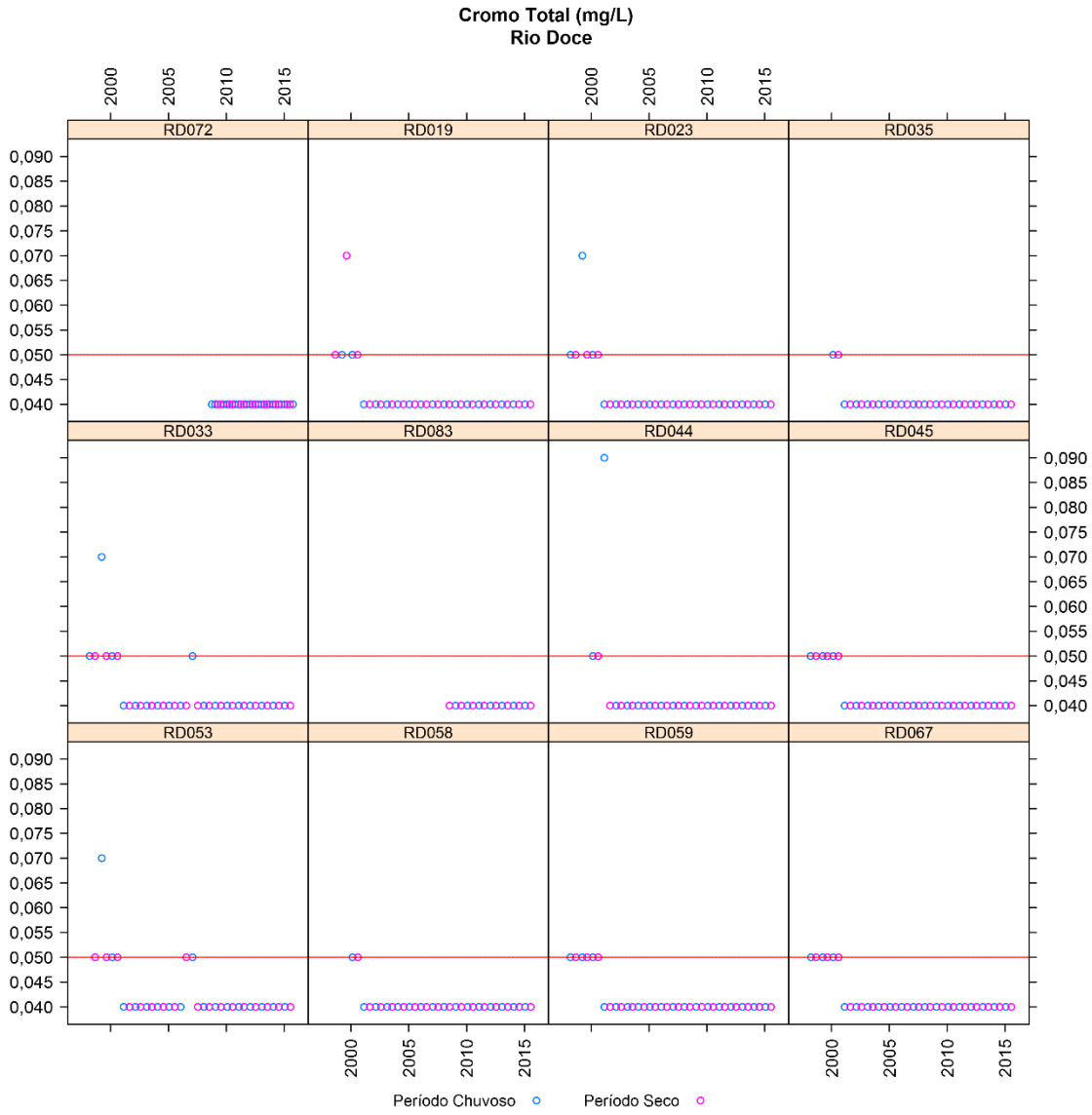
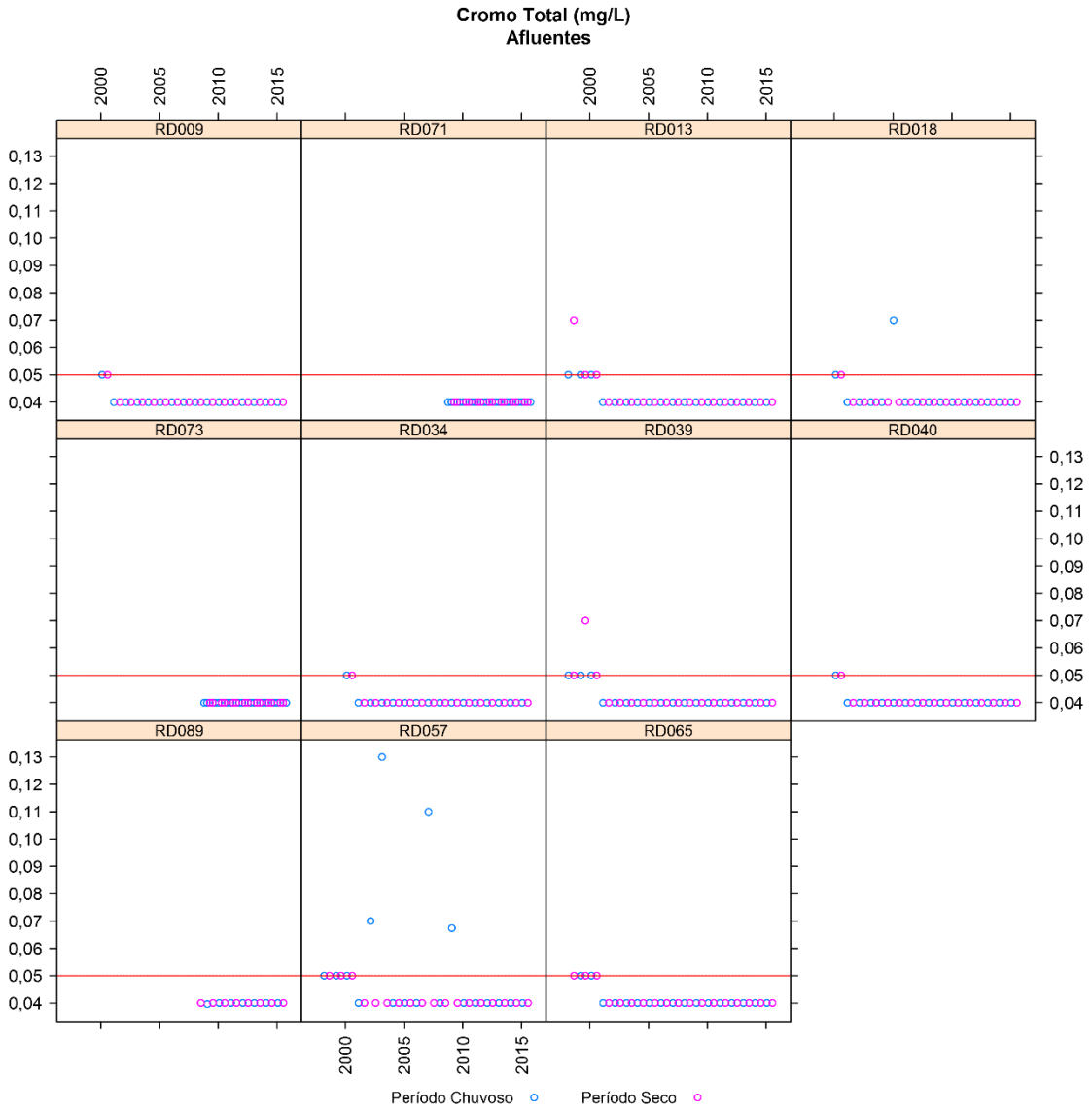


Figura 368 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.13 Cromo hexavalente

Para mais informações sobre o cromo hexavalente, vide Cromo Total (item 3.8.10.12).

O monitoramento das concentrações de cromo hexavalente ocorreu somente para as estações do IGAM/MG, entre agosto de 1998 e julho de 2006. Para as estações RD072 e RD083, no rio Doce, e para as estações RD071, RD073 e RD089, em afluentes do rio Doce, que tiveram seu monitoramento iniciado em 2008, não existe registro de dados de cromo hexavalente. O número de eventos monitorados, em relação à avaliação da variável em questão, foi de no máximo 17, no rio Doce e tributários. O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,01 mg/L. Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 369 e a Figura 370 apresentam os valores de mediana de cromo hexavalente para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente. Tanto para as estações do rio Doce (Figura 369) quanto para aquelas situadas em seus tributários (Figura 370), as medianas apresentaram valor de 0,01 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso).

Figura 369 – Medianas dos valores de cromo hexavalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

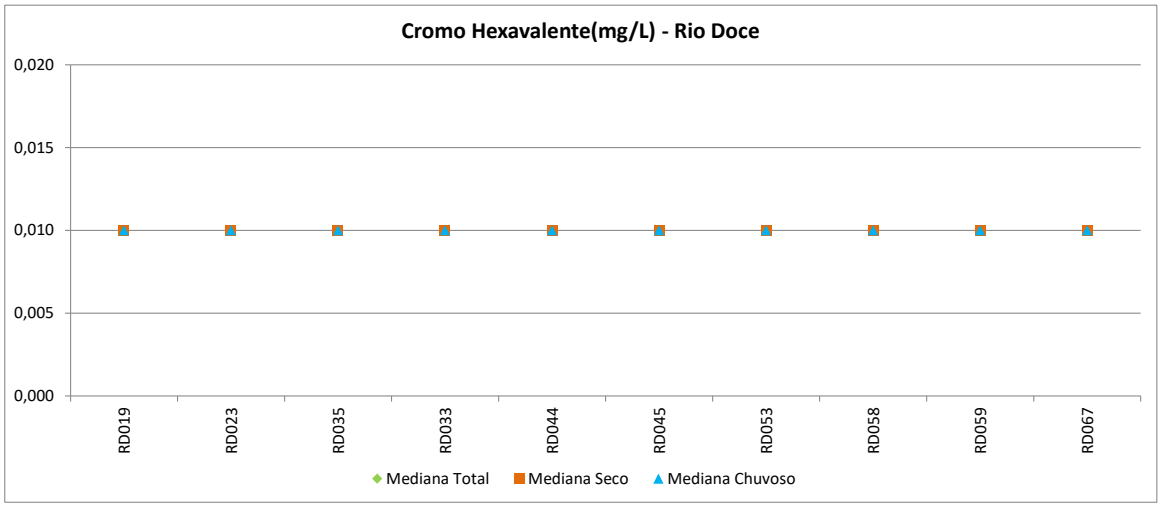
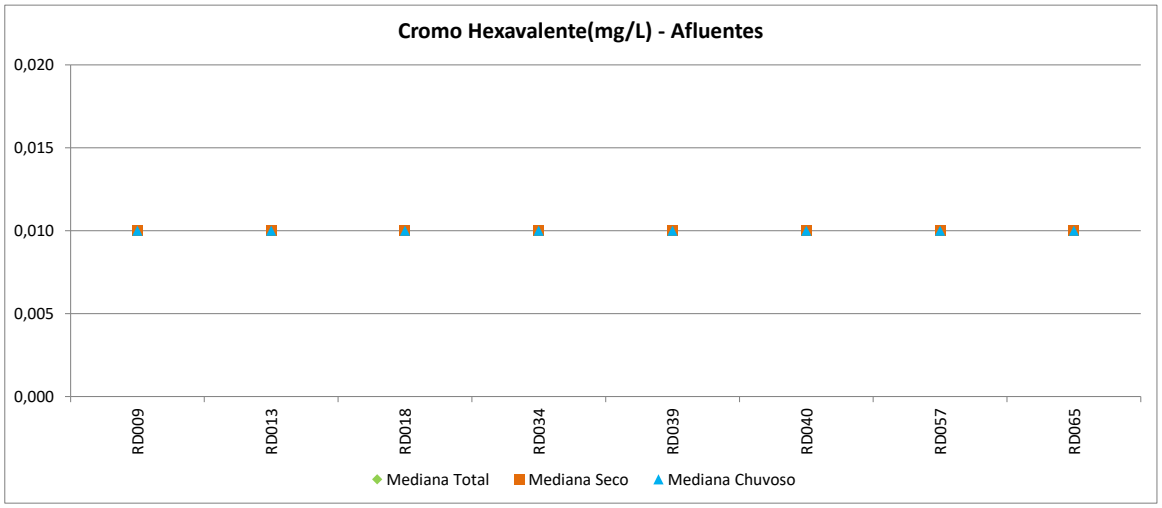


Figura 370 – Medianas dos valores de cromo hexavalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cromo hexavalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 371) e seus afluentes (Figura 372), de montante para jusante.

De modo geral, para as estações situadas no rio Doce (Figura 371) e tributários (Figura 372), as concentrações de cromo hexavalente tenderam ao limite de quantificação do método (0,01 mg/L) na maior parte do monitoramento. Valores superiores a este foram registrados, pontualmente, no início do monitoramento.

Figura 371 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo hexavalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

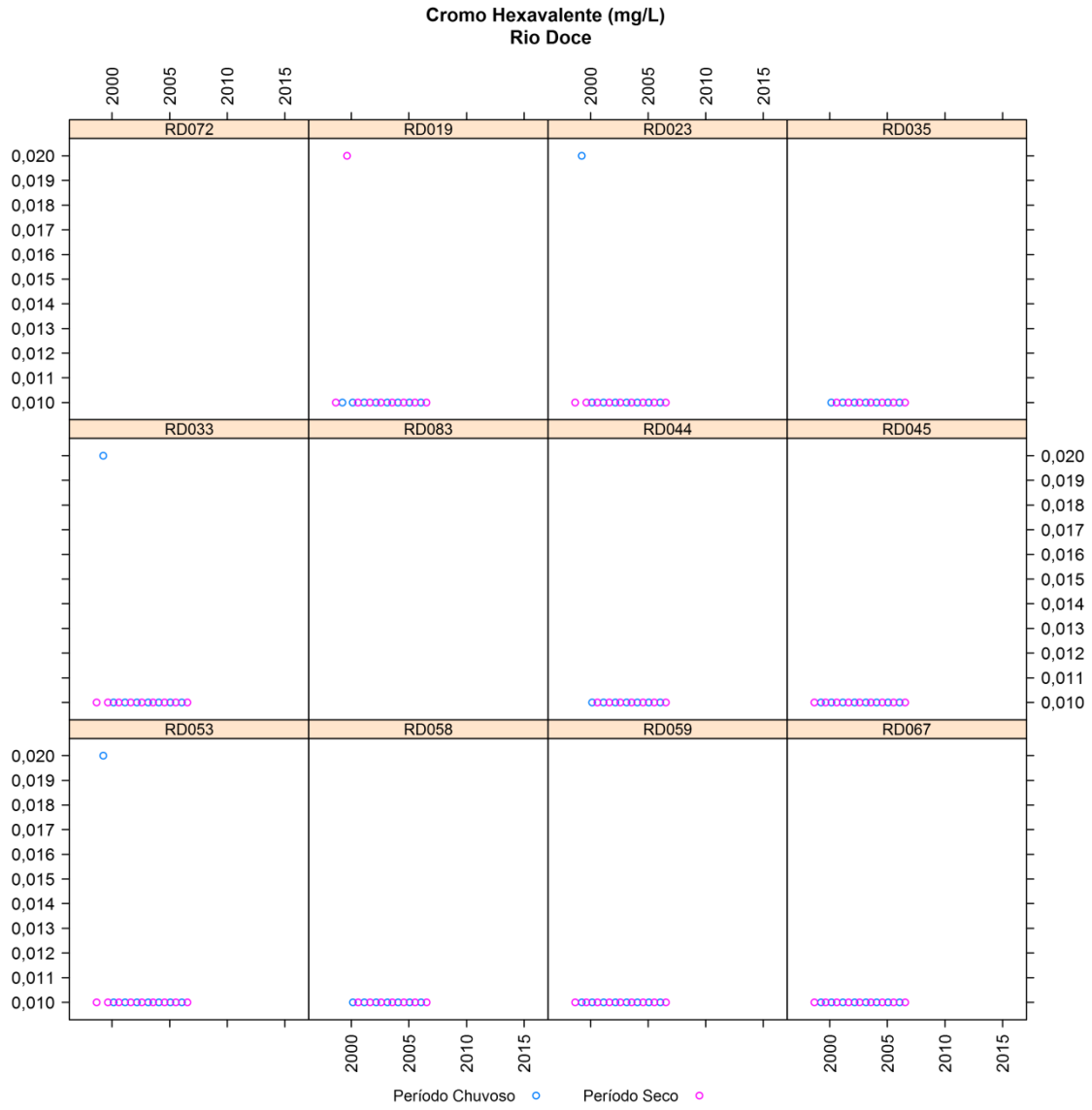
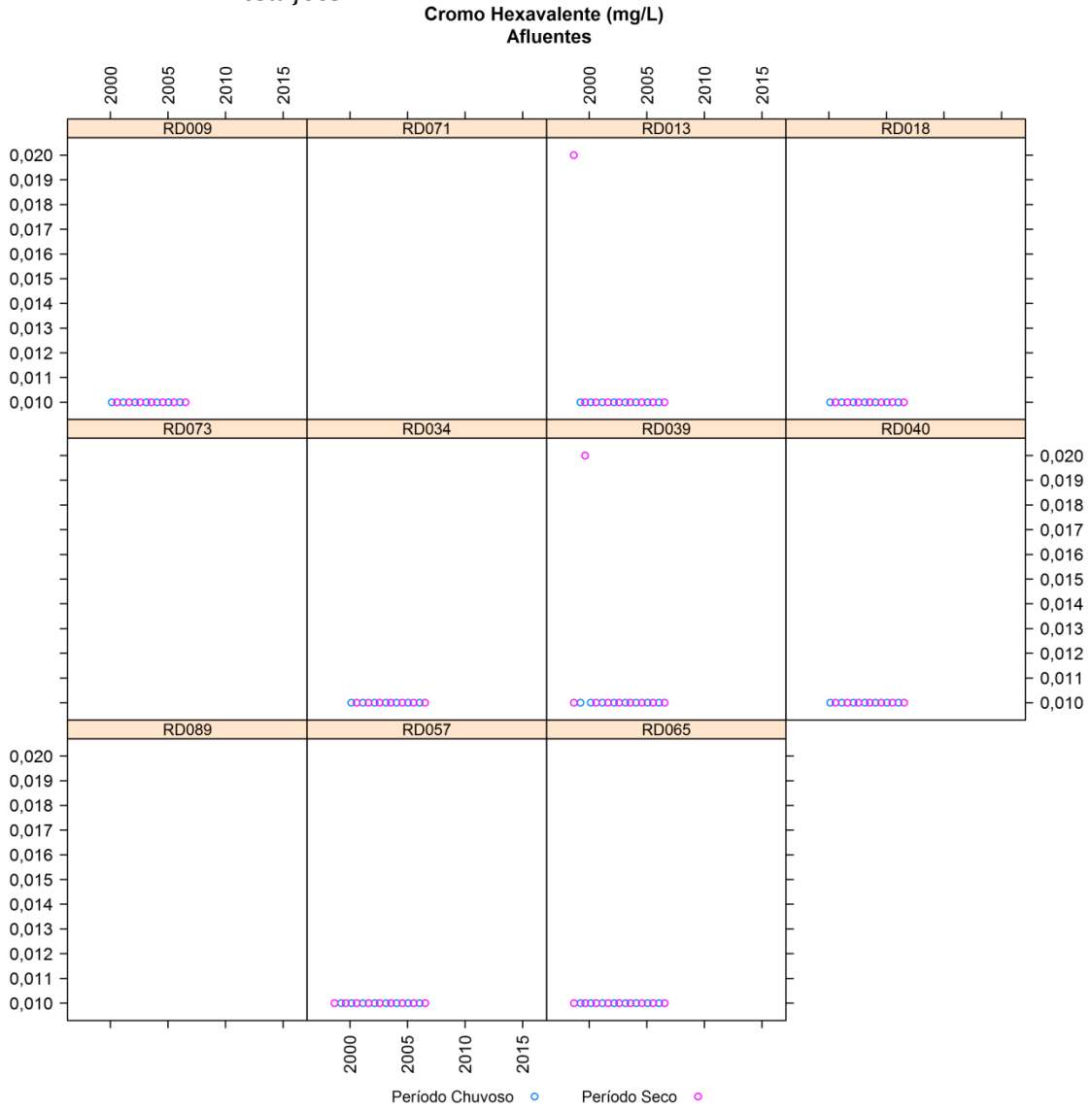


Figura 372 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo hexavalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.14 Cromo trivalente

Para mais informações sobre o cromo trivalente, vide Cromo Total (item 3.8.10.12).

O monitoramento das concentrações de cromo trivalente ocorreu somente para as estações do IGAM/MG, entre agosto de 1998 e julho de 2006. Para as estações RD072 e RD083, no rio Doce, e para as estações RD071, RD073 e RD089, em afluentes do rio Doce, que tiveram seu monitoramento iniciado em 2008, não existe registro de dados de cromo trivalente. O número de eventos monitorados, em relação à avaliação da variável em questão, foi de no máximo 17, no rio Doce e tributários. O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,04 mg/L.

Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 373 e a Figura 374 apresentam os valores de mediana de cromo trivalente para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Tanto para as estações do rio Doce (Figura 373) quanto para aquelas situadas em seus tributários (Figura 374), as medianas apresentaram valor de 0,040 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso). Exceção se fez na estação RD057, no rio Caratinga, onde a mediana do período chuvoso foi levemente superior às demais (0,050 mg/L).

Figura 373 – Medianas dos valores de cromo trivalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

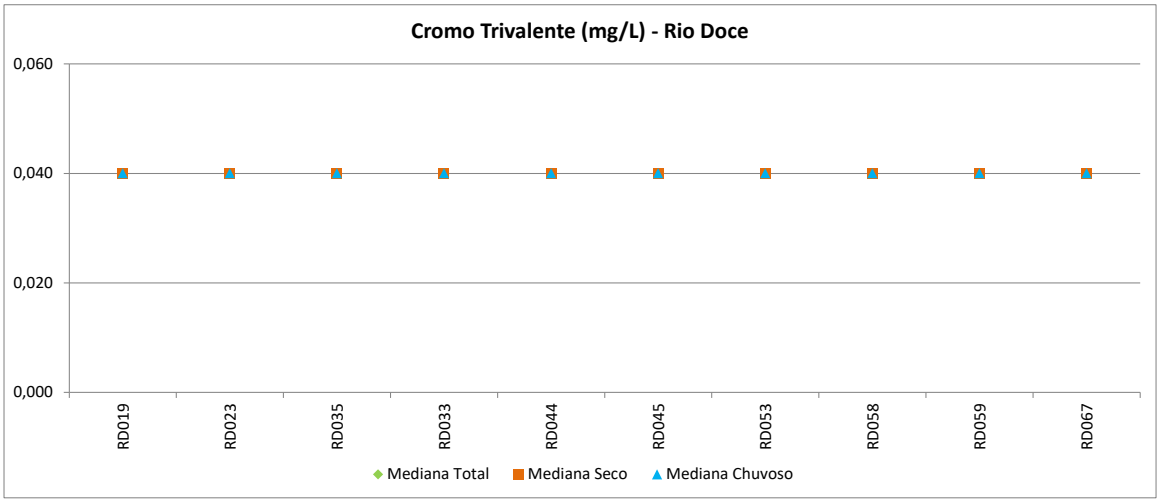
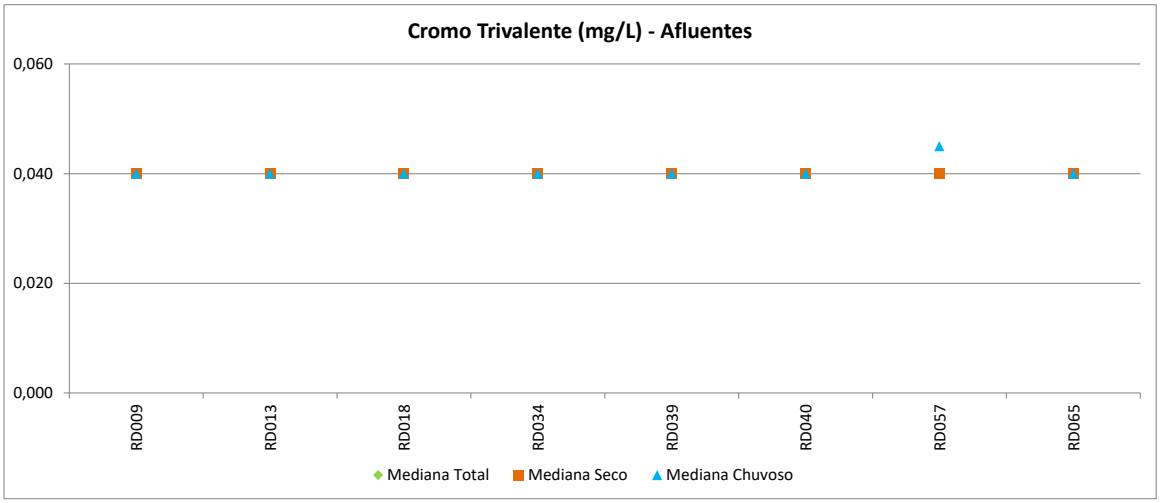


Figura 374 – Medianas dos valores de cromo trivalente para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de cromo trivalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 375) e seus afluentes (Figura 376), de montante para jusante.

De modo geral, as concentrações de cromo trivalente tenderam ao limite de quantificação do método (0,01 mg/L) na maior parte do monitoramento para as estações situadas no rio Doce (Figura 375) e tributários (Figura 376). Valores superiores a este foram registrados no início do monitoramento ou, então, ocorreram de modo pontual. Na estação RD057 (rio Caratinga), observou-se o valor mais elevado das séries de dados: 0, 13 mg/L.

Figura 375 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo trivalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

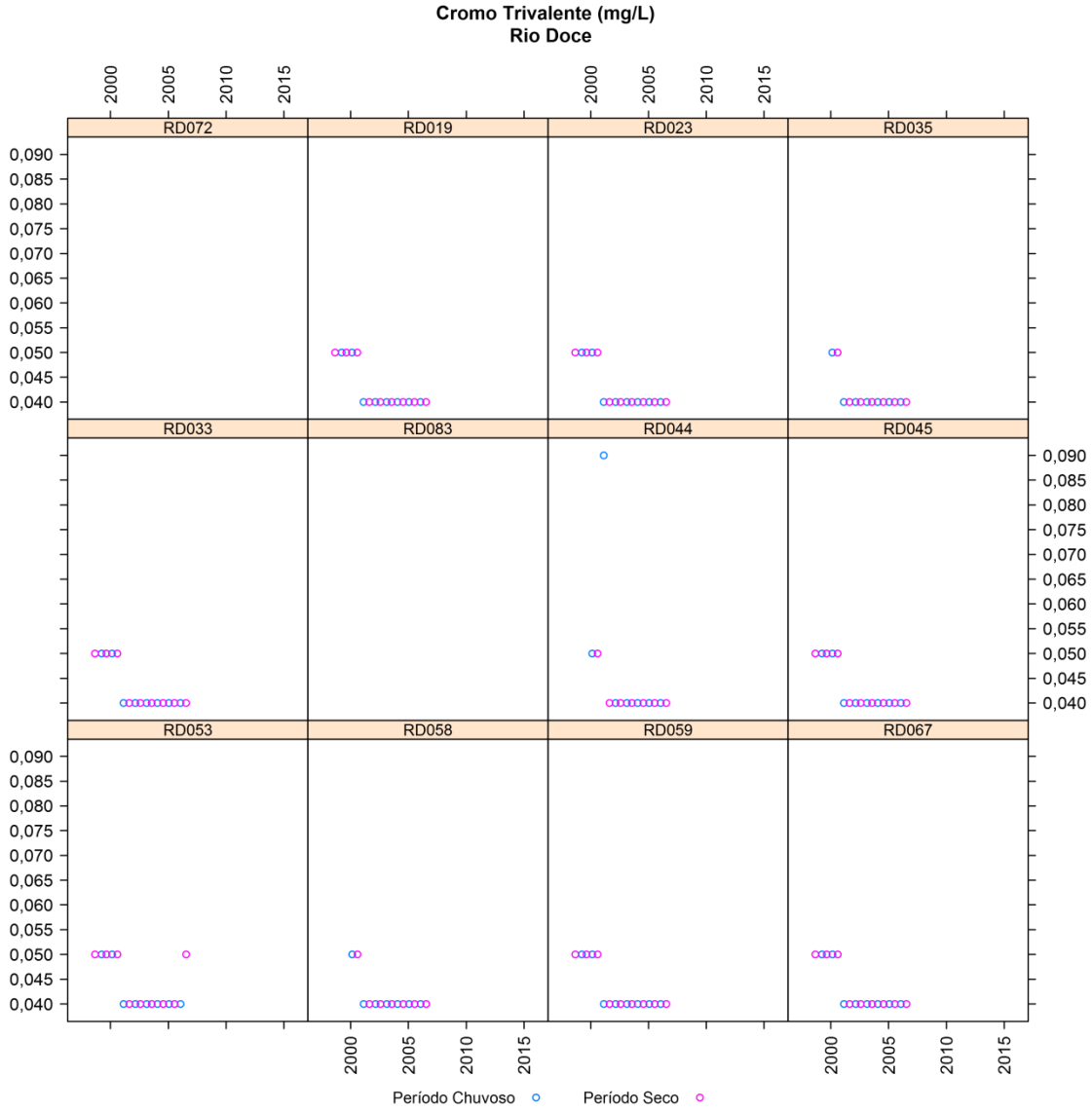
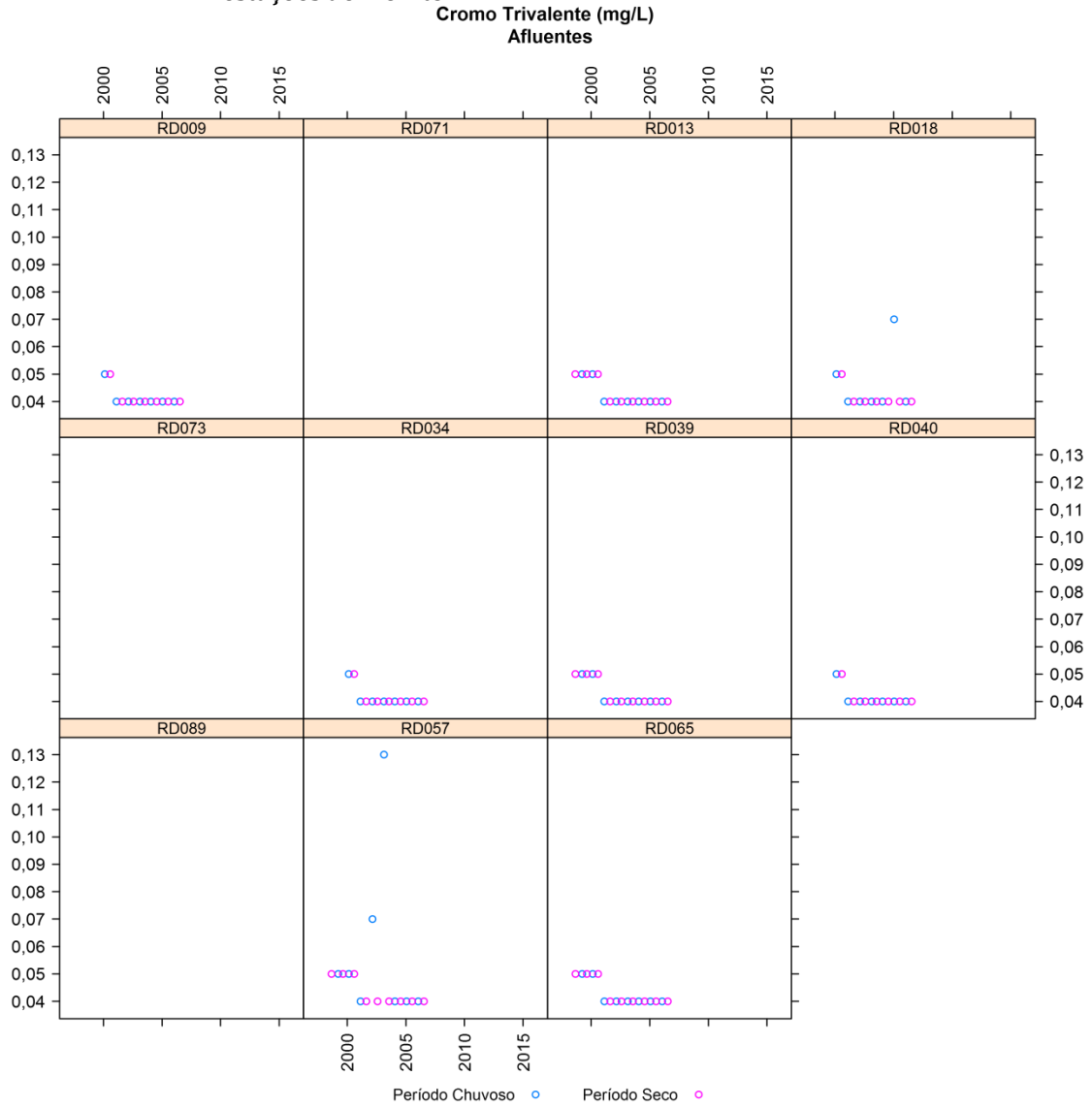


Figura 376 – Gráficos de dispersão dos dados de cromo trivalente ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.15 Ferro dissolvido

A concentração natural de ferro no solo pode variar de 0,7% a 4,2%, e este indica relativa estabilidade dos agregados e a sua alta porosidade. Segundo Sigolo (1998), em ambientes de clima tropical com formação de solos lateríticos e latossolos é comum se verificar uma concentração de hematita, entre 14% e 56%. A lixiviação do ferro reduzido Fe^{2+} é observada em meio rico em matéria orgânica e em condições ácido-redutoras. No solo, o ferro possui comportamento geoquímico similar ao do cobre e do níquel. O íon Fe^{2+} é mais facilmente assimilado pelas plantas do que o íon Fe^{3+} (SIGOLO, 1998). Assim, originado a partir da degradação de rochas e solos, o ferro é considerado um dos elementos mais abundantes na Terra, sendo encontrado frequentemente na forma insolúvel (Fe^{+3}) e na forma dissolvida (Fe^{+2}) em águas naturais superficiais e também subterrâneas. Sua presença em águas superficiais, geralmente, não apresenta inconveniente sanitário, no entanto, em concentrações mais elevadas pode conferir sabor à água (LIBÂNIO, 2005).

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, rios de Classe 2 devem apresentar concentrações de ferro dissolvido de até 0,3 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 139) e seus afluentes (Tabela 140), dispostas de montante para jusante.

De acordo com a Tabela 139, observa-se que desacordos superiores a 20% ocorreram, de modo geral, no período chuvoso. Esses desacordos mais representativos foram constatados em 6 das 12 estações monitoradas, sendo as estações RD035 (município de Santana do Paraíso), RD044 (município de Governador Valadares) e RD067 (município de Aimorés) aquelas com os percentuais de desacordos mais elevados. No período seco, os desacordos foram mínimos ou não existiram, variando de 0% a 11%.

Tabela 139 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para ferro dissolvido rio Doce.

Rio Doce							
Ferro Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	14%	14	0%	15	27%
	RD019	54	9%	27	0%	27	19%
	RD023	68	10%	34	0%	34	21%
	RD035	41	20%	20	5%	21	33%
	RD033	38	11%	19	0%	19	21%
	RD083	30	7%	15	0%	15	13%
	RD044	32	22%	16	0%	16	44%
	RD045	54	7%	27	0%	27	15%
	RD053	53	11%	27	11%	26	12%
	RD058	50	12%	25	4%	25	20%
	RD059	54	11%	27	7%	27	15%
	RD067	54	20%	27	7%	27	33%

Nota: n: número de observações.

Para os afluentes (Tabela 140), assim como para o rio Doce, os desacordos mais relevantes (superiores a 20%) também ocorreram no período chuvoso, sendo mais elevados nas estações RD013 (rio Piranga) e RD040 (rio Corrente Grande).

A estação RD073, localizada no ribeirão do Sacramento, foi a que apresentou o maior percentual de desacordos (21%), quando considerado o período seco. Nas demais estações, os percentuais de desacordos variaram de 0% a 11%, para o mesmo período. Na avaliação dessa variável, destacou-se a diferença em se estudar somente o período total, em detrimento da separação das séries em período seco e chuvoso. Nesse contexto, as estações RD034, RD039, RD057 e RD065 não apresentariam desacordos de ordem mais relevante caso se considerasse o período total, situação esta que é alterada quando considerada a sazonalidade.

Tabela 140 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o ferro dissolvido em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Ferro Dissolvido							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	33	0%	17	0%	16	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	36	36%	18	11%	18	61%
	RD018	61	25%	30	13%	31	35%
	RD073	29	28%	14	21%	15	33%
	RD034	32	19%	16	6%	16	31%
	RD039	45	16%	22	0%	23	30%
	RD040	32	25%	16	6%	16	44%
	RD089	30	13%	15	7%	15	20%
	RD057	54	13%	27	0%	27	26%
	RD065	54	20%	27	11%	27	30%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

As concentrações de ferro dissolvido ao longo do rio Doce não apresentaram variações consideráveis (Figura 377), sendo que os valores de mediana para o período total variaram de 0,106 mg/L a 0,155 mg/L. Valor de mediana mais baixo foi observado na estação RD083 (entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito). Notou-se aumento nas concentrações no período chuvoso para todas as estações.

Em relação às estações no rio Doce, notou-se uma maior variação nas medianas quando comparadas com aquelas obtidas para as estações localizadas em afluentes (Figura 378). Os valores também tenderam a aumentar no período chuvoso. As estações RD013 (rio Piranga), RD018 (rio Casca) e RD073 (ribeirão Sacramento) foram as que apresentaram concentrações medianas mais elevadas, quando considerado o período total.

Figura 377 – Medianas das concentrações de ferro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

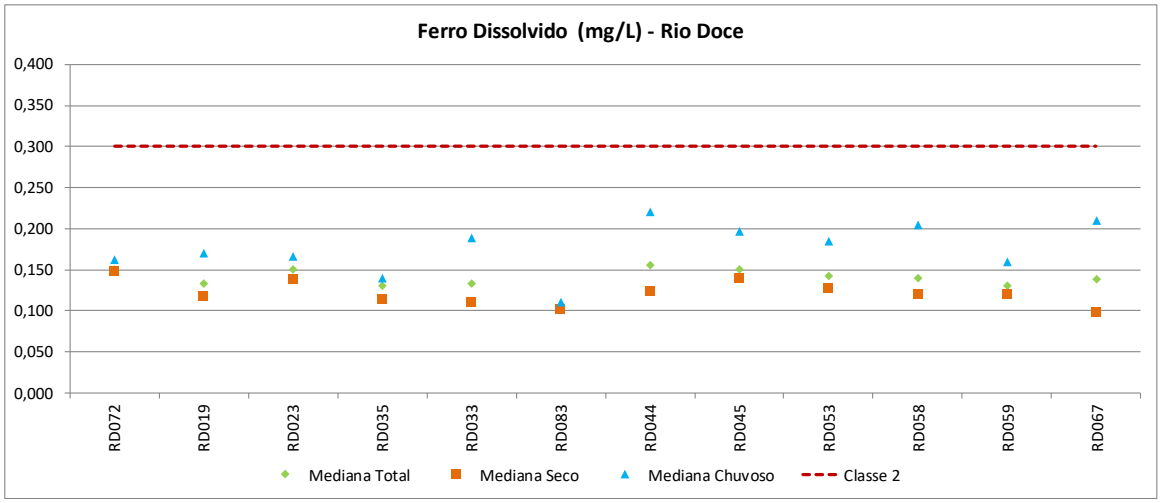
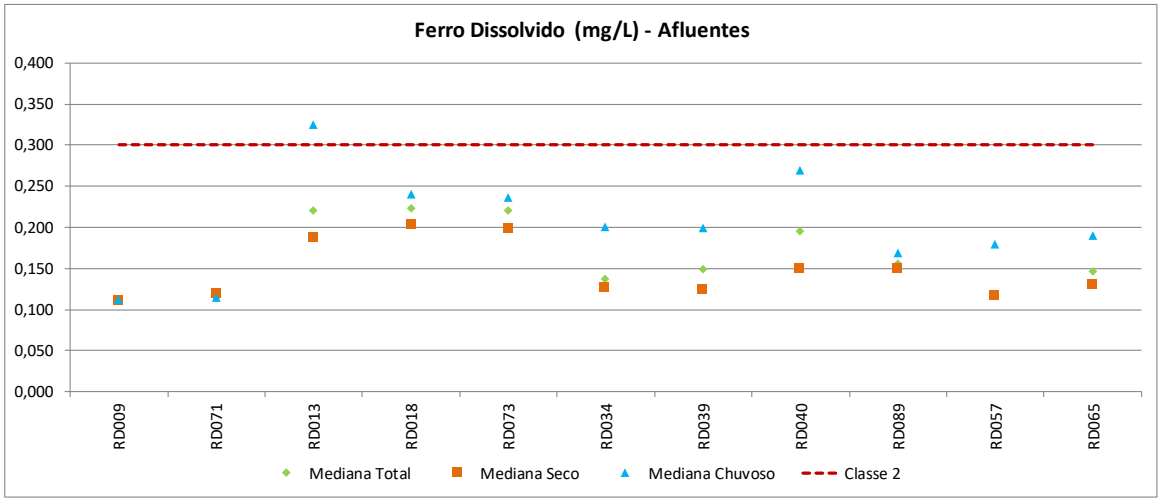


Figura 378 – Medianas das concentrações de ferro dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

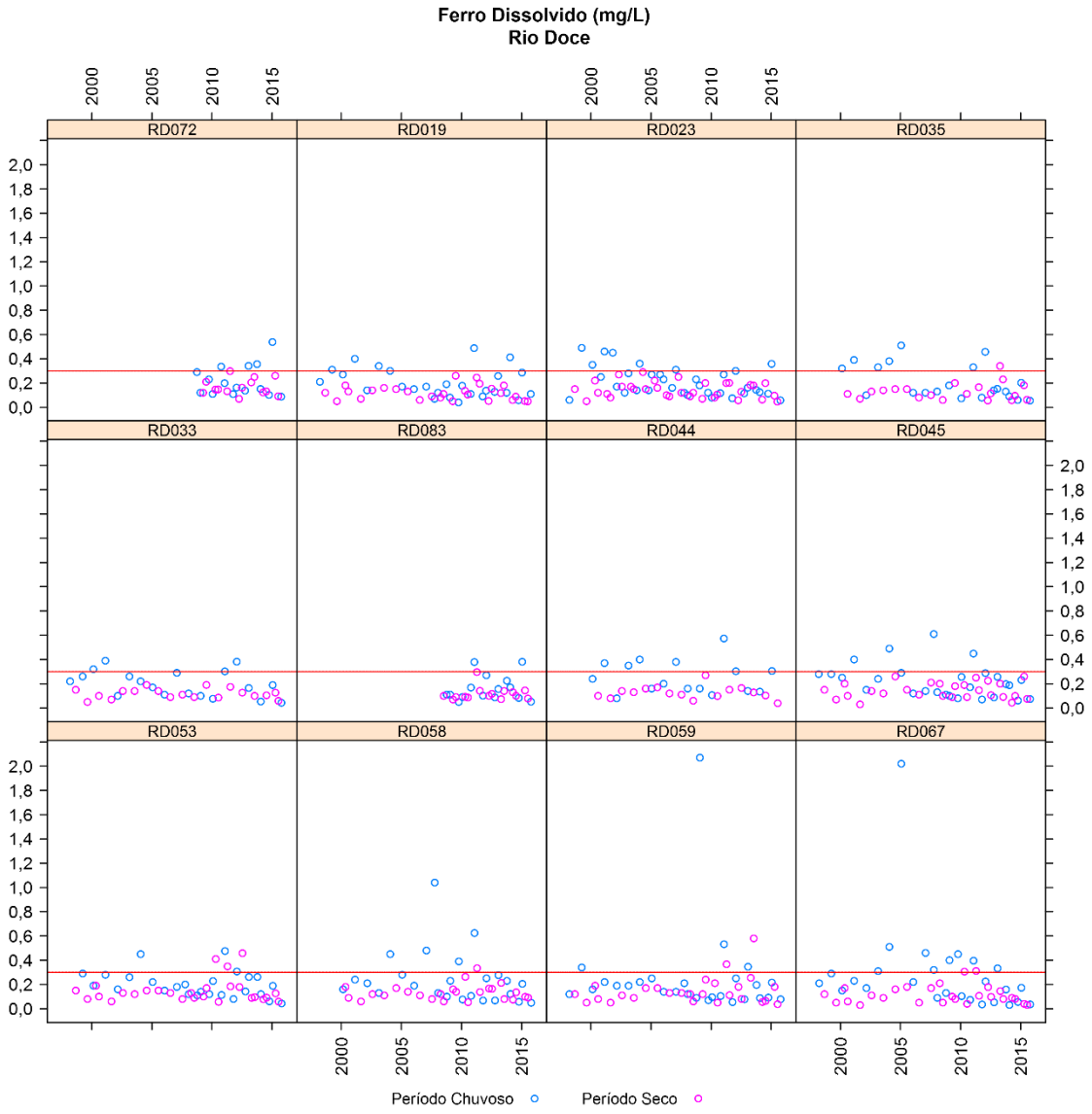


Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de ferro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 379) e seus afluentes (Figura 380), de montante para jusante.

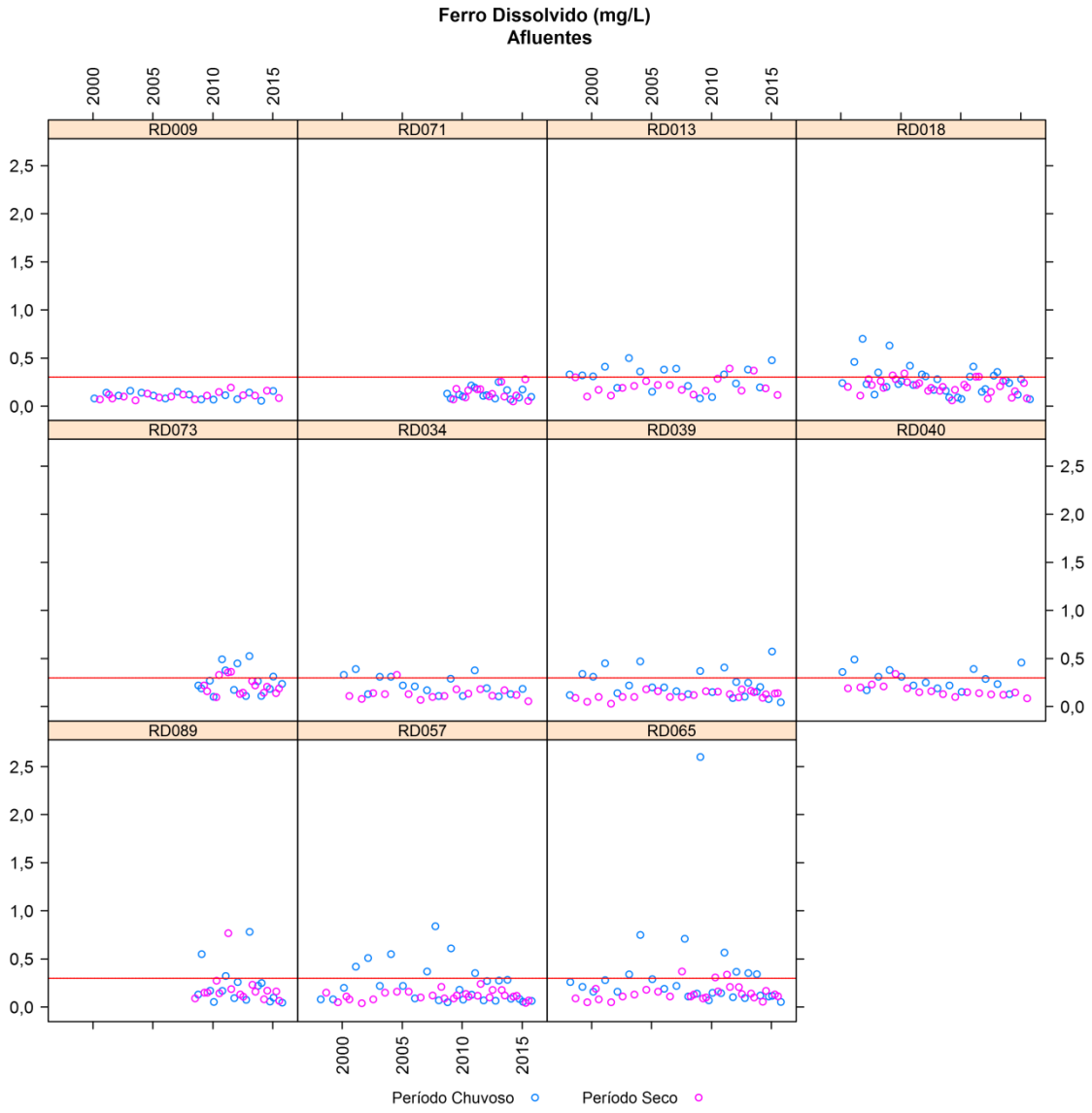
A partir da Figura 379, nota-se que a maioria das observações se encontra de acordo com o limite legislado, sendo as não conformidades registradas em sua grande maioria no período chuvoso. Nas estações mais a jusante, RD058 (Conselheiro Pena), RD059 (Resplendor) e RD067 (próximo a Aimorés), foram registradas concentrações mais elevadas de ferro dissolvido. De modo geral, as séries de dados não apresentaram grandes alterações ao longo do tempo, não sendo possível afirmar se houve uma tendência de aumento ou redução nas concentrações do parâmetro em questão.

Figura 379 – Gráficos de dispersão dos dados de ferro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Em relação aos afluentes (Figura 380), as estações do rio do Carmo, RD009 e RD071, apresentaram séries mais homogêneas, sem desacordos em relação ao limite legislado. Para as demais estações, foramregistrados desacordos em algum momento, em especial no período chuvoso. Nas estaçõesRD018 (rio Casca), RD089 (rio Suaçuí Grande), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rioManhuaçu), houve maior variação das concentrações de ferro dissolvido. Não se observaramalterações significativas em termos de tendência da série.

Figura 380 – Gráficos de dispersão dos dados de ferro dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce.



3.8.10.16 Magnésio total

O magnésio apresenta propriedades químicas similares ao cálcio, porém é mais solúvel. A principal fonte de magnésio são os dolomitos (COSTA, 2001). É o segundo constituinte principal da dureza e geralmente compreende 15 a 20% da dureza total expressa como $CaCO_3$.

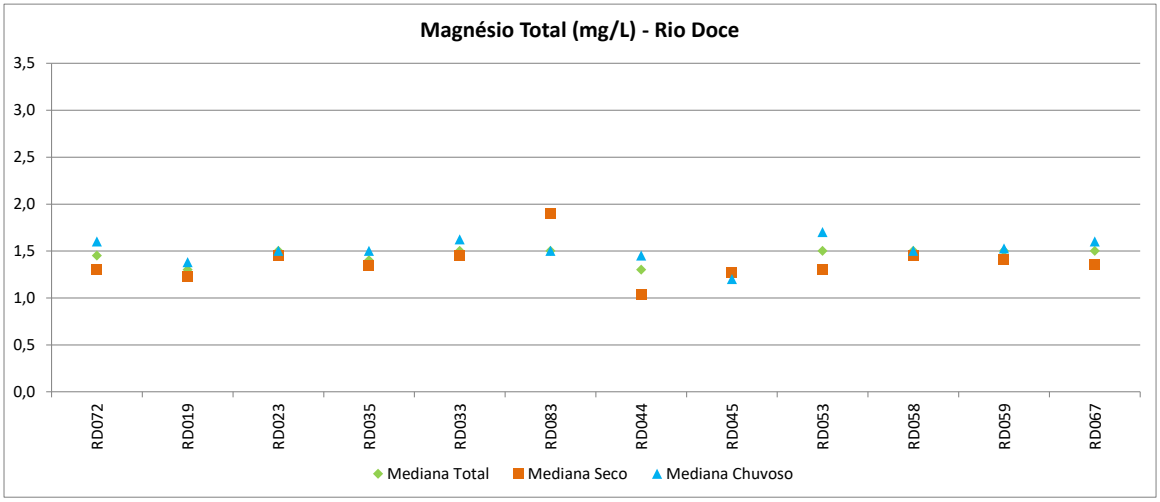
Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 381 e a Figura 382 apresentam os valores de mediana de magnésio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

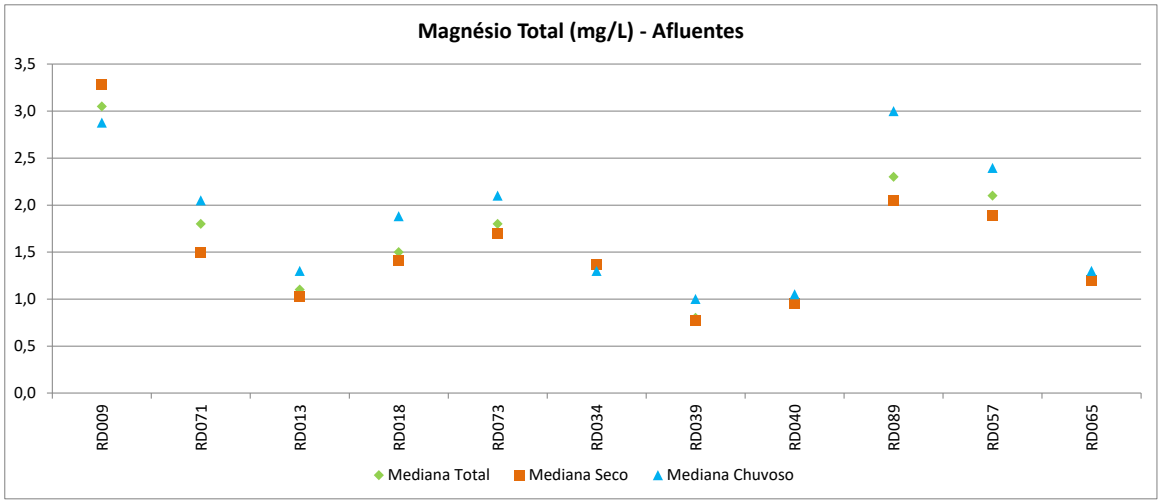
Para as estações do rio Doce (Figura 381), considerando-se as medianas do período total, observa-se que na estação RD019, situada após a UHE Risoleta Neves, houve uma redução de valores da referida variável. As concentrações de magnésio total voltaram a se elevar até a estação RD083 (entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito). Na estação RD044, a jusante da UHE Baguari, novamente observou-se redução de valores. A partir desse local, os valores voltaram a se elevar e a ficar mais homogêneos. De modo geral, contudo, não foram observadas grandes alterações ao longo do rio. Para a grande maioria das estações, as medianas relativas ao período chuvoso foram superiores àquelas do período seco.

Figura 381 – Medianas dos valores de magnésio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações situadas em tributários do rio Doce (Figura 382), os valores das medianas apresentaram maior variação espacialmente. Nas estações RD009 (rio do Carmo), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga), observaram-se os valores de mediana mais elevados. As medianas do período chuvoso foram superiores às do período seco, de modo geral.

Figura 382 – Medianas dos valores de magnésio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de magnésio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 383) e seus afluentes (Figura 384), de montante para jusante.

Para as estações do rio Doce (Figura 383), os dados apresentaram-se dispersos ao longo do tempo, sem tendência à redução ou incremento de valores. Para a maioria das estações, as concentrações de magnésio total variaram de 0,20 mg/L a 3,00 mg/L. Para as estações RD035 (no município de Santana do Paraíso) e RD044 (em Governador Valadares), registraram-se os maiores valores: 3,70 mg/L e 4,40 mg/L, os quais ocorreram de modo pontual.

Para as estações situadas em tributários do rio Doce (Figura 384), os dados também se apresentaram dispersos ao longo do tempo, sem tendência à redução ou incremento de valores. Para a maioria das estações, as concentrações de magnésio total variaram de 0,20 a 3,00 mg/L, assim como para o rio Doce. Para as estações RD009 (rio do Carmo) e RD057 (rio Caratinga), registraram-se os maiores valores: 7,80 mg/L e 5,20 mg/L. Ao se avaliar a série de dados da estação RD009, observou-se que esta apresentou valores mais elevados, de modo geral.

Figura 383 – Gráficos de dispersão dos dados de magnésio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

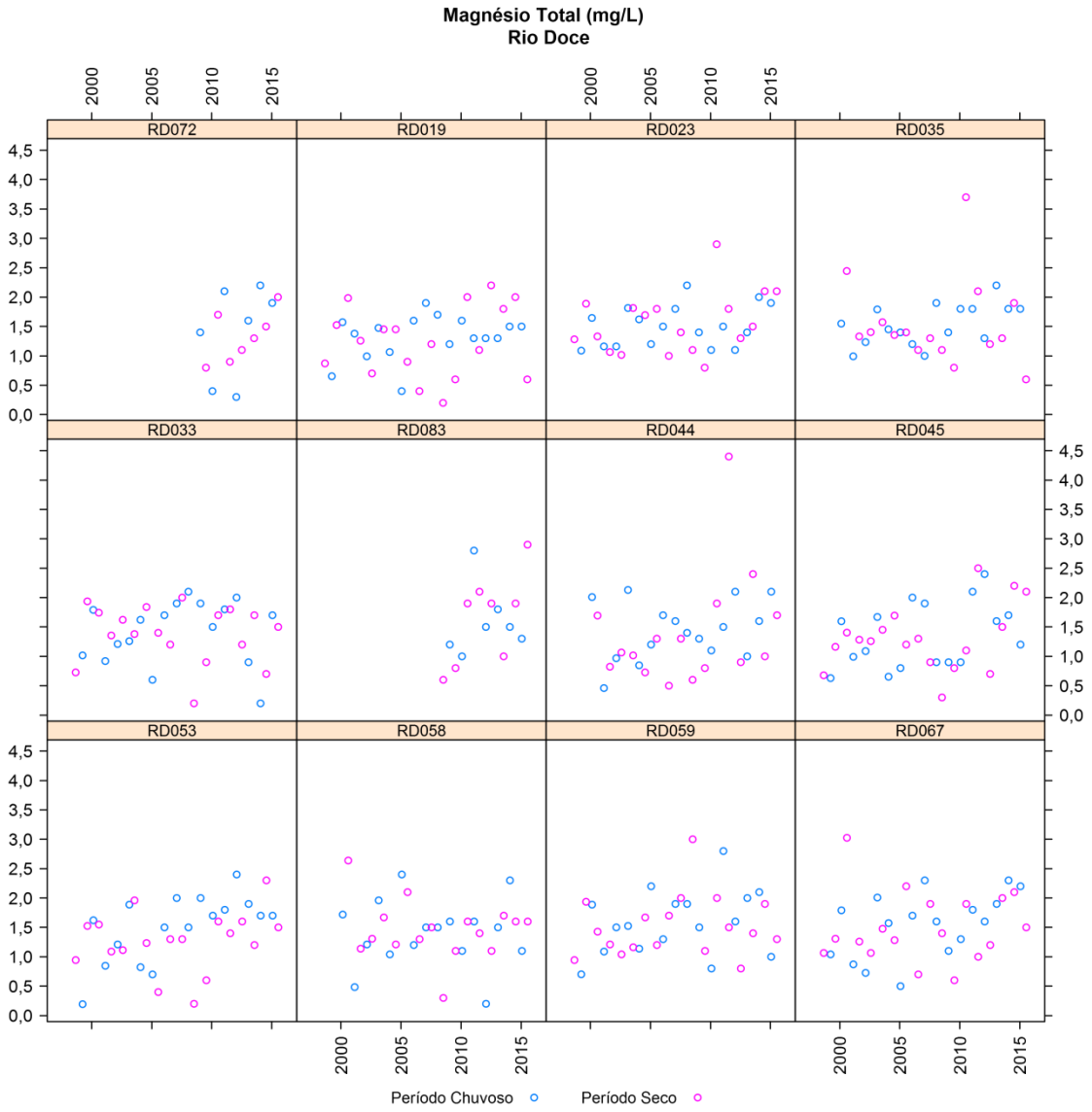
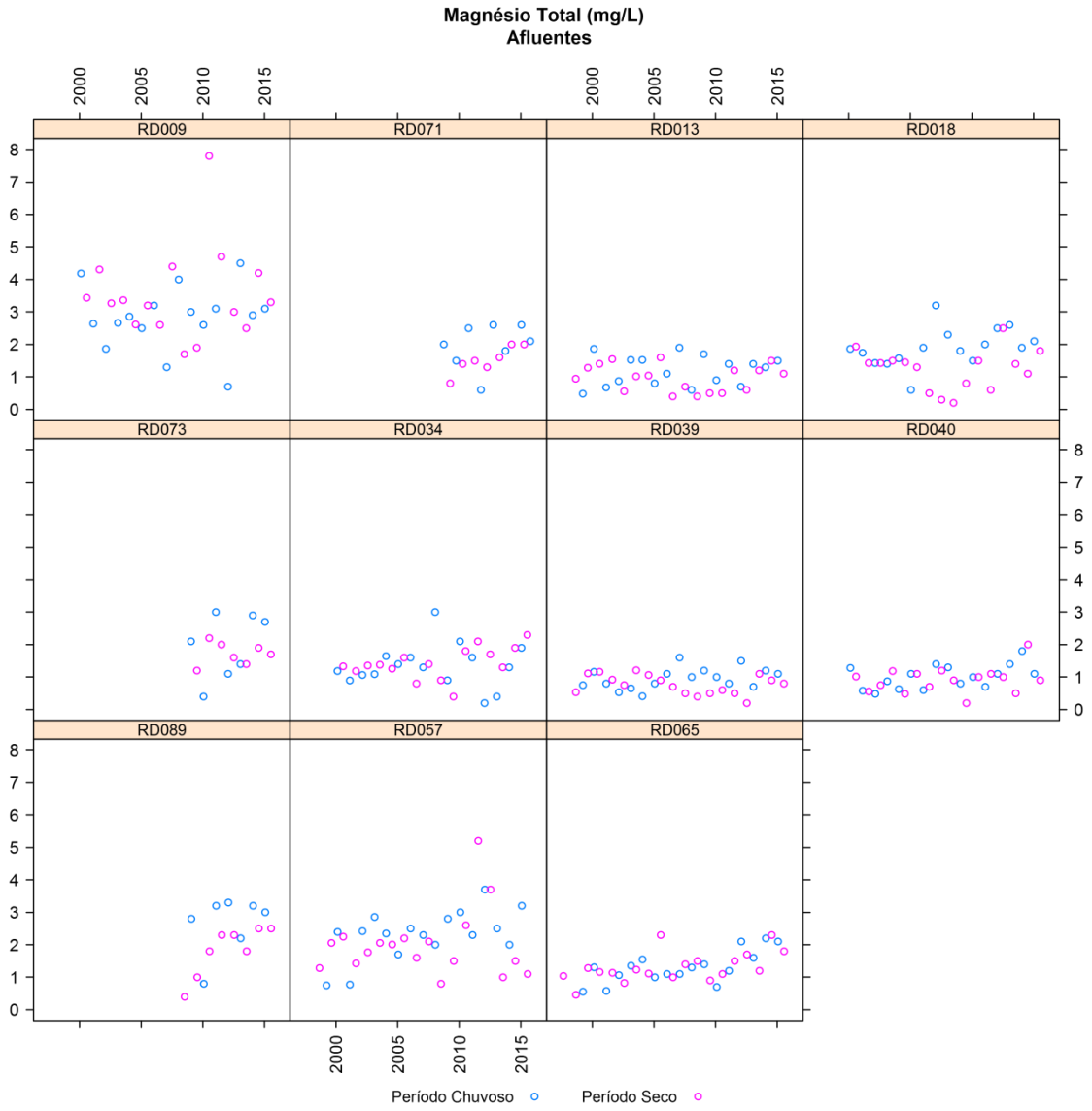
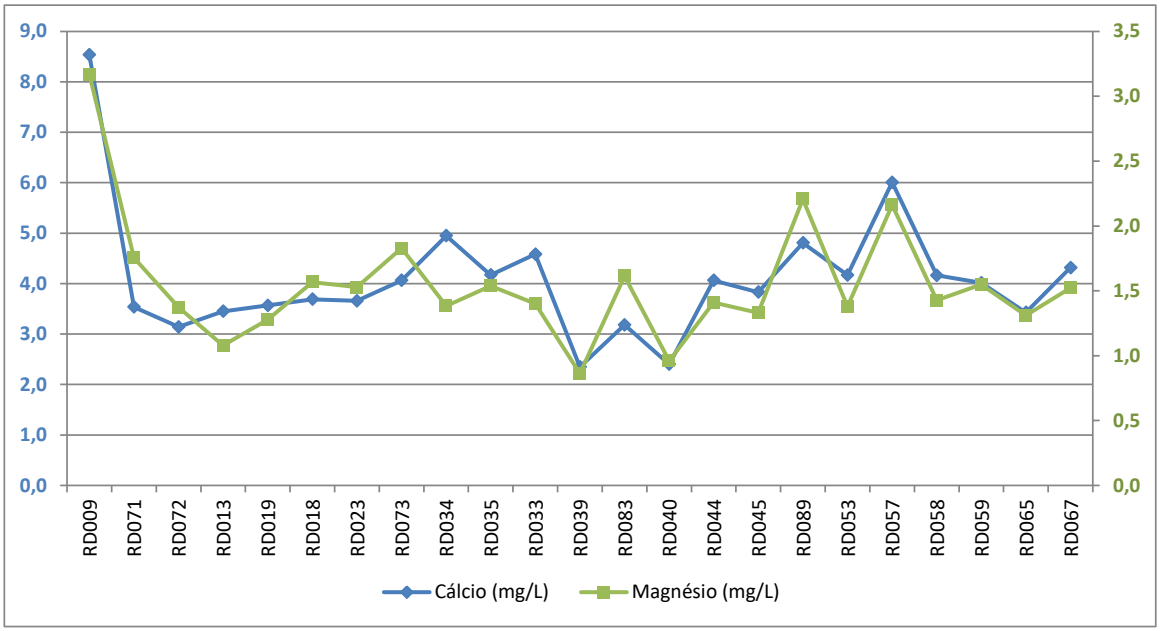


Figura 384 – Gráficos de dispersão dos dados de magnésio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



No gráfico da Figura 385, pode-se verificar uma tendência de valores médios similares entre os íons cálcio e magnésio na grande maioria dos pontos analisados, podendo-se inferir, também, por um possível intemperismo de rochas dolomíticas ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

Figura 385 – Comparação entre os dados médios de cálcio e magnésio ao longo das estações de monitoramento.



3.8.10.17 Manganês total

Segundo Libânio (2005), o manganês é um metal oriundo da dissolução de rochas e solo. Apesar de menos abundante que o ferro, quando encontrado no ambiente, é normalmente associado ao ferro. Apresenta forma dissolvida (Mn^{2+}) e insolúvel (Mn^{4+}), sendo a soma de ambas as frações a determinada como total. Inconvenientes associados à presença de concentrações elevadas de manganês nas águas estão relacionados a questões estéticas, por produzir manchas em utensílios e tecidos.

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, concentrações de manganês total em rios de Classe 2 não devem ultrapassar 0,1 mg/L. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 141) e seus afluentes (Tabela 142), de montante para jusante.

Para o período total, observou-se para as estações no rio Doce (Tabela 141) percentuais de desacordos superiores a 20% em todas as estações de monitoramento, com exceção da estação RD083 (localizada entre os municípios de Fernandes Tourinho e Periquito). Os percentuais de desacordos variaram de 10% a 64% entre as estações.

Ao se analisar o período seco, de modo geral, os percentuais de desacordos diminuíram. Para o período chuvoso, ao contrário, os percentuais de desacordos tenderam a aumentar, variando de 13% a 82%.

Tabela 141 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para manganês total rio Doce.

Rio Doce							
Manganês Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	38%	14	36%	15	40%
	RD019	68	49%	34	50%	34	47%
	RD023	68	60%	34	56%	34	65%
	RD035	45	64%	23	48%	22	82%
	RD033	68	60%	34	56%	34	65%
	RD083	30	10%	15	7%	15	13%
	RD044	45	44%	23	26%	22	64%
	RD045	68	32%	34	26%	34	38%
	RD053	67	34%	34	26%	33	42%
	RD058	32	38%	16	13%	16	63%
	RD059	36	22%	18	6%	18	39%
	RD067	36	25%	18	6%	18	44%

Nota: n: número de observações.

Para os afluentes (Tabela 142), das 11 estações monitoradas, 8 apresentaram percentuais de desacordos superiores a 20% no período total para o manganês total. As estações localizadas no rio do Carmo, RD009 e RD071, foram as que apresentaram maior percentual de desacordos: 100% e 66%, respectivamente. Ressalta-se que o rio Doce é formado pela confluência do rio do Carmo e do rio Piranga. O percentual de desacordos neste último foi de 22%, no período considerado. As estações RD039 (rio Santo Antônio), RD040 (rio Corrente Grande) e RD089 (rio Suaçuí Grande) apresentaram percentuais de desacordos menores (entre 5% e 20%) e estão localizadas entre os municípios de Naque e Governador Valadares.

Para o período seco, observou-se a diminuição dos percentuais de desacordos, de modo geral. Em especial, para as estações RD013 (rio Piranga), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu), a queda dos percentuais de desacordos foi mais considerável. De modo oposto, para o período chuvoso, a tendência foi de aumento dos percentuais de desacordos. Convém destacar que, para as estações do rio do Carmo, os percentuais de desacordos foram relevantes tanto no período seco quanto no chuvoso.

Tabela 142 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para o manganês total em afluentes do rio Doce.

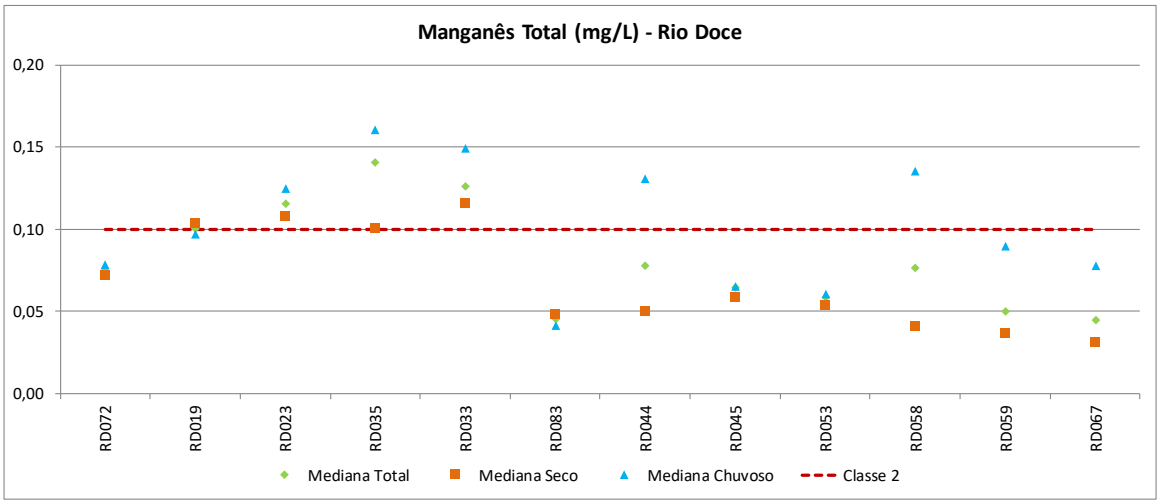
Afluentes							
Manganês Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	45	100%	23	100%	22	100%
	RD071	29	66%	14	57%	15	73%
	RD013	37	22%	19	0%	18	44%
	RD018	62	35%	31	26%	31	45%
	RD073	29	41%	14	29%	15	53%
	RD034	45	38%	23	22%	22	55%
	RD039	56	5%	28	4%	28	7%
	RD040	45	20%	23	22%	22	18%
	RD089	30	10%	15	7%	15	13%
	RD057	36	42%	18	6%	18	78%
	RD065	36	25%	18	0%	18	50%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 386 e a Figura 387 apresentam os valores de mediana de manganês total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Figura 386 – Medianas das concentrações de manganês total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

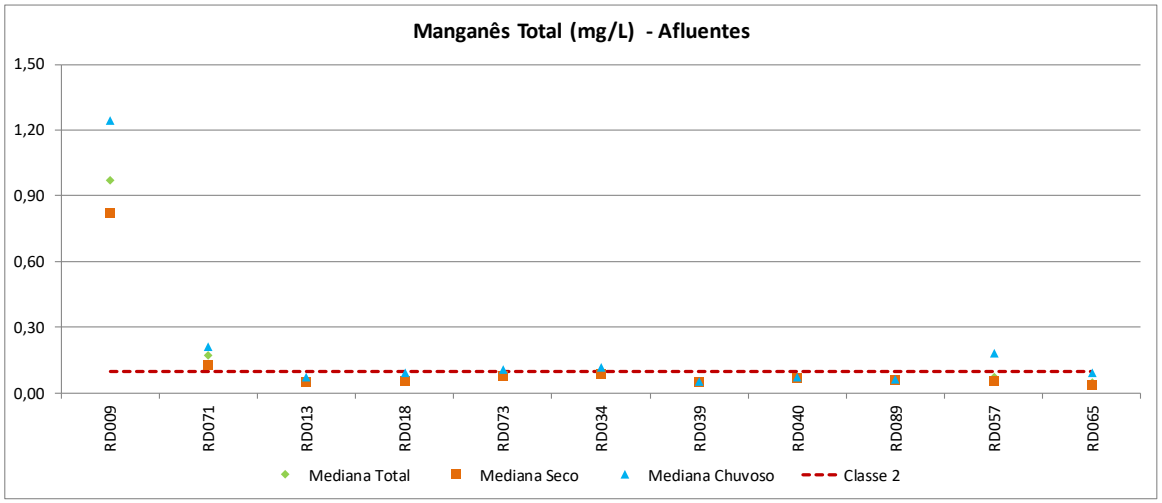


De acordo com a Figura 386, observou-se maior variação de concentrações de manganês total ao longo das estações do rio Doce. Considerando as medianas das concentrações do período total, notaram-se valores mais elevados até a estação RD033, a jusante de Ipatinga (MG). Na estação RD083, entre os municípios de Fernandes Tourinho (MG) e Periquito (MG), houve uma redução na concentração de manganês. A partir desse local, os valores apresentaram-se mais homogêneos, com exceção das estações RD044 (em Governador Valadares/MG) e RD058 (em Conselheiro Pena/MG) total, onde ainda se encontraram valores mais elevados.

Além disso, para as estações RD072, RD019, RD083, RD045 e RD053, observou-se que não houve variação significativa entre os períodos total, seco e chuvoso. Para as demais estações, a tendência foi de se ter maiores concentrações no período chuvoso.

Para os afluentes (Figura 387), observaram-se valores medianos mais elevados para as estações de montante, no rio do Carmo (RD009 e RD071). A partir dessas estações, os valores das medianas decresceram e se tornaram mais homogêneos, variando de 0,043 mg/L a 0,089 mg/L, no período total.

Figura 387 – Medianas das concentrações de manganês total para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

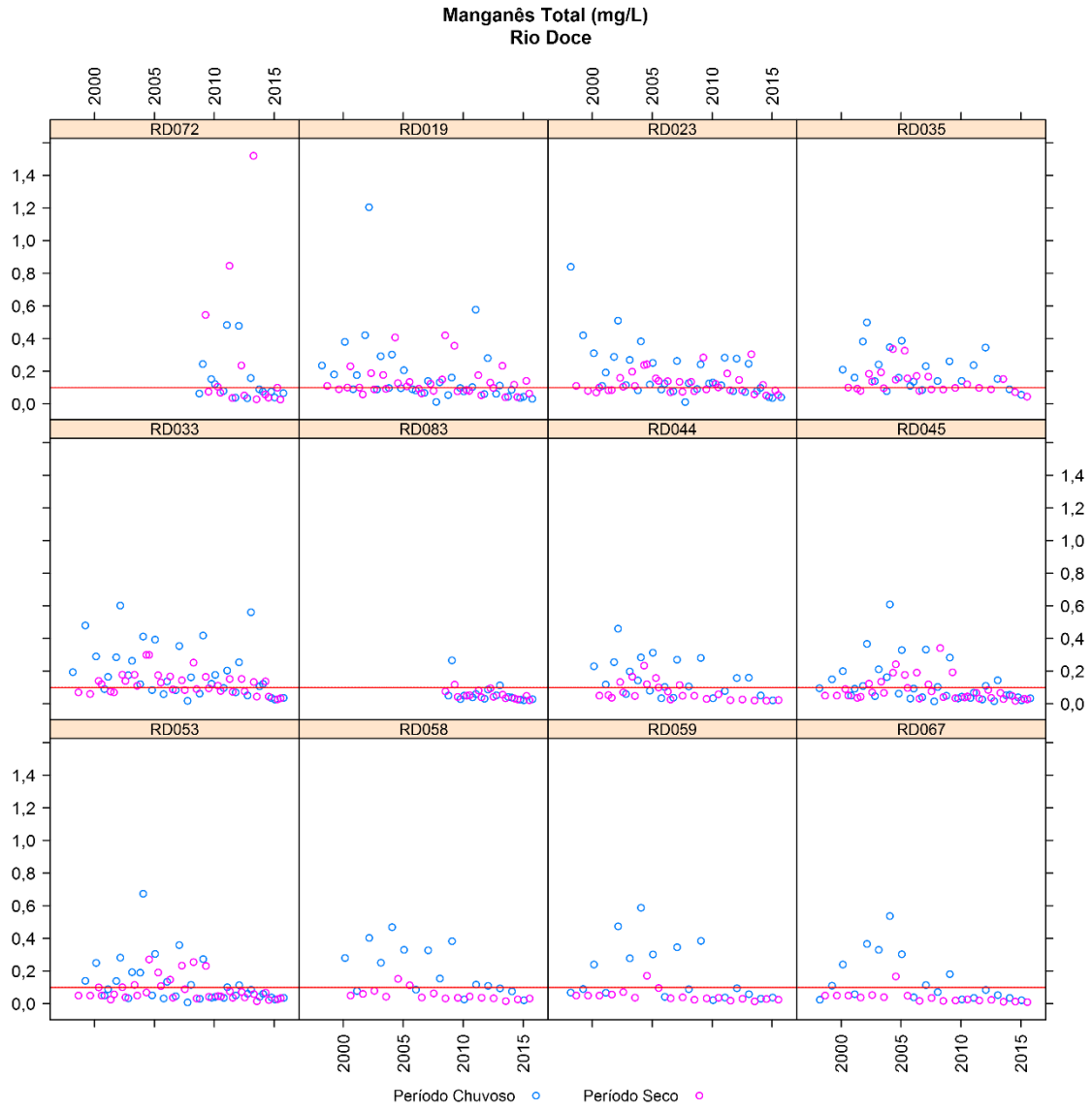


Avaliação temporal

A Figura 388 apresenta o gráfico de dispersão das concentrações de manganês totaldistribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. A Figura 389 faz a mesma apresentação, mas relacionada aos afluentes do rio Doce.

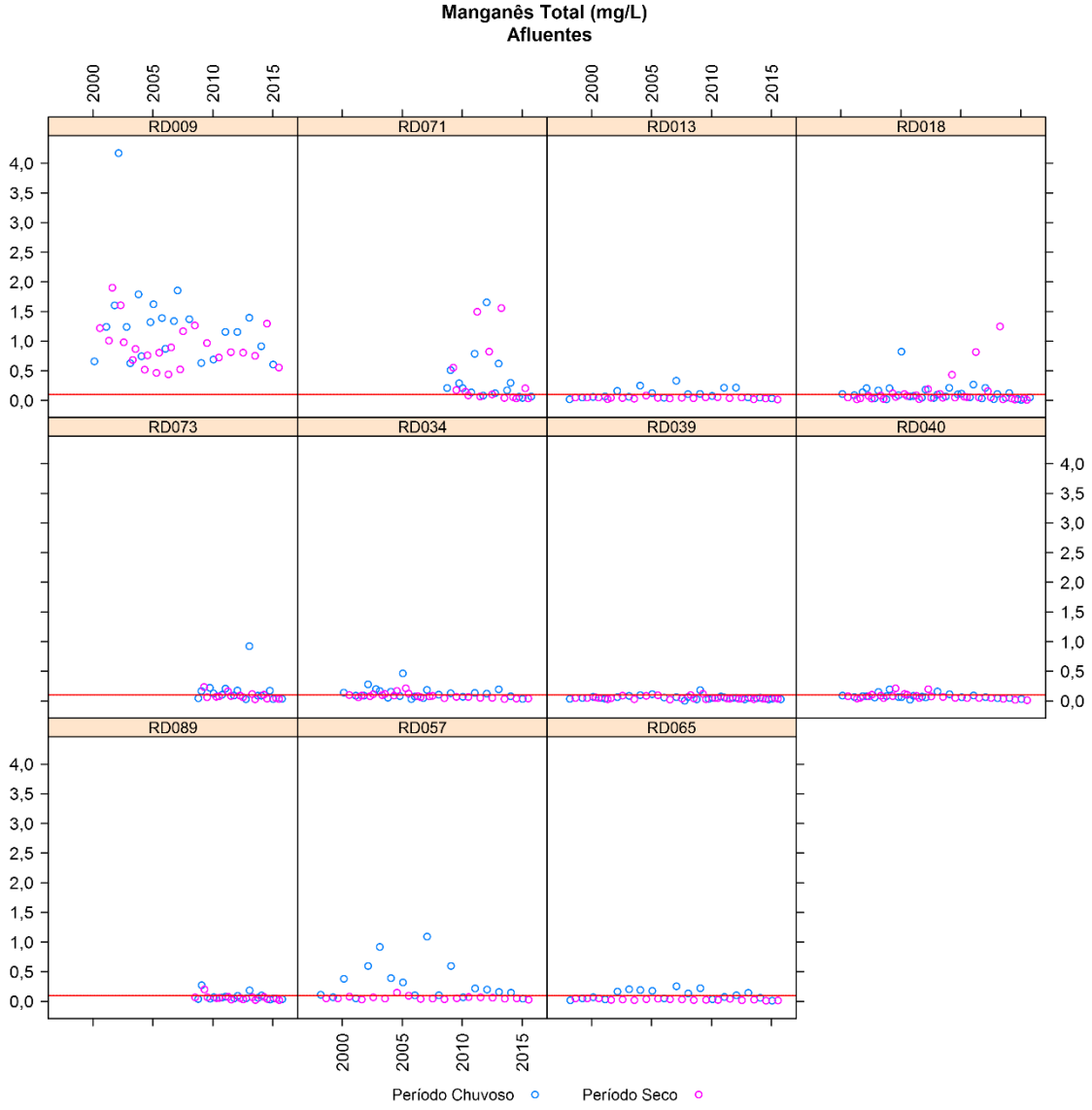
Temporalmente, os dados apresentaram-se mais dispersos. Apesar de ser possível observar, em vários momentos ao longo da série histórica, concentrações superiores a 0,1 mg/L, notou-se que, nos últimos eventos monitorados antes da data de rompimento da barragem de Fundão, os valores de manganês total ao longo do rio Doce (Figura 388) já apresentavam maior conformidade com o limite legislado, de modo geral.

Figura 388 – Gráficos de dispersão dos dados de manganês total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).



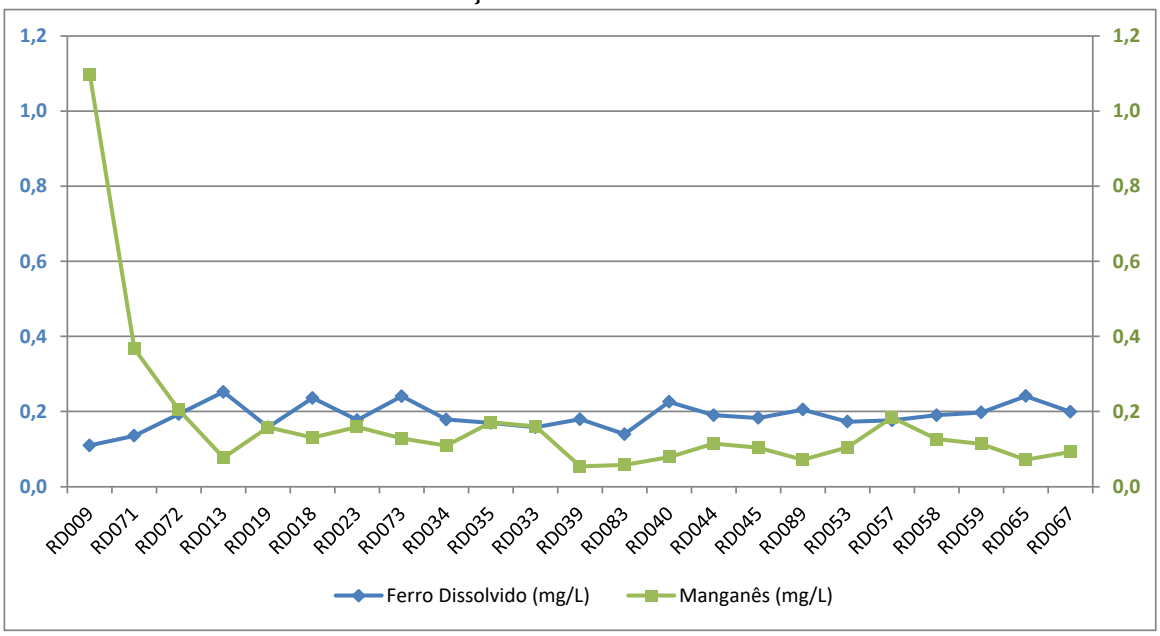
Para os afluentes (Figura 389), as estações RD009 e RD071 (rio do Carmo) apresentaram os maiores valores de manganês total na série histórica. Na sequência, foram consideradas as estações RD018 (rio Casca) e RD057 (rio Caratinga) em termos de expressividade de desacordos. As estações RD013, RD073, RD034, RD039, RD040, RD089 e RD065 apresentaram maior homogeneidade na série, com desacordos em algum momento do período monitorado. Assim como observado para as estações no rio Doce, notou-se que, nos últimos eventos monitorados antes da data de rompimento da barragem de Fundão, os valores de manganês total já apresentavam maior conformidade com o limite legislado, de modo geral.

Figura 389 – Gráficos de dispersão dos dados de manganês total ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce.



Pela análise dos dados apresentados na forma gráfica dos elementos químicos manganês total e do ferro dissolvido (Figura 390), não foram constatadas tendências similares ao longo das estações de amostragem, talvez, em virtude de não ter sido comparado o ferro total, já que ambos, o manganês total e o ferro total, podem ter a mesma origem litológica. Oliveira (2016) inferiu em sua pesquisa que o manganês é um elemento químico cuja concentração ou teor acompanha a do ferro, em virtude de seu comportamento geoquímico e que sua concentração em água natural fica, na média, abaixo de 0,200 mg/L.

Figura 390 – Comparação entre os dados médios de ferro dissolvido e manganês total ao longo das estações de monitoramento.



3.8.10.18 Mercúrio total

Segundo Baird (2002), a propriedade incomum do mercúrio de ser metal em forma líquida é um dos principais motivos da extração e uso desse metal. As fontes antropogênicas de mercúrio são garimpos, laboratórios (odontológicos, químicos), fabrico de explosivos, lâmpadas, instrumentos científicos, fungicidas, inseticidas e bactericidas. O composto mais comum de mercúrio combinado com outros elementos é o metilmercúrio (CH_3Hg). Esse composto é bioacumulável, podendo ser transferido via cadeia alimentar (por exemplo, o homem se alimentando de peixes contaminados com mercúrio) (MARTINS, 2005).

Segundo Tinôco et al. (2010), o mercúrio total pode ser consequente dos processos de mineração do ouro que existiram na região desde o século XIX.

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, concentrações de mercúrio total não devem ultrapassar 0,0002 mg/L (ou 0,2 µg/L) em rios de Classe 2. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,2 µg/L.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 143) e seus afluentes (Tabela 144), de montante para jusante.

De acordo com a Tabela 143, nas estações do rio Doce, somente se registrou desacordo com o limite legislado na estação RD059 (no município de Resplendor), o qual ocorreu em uma campanha, em particular. Para os tributários (Tabela 144), desacordos com o limite legislado foram registrados nas estações RD009 (rio do Carmo), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD065 (rio Manhuaçu), os quais também ocorreram pontualmente.

Tabela 143 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para mercúrio total no rio Doce.

Rio Doce							
Mercúrio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	0%	14	0%	15	0%
	RD019	36	0%	18	0%	18	0%
	RD023	36	0%	18	0%	18	0%
	RD035	33	0%	16	0%	17	0%
	RD033	37	0%	18	0%	19	0%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	37	0%	18	0%	19	0%
	RD053	36	0%	18	0%	18	0%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	37	3%	18	0%	19	5%
	RD067	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 144 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para mercúrio total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Mercúrio Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	63	2%	31	3%	32	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	36	0%	18	0%	18	0%
	RD018	32	0%	16	0%	16	0%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	35	0%	18	0%	17	0%
	RD040	32	0%	16	0%	16	0%
	RD089	15	7%	8	0%	7	14%
	RD057	37	0%	19	0%	18	0%
	RD065	36	3%	18	0%	18	6%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 391 e a Figura 392 apresentam os valores de mediana de mercúrio total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Tanto nas estações do rio Doce (Figura 391) quanto naquelas situadas em seus tributários (Figura 392), as medianas apresentaram valor de 0,2 µg/L (ou 0,0002 mg/L) para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso).

Figura 391 – Medianas dos valores de mercúrio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

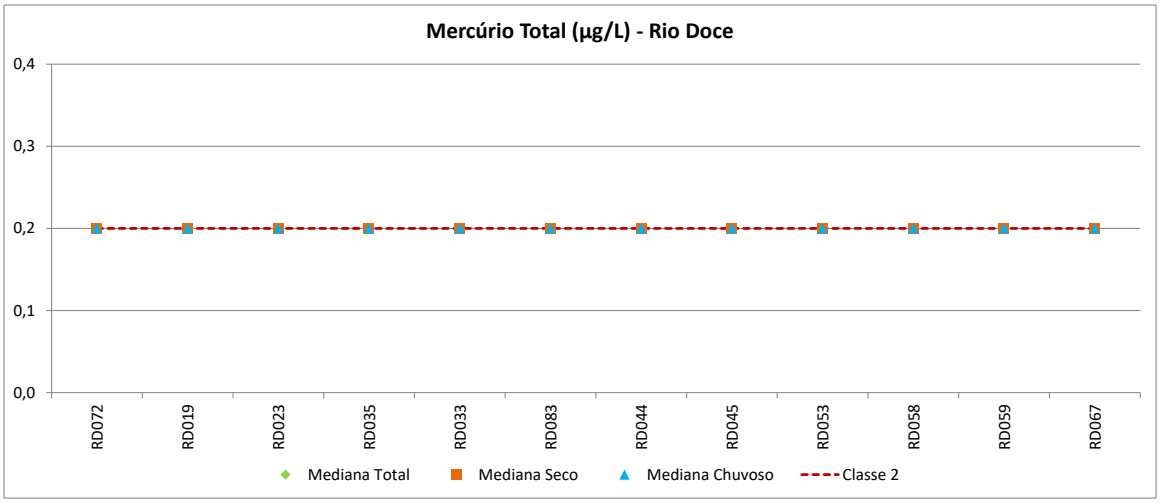
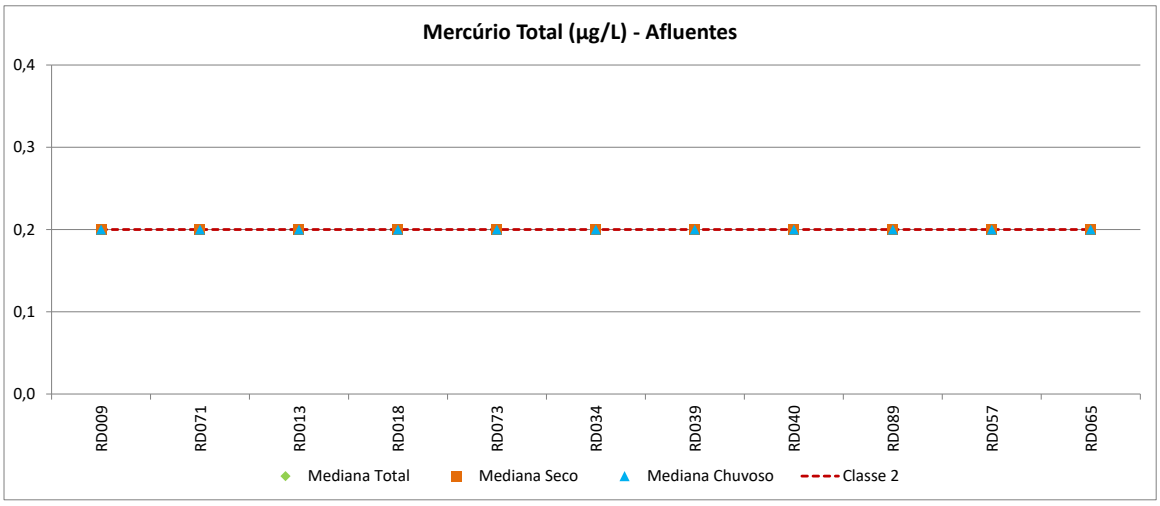


Figura 392 – Medianas dos valores de mercúrio total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.

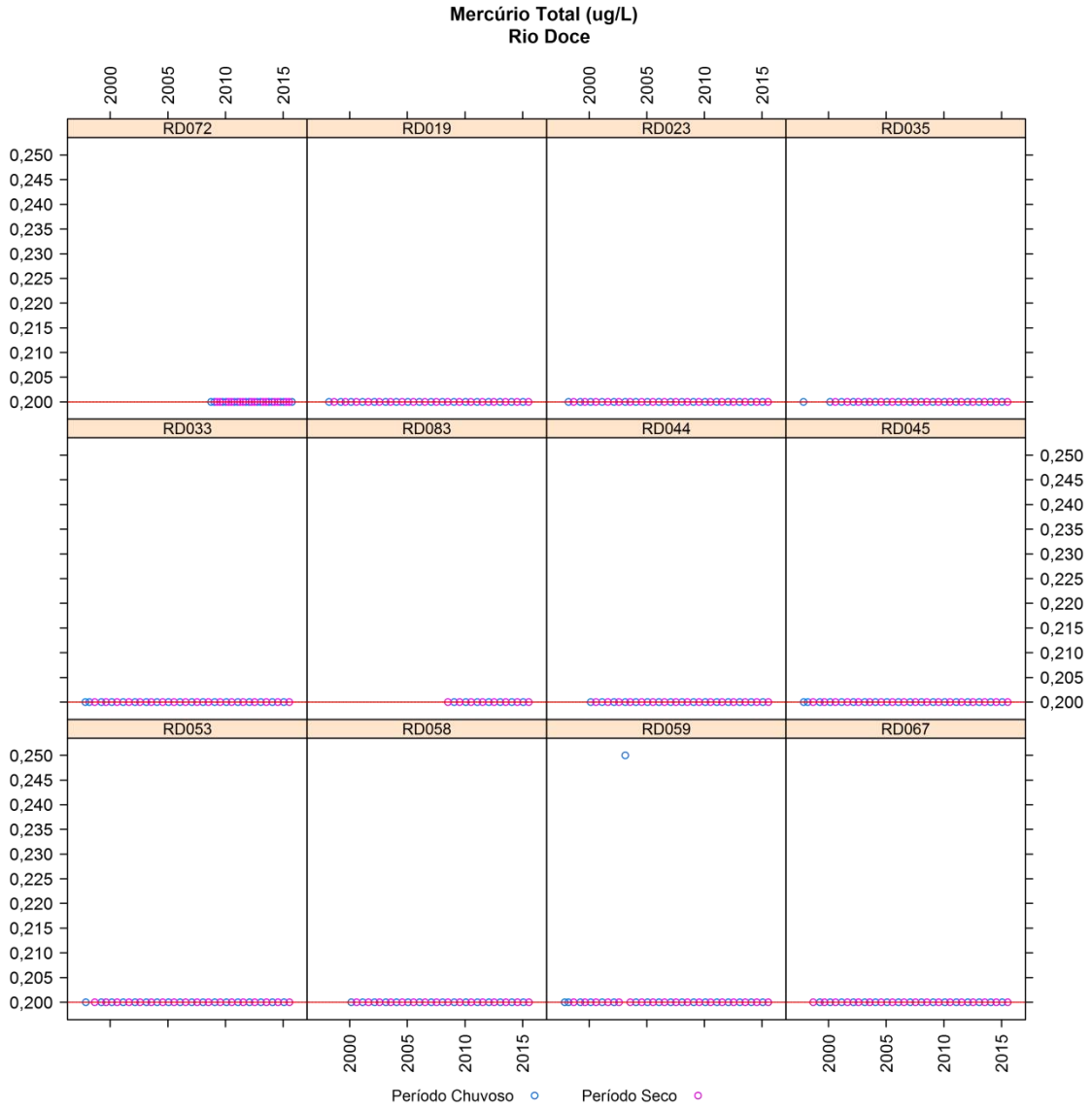


Conforme comentado no item 3.8.4, quando os resultados das análises dos parâmetros de qualidade de água resultaram em "inferior ao limite de quantificação (LQ)", utilizou-se o próprio valor do LQ para fins de cálculo. Ou seja, originalmente os dados de mercúrio total resultaram em < 0,2 µg/L, mas, para fins de cálculo, adotou-se o valor 0,2 µg/L.

Avaliação temporal

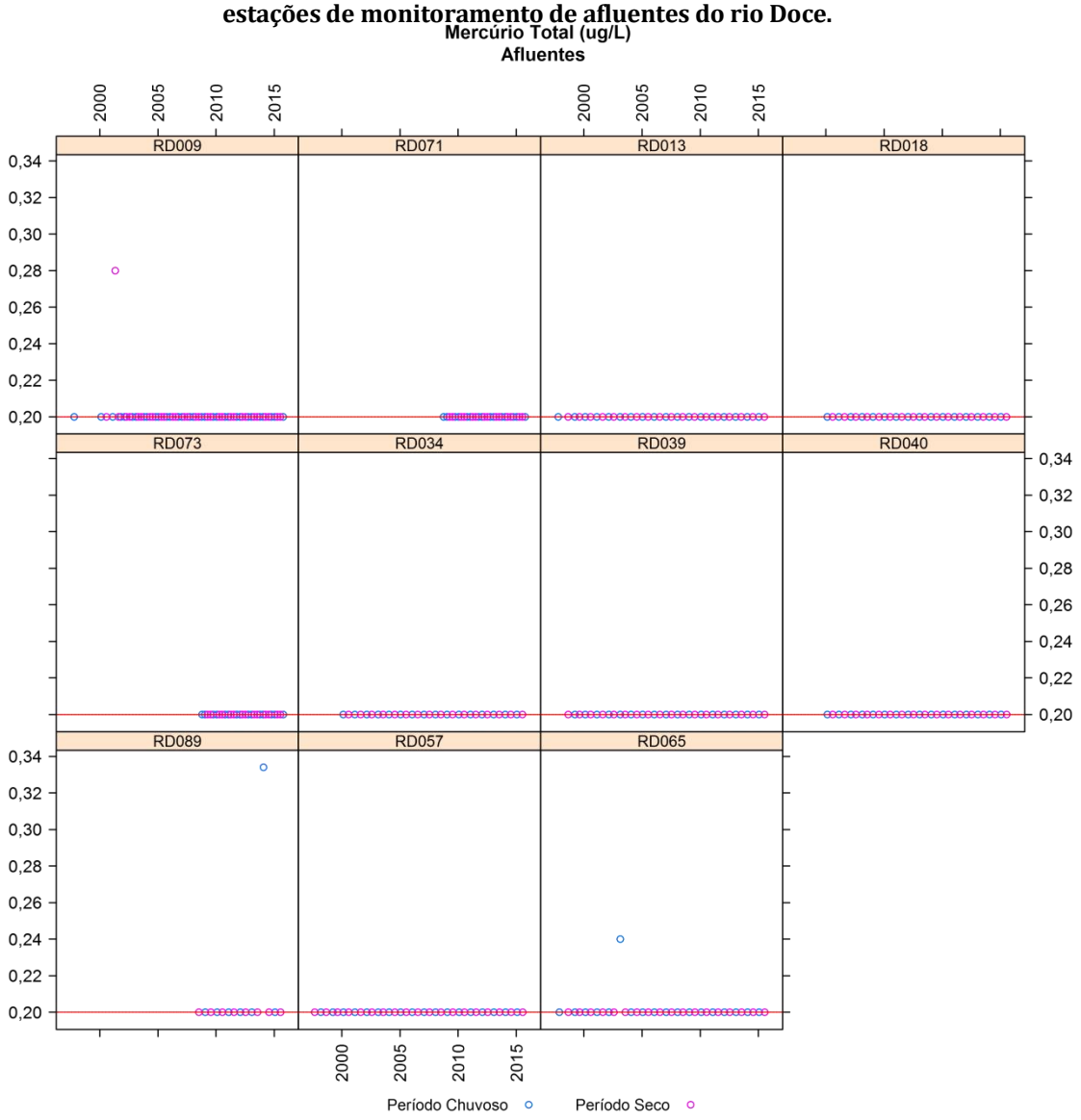
Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de mercúrio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 393) e seus afluentes (Figura 394), de montante para jusante.

Figura 393 – Gráficos de dispersão dos dados de mercúrio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



De modo geral, as concentrações de mercúrio total tenderam ao limite de quantificação do método (0,2 µg/L), na maior parte do monitoramento, para as estações situadas no rio Doce (Figura 393) e tributários (Figura 394). Valores superiores a este foram registrados pontualmente: estação RD059 (rio Doce: 0,25 µg/L), RD009 (rio do Carmo: 0,28 µg/L), RD089 (rio Suaçuí Grande: 0,33 µg/L) e RD065 (rio Manhuaçu: 0,24 µg/L).

Figura 394 – Gráficos de dispersão dos dados de mercúrio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.19 Níquel total

A origem mais comum de níquel ao ambiente, a partir de fontes antropogênicas, é a queima de combustíveis. Também envolvem o uso desse metal as atividades de mineração e fundição do metal, produção de baterias (Ni-Cd), fusão e modelagem de ligas, indústrias de eletrodeposição, fabricação de alimentos (MARTINS, 2005; CETESB, 2016).

Conforme comentado anteriormente, para Bernardes et al. (1990) e Cotrim (1991) apud Sigolo (1998), os resíduos gerados nos processos de tratamento de esgotos e, portanto, o seu não tratamento e seus lançamentos em lençóis freáticos, nas regiões de drenagens etc., podem causar contaminações ambientais por metais pesados como o níquel (Ni), entre outros. Também, para Eleutério (1997), nos sedimentos do ribeirão do Carmo, um dos afluentes do rio Doce, os elementos Ni, Hg, As, Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Cr e Li podem ter sido oriundos da atividade extrativo-mineral, sobretudo daquelas ocorridas no passado.

Avaliação de não conformidades

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, concentrações de níquel total não devem ultrapassar 0,025 mg/L em rios de Classe 2. Nesse contexto, foi avaliada a série histórica de dados do IGAM/MG no que diz respeito aos percentuais de desacordos em relação ao limite legislado (item 3.8.3). O limite de quantificação do método utilizado foi de 0,004 mg/L.

Os percentuais de desacordos foram calculados, considerando-se o período total amostrado, o período seco e o período chuvoso, para as estações localizadas no rio Doce (Tabela 145) e seus afluentes (Tabela 146), de montante para jusante.

Tabela 145 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para níquel total no rio Doce.

Rio Doce							
Níquel Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	0%	14	0%	15	0%
	RD019	36	3%	18	0%	18	6%
	RD023	36	0%	18	0%	18	0%
	RD035	32	0%	16	0%	16	0%
	RD033	35	0%	18	0%	17	0%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	35	0%	18	0%	17	0%
	RD053	35	0%	18	0%	17	0%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	35	0%	18	0%	17	0%
	RD067	35	0%	18	0%	17	0%

Nota: n: número de observações.

De modo geral, não se observaram desacordos para a maioria das estações de monitoramento de qualidade da região de estudo.

De acordo com a Tabela 145, no rio Doce, registrou-se percentual de desacordo de 6% com o limite legislado somente na estação RD019 (entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata), no período chuvoso.

Para os tributários (Tabela 146), percentuais de desacordos com o limite legislado de 7%, 14% e 18% foram registrados nas estações RD073 (ribeirão Sacramento), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga), respectivamente. Os desacordos ocorreram no período chuvoso.

Tabela 146 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para níquel total em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Níquel Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	45	0%	23	0%	22	0%
	RD071	29	0%	14	0%	15	0%
	RD013	35	0%	18	0%	17	0%
	RD018	32	0%	16	0%	16	0%

Afluentes							
Níquel Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
	RD073	29	3%	14	0%	15	7%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	35	0%	18	0%	17	0%
	RD040	32	0%	16	0%	16	0%
	RD089	15	7%	8	0%	7	14%
	RD057	35	9%	18	0%	17	18%
	RD065	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

A Figura 395 e a Figura 396 apresentam os valores de mediana de níquel total para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

De modo geral, tanto nas estações do rio Doce (Figura 395) quanto naquelas situadas em seus tributários (Figura 396), as medianas apresentaram valor de 0,004 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso), não indicando variação espacial. Em algumas estações do rio Doce (RD019, RD023, RD035, RD033, RD058), as medianas do período chuvoso foram ligeiramente mais elevadas: 0,005 mg/L.

Figura 395 – Medianas dos valores de níquel total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

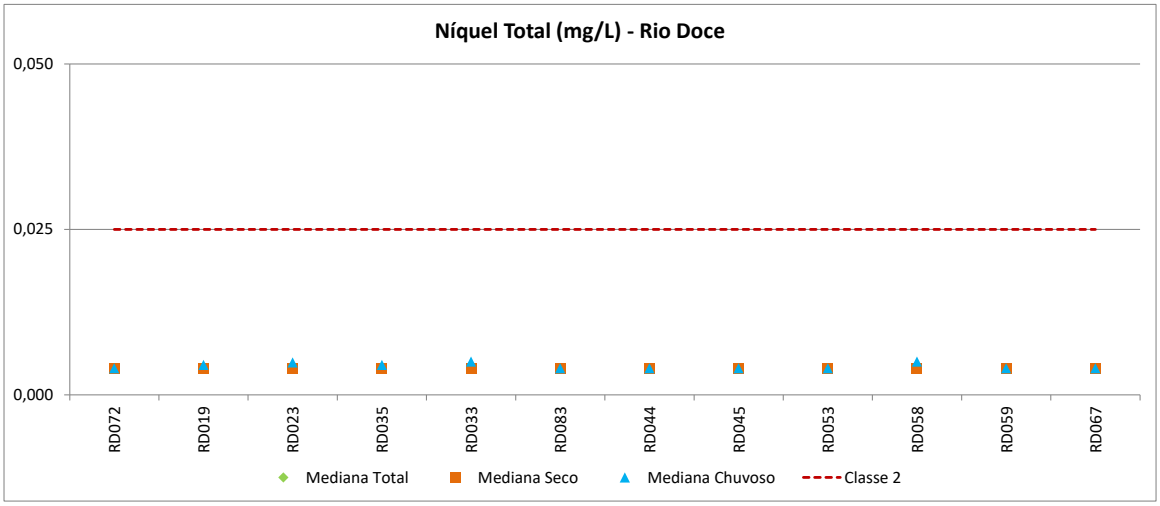
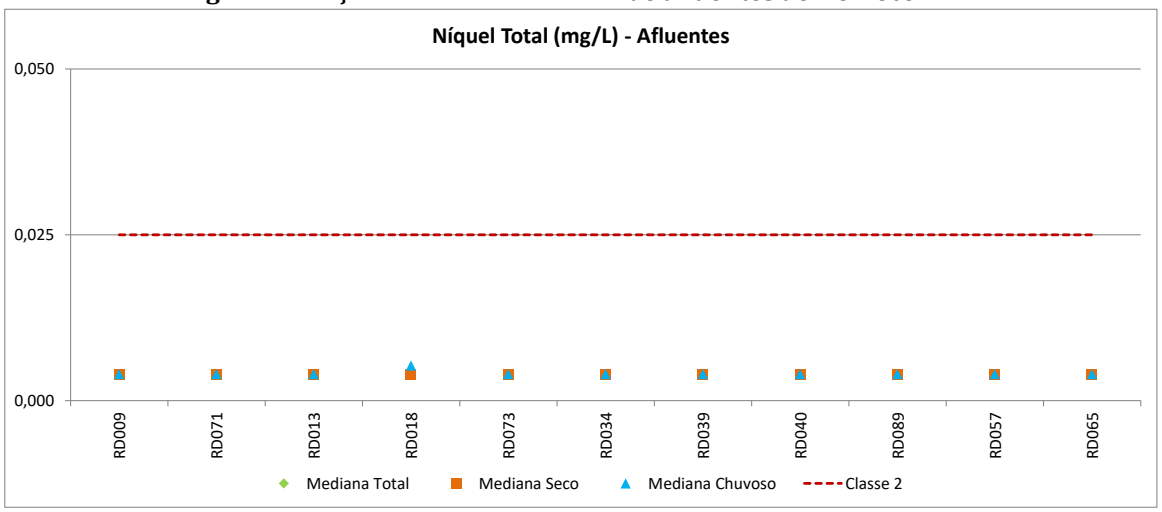


Figura 396 – Medianas dos valores de níquel total para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de mercúrio total ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 397) e seus afluentes (Figura 398), de montante para jusante.

De modo geral, observou-se – tanto para as estações localizadas no rio Doce (Figura 397) quanto para aquelas em seus afluentes (Figura 398) – que a base da nuvem de pontos foi formada por valores iguais a 0,004 mg/L. Esse valor foi o que mais ocorreu nas séries de dados. Ademais, os dados apresentaram-se dispersos ao longo do tempo, sem tendências significativas a aumentos ou reduções nas concentrações. Na estação RD057 (rio Caratinga), observaram-se os valores mais elevados, com máximo de 0,048 mg/L.

Figura 397 – Gráficos de dispersão dos dados de níquel total ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

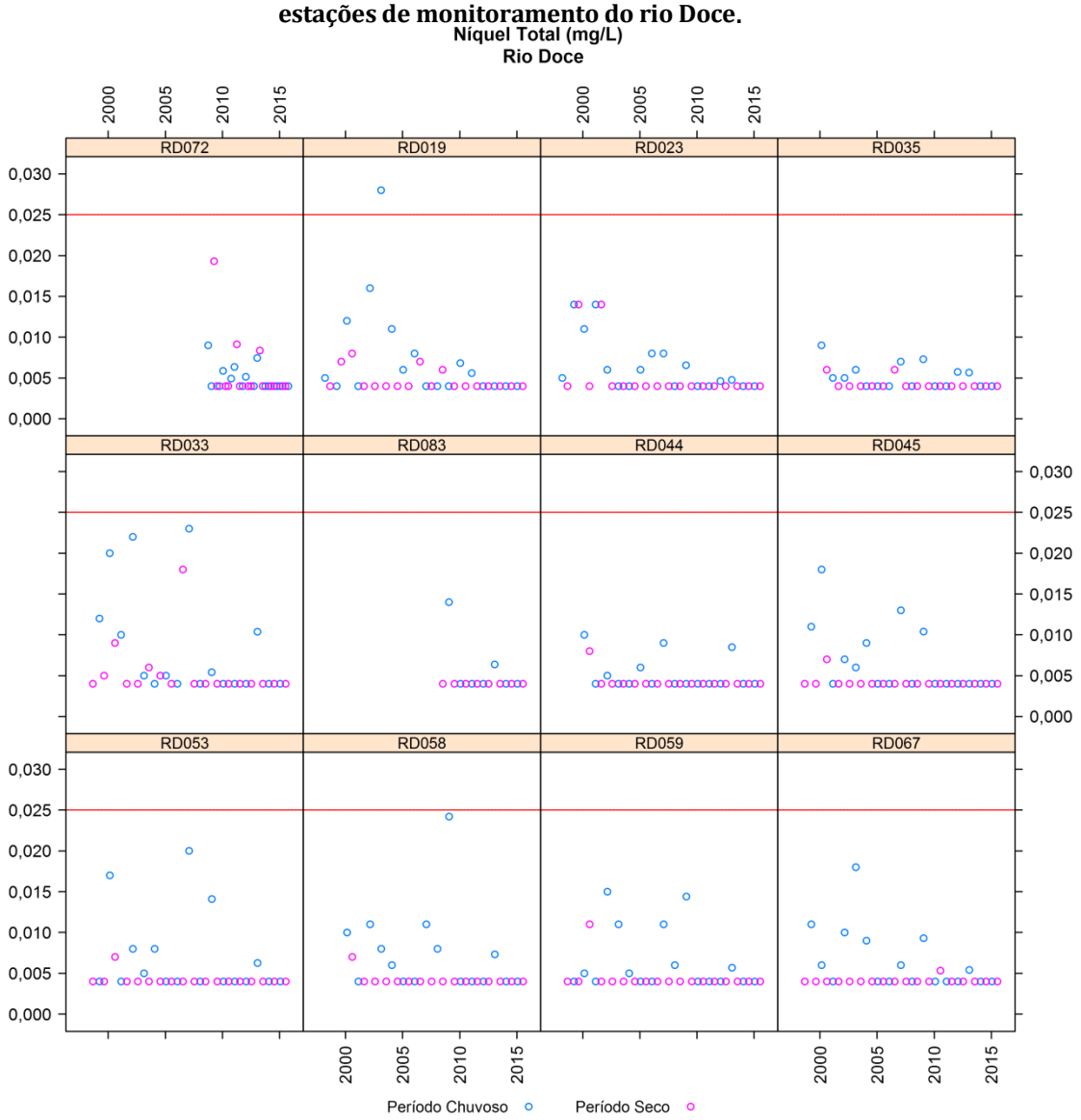
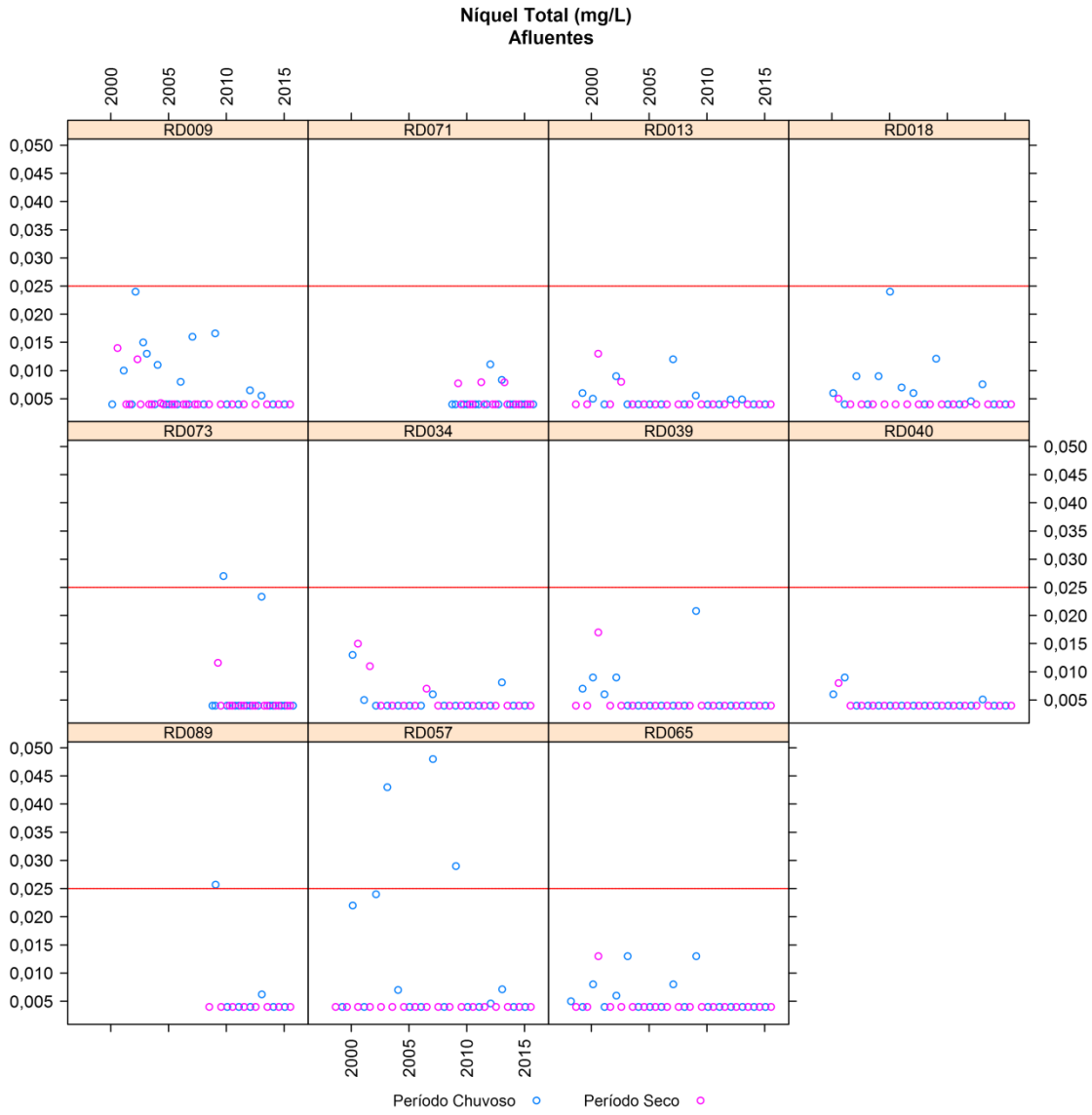


Figura 398 – Gráficos de dispersão dos dados de níquel total ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.20 Potássio dissolvido

O potássio ocorre principalmente nos feldspatos potássicos e micas. Esse elemento ocorre em pequenas quantidades nas águas devido à sua participação intensa em processos de troca iônica (FEITOSA, 1997 apud COSTA, 2001).

Sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas doces pelas descargas industriais e de áreas agrícolas. O potássio é usualmente encontrado na forma iônica e os sais são altamente solúveis. Ele pode ser incorporado em estruturas minerais e acumulado pela biota aquática, pois é um elemento nutricional essencial. As concentrações em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L. Valores da ordem de grandeza de 100 e 25.000 mg/L podem indicar a ocorrência de fontes quentes e salmouras, respectivamente (CETESB, 2016).

Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há limite legislado para a referida variável, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo.

Avaliação espacial

A Figura 399 e a Figura 400 apresentam os valores de mediana de potássio dissolvido para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

Figura 399 – Medianas dos valores de potássio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

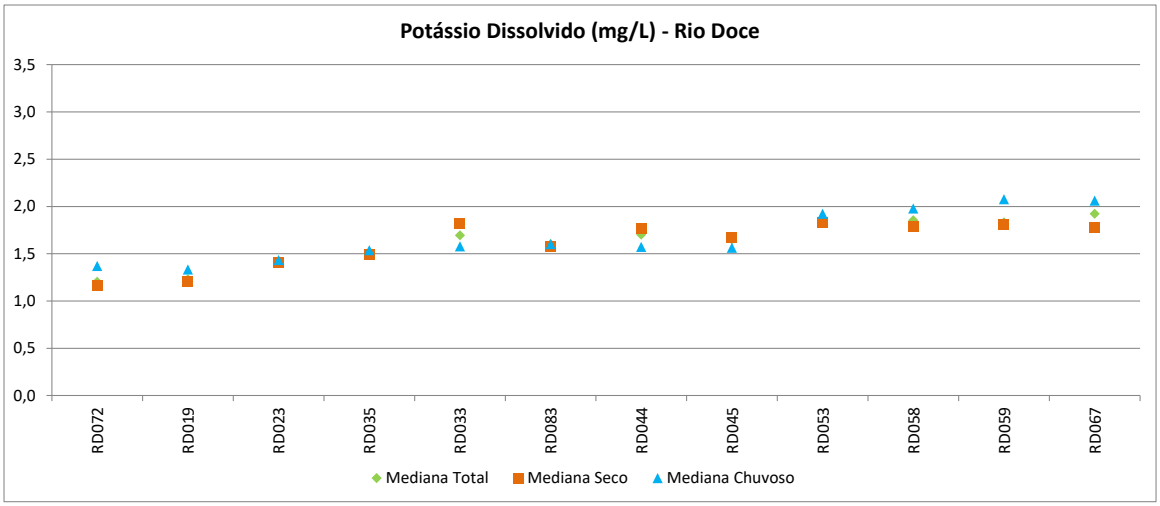
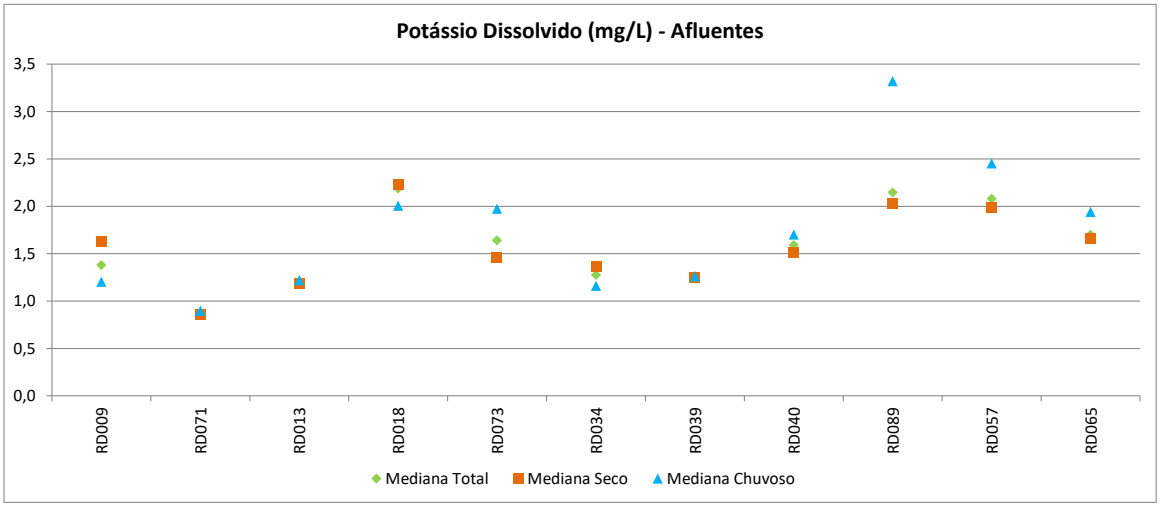


Figura 400 – Medianas dos valores de potássio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



No rio Doce (Figura 399), de modo geral, os valores de mediana para o potássio dissolvido tiveram incrementos ao longo do rio. Para o período total, os valores de mediana variaram de 1,2 a 1,9 mg/L.

Para os afluentes do rio Doce (Figura 400), observou-se maior variação entre as estações de monitoramento de qualidade de água. Para o período total, as medianas variaram

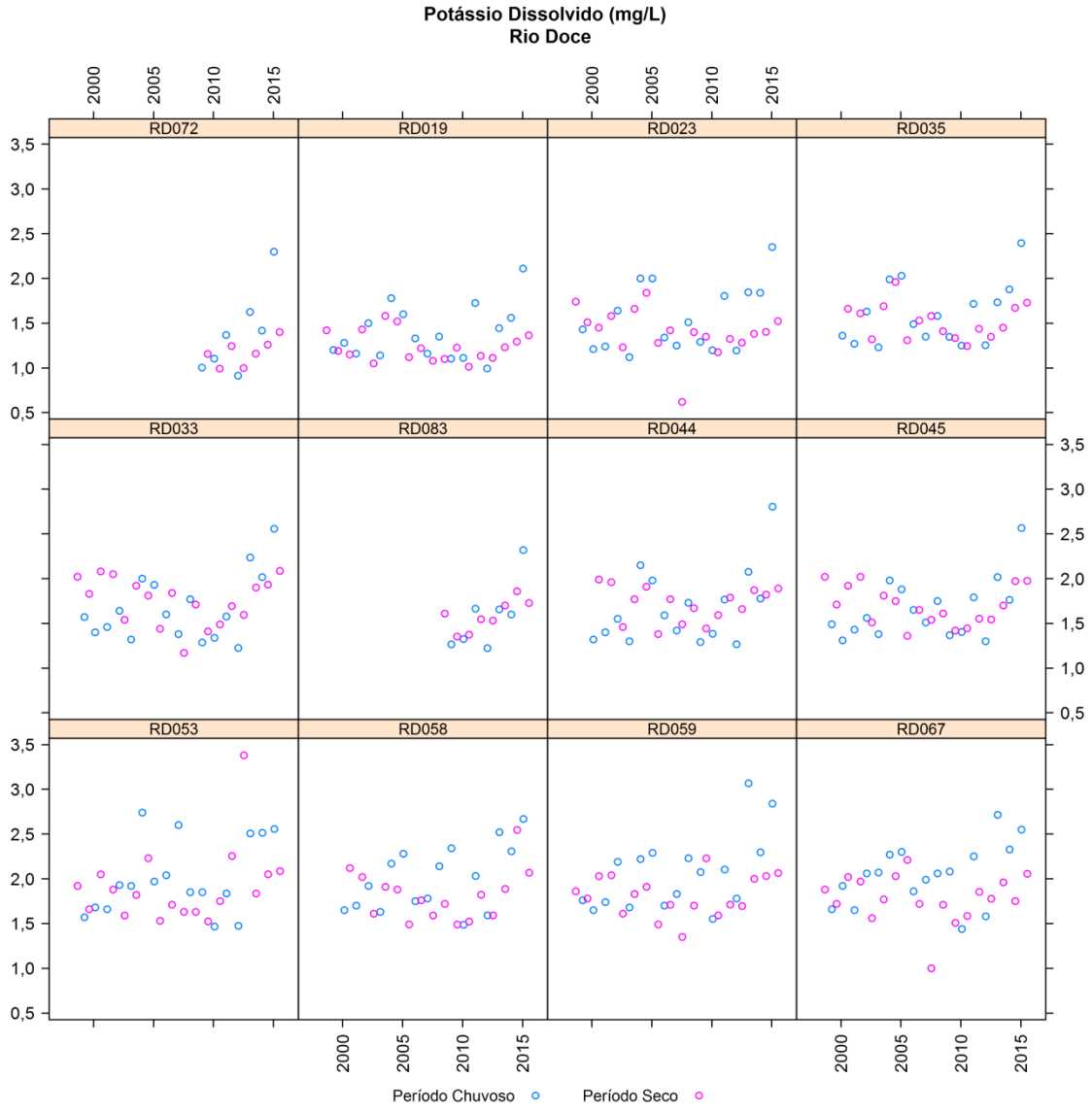
de 0,9 mg/L a 2,2 mg/L, sendo os valores mais elevados relativos às estações RD018 (rio Casca), RD089 (rio Suaçuí Grande) e RD057 (rio Caratinga).

Pela análise dos dados, constatou-se não ter havido influência da sazonalidade nos resultados.

Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de potássio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 401) e seus afluentes (Figura 402), de montante para jusante.

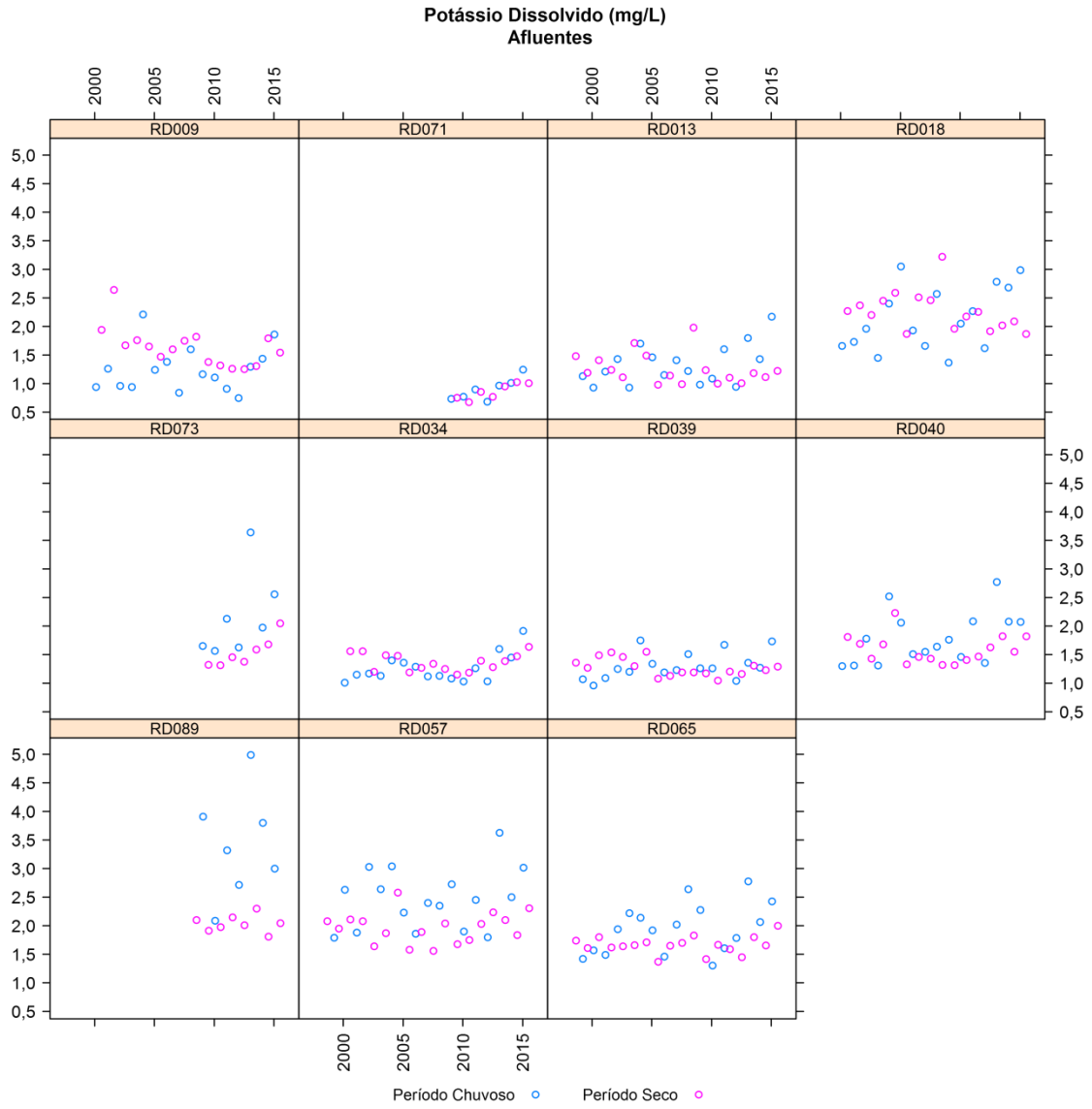
Figura 401 – Gráficos de dispersão dos dados de potássio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações do rio Doce (Figura 401), as concentrações de potássio dissolvido apresentaram-se dispersas ao longo do tempo e variaram de 0,62 mg/L a 3,38 mg/L.

Para os tributários do rio Doce (Figura 402), as concentrações também se apresentaram dispersas ao longo do tempo, sem tendência à redução ou aumento de valores observável. Na estação RD089 (rio Suaçuí Grande), foram registrados os valores máximos, chegando a 4,99 mg/L.

Figura 402 – Gráficos de dispersão dos dados de potássio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.10.21 Sódio dissolvido

Todas as águas naturais contêm algum sódio, já que ele é um dos elementos mais abundantes na Terra e seus sais são altamente solúveis em água, encontrando-se na forma iônica (Na^+), e nas plantas e animais, já que é um elemento ativo para os organismos vivos. O

aumento das concentrações de sódio na água pode provir de lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais, bem como do intemperismo de rochas.

As concentrações de sódio nas águas superficiais variam consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local e descargas de efluentes. Muitas águas superficiais, incluindo aquelas que recebem efluentes, têm teores bem abaixo de 50 mg/L. O sódio é comumente medido onde a água é utilizada para dessedentação de animais ou para agricultura, particularmente na irrigação. Quando o teor de sódio em certos tipos de solo é elevado, sua estrutura pode degradar-se pelo restrito movimento da água, afetando o crescimento das plantas (CETESB, 2016).

A presença dessa partícula na água é resultante também da dissociação do cianeto de sódio, este quando dissolvido em água rapidamente se decompõe (CETESB, 2017c). O cianeto de sódio é utilizado para extrair o ouro e a prata de seus minérios, processo mais ecologicamente seguro que o por mercúrio.

Na Resolução CONAMA nº 357/2005 não há limite legislado para sódio dissolvido, de modo que não foram calculados percentuais de desacordo. A título de comparação, na Portaria MS nº 2.914/2011, em termos de padrão organoléptico de potabilidade, a concentração de sódio total não deve ultrapassar 200 mg/L.

Avaliação espacial

A Figura 403 e a Figura 404 apresentam os valores de mediana de sódio dissolvido para as estações do rio Doce e afluentes, respectivamente.

No rio Doce (Figura 403), de modo geral, os valores de mediana para o sódio dissolvido variaram de 3,32 mg/L a 3,81 mg/L entre as estações RD072 (entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado) e RD035 (no município de Santa do Paraíso). A partir da estação RD033 (entre os municípios de Belo Oriente e Bugre), os valores de mediana passaram a variar de 5,05 mg/L a 6,38 mg/L. Os valores de mediana do período seco foram levemente superiores àquelas do período chuvoso, sendo que, na estação RD033, a diferença foi mais evidente.

Para os afluentes do rio Doce (Figura 404), na estação RD009 (rio do Carmo) observaram-se valores de mediana mais elevados do que nas demais estações. Para o período total, a mediana da estação RD009 foi de 13,95 mg/L. Considerando-se somente o período seco, a mediana da referida estação chegou a 21,11 mg/L. Para as demais estações situadas em tributários do rio Doce, as medianas variaram de 2,21 mg/L a 5,69 mg/L, no período total.

Figura 403 – Medianas dos valores de sódio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

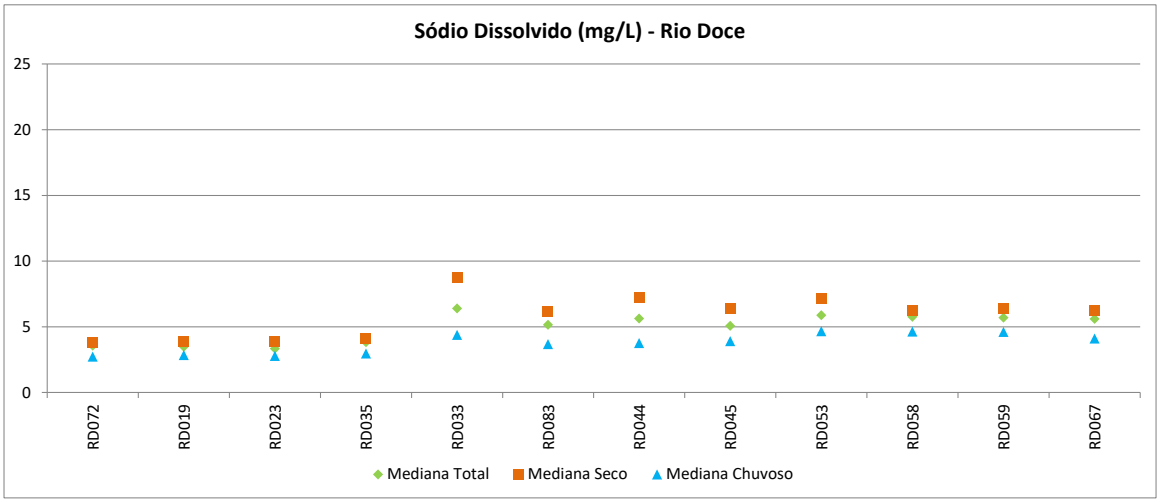
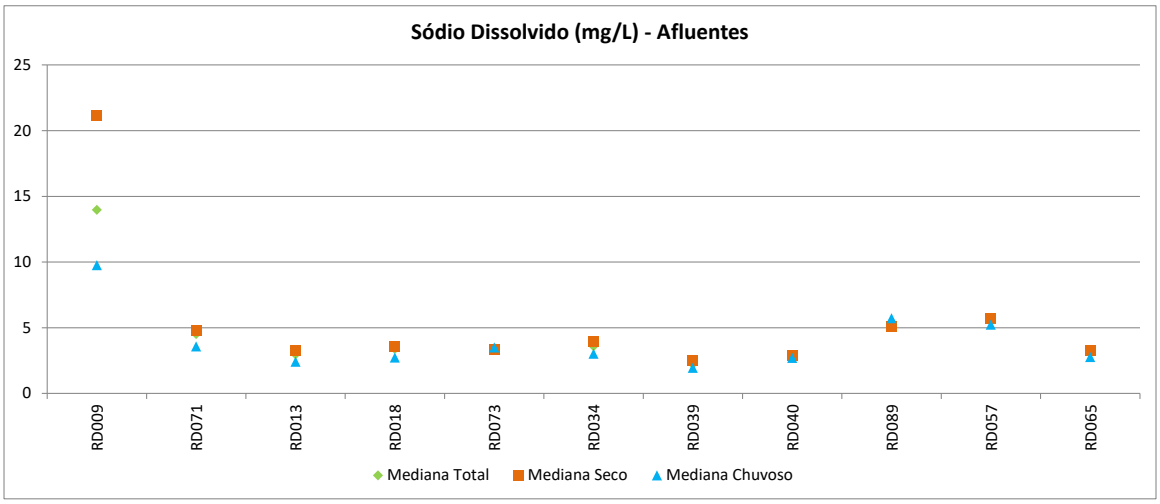


Figura 404 – Medianas dos valores de sódio dissolvido para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



<u>Avaliação temporal</u>

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de sódio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce (Figura 405) e seus afluentes (Figura 406), de montante para jusante.

Para as estações do rio Doce (Figura 405), observaram-se dois padrões de dispersão de dados ao longo do tempo. O primeiro tipo de padrão foi observado para as estações RD072 a RD035, com valores entre 2,07 mg/L e 7,26 mg/L. O segundo tipo de padrão de dispersão foi observado para as estações RD033 a RD067, com valores entre 2,35 mg/L a 14,70 mg/L. Para ambos os padrões, foram registrados valores mais elevados no início e no fim da série de dados, com valores mais baixos no período intermediário. Observou-se também que os valores do período seco foram, de modo geral, superiores aos valores do período chuvoso.

Para os tributários do rio Doce (Figura 406), com exceção da estação RD009, o comportamento dos dados foi bastante semelhante entre as demais estações, sem grandes

variações ao longo do tempo, com concentrações não passando de 9 mg/L. Para a estação RD009 (rio do Carmo), foi observada maior dispersão dos dados, com valores mais elevados ao longo do monitoramento (concentração máxima: 46 mg/L).

Figura 405 – Gráficos de dispersão dos dados de sódio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

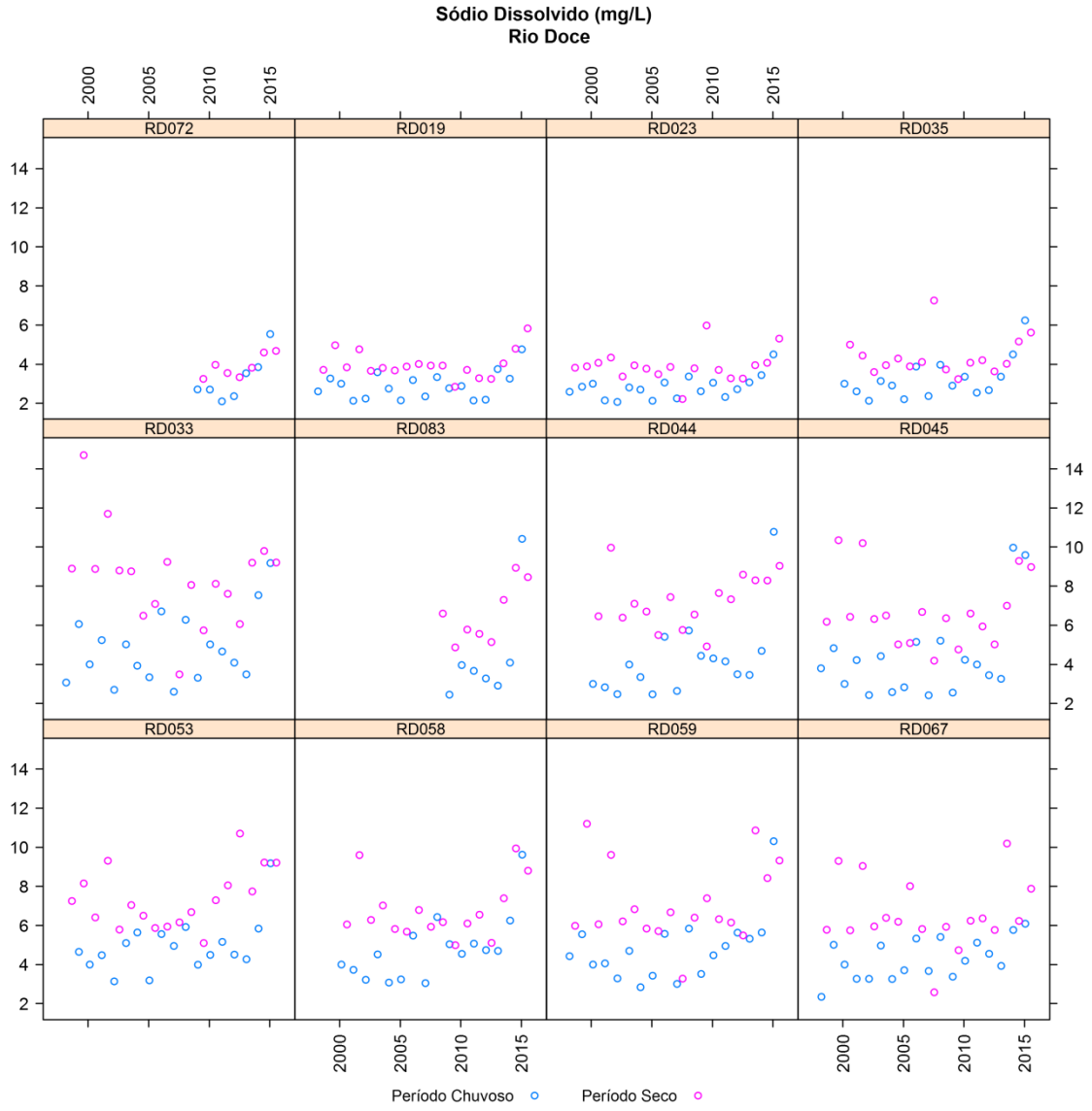
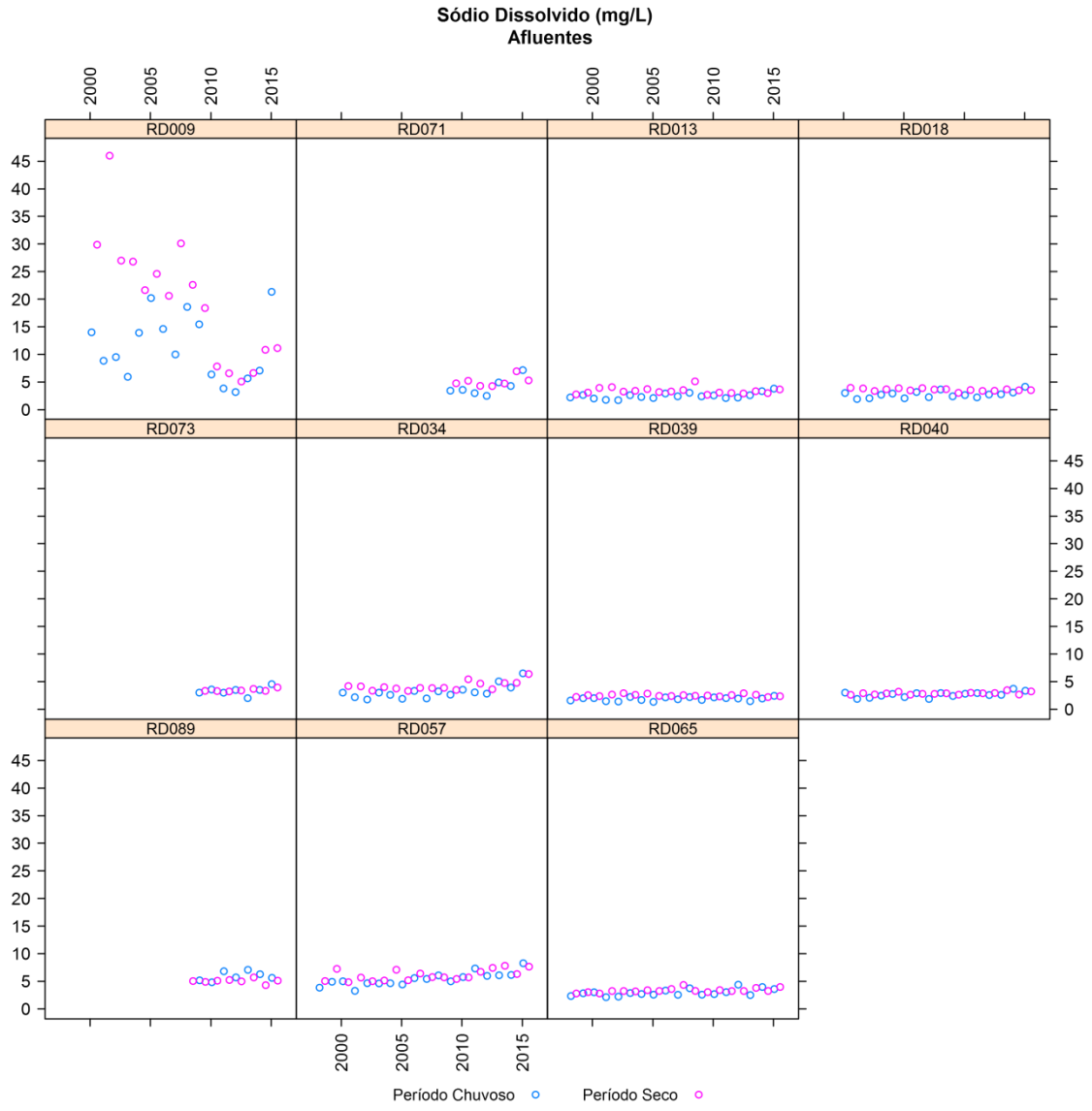
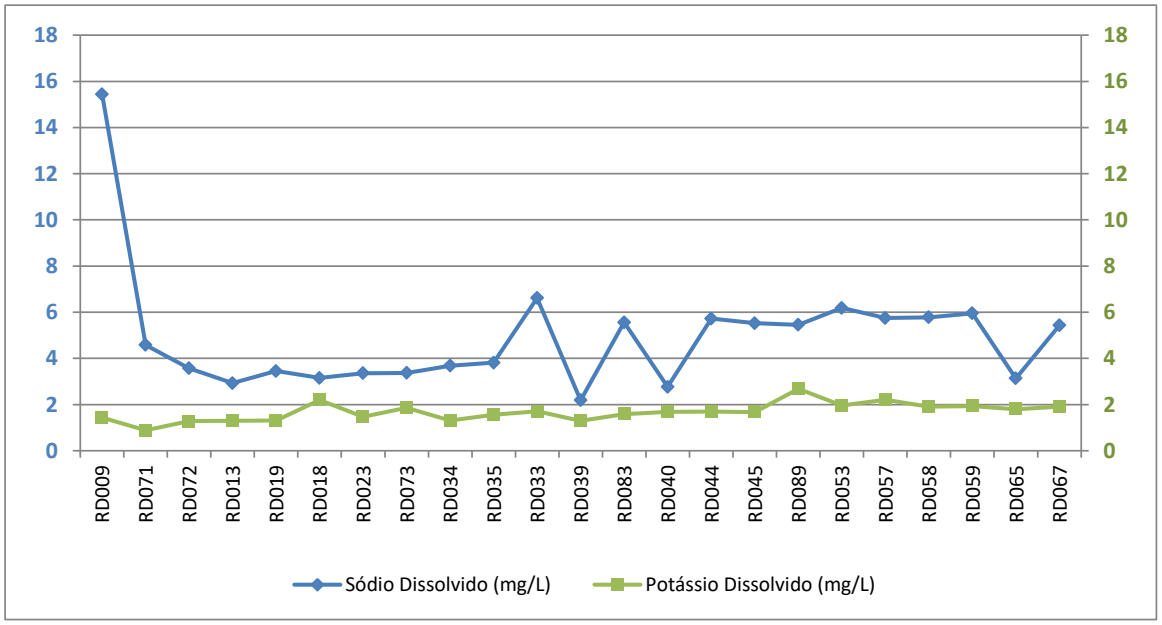


Figura 406 – Gráficos de dispersão dos dados de sódio dissolvido ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Para se verificar alguma tendência de intemperismo de rocha com relação aos elementos alcalinos sódio e potássio, estão apresentados na Figura 407, na forma gráfica, os valores médios obtidos nas estações de amostragem. Observou-se que não houve uma mesma tendência da concentração iônica desses elementos, sendo que se pode atribuir, principalmente para o íon sódio, à ação antropogênica no meio, ou seja, às contribuições de efluentes locais, pela sua maior concentração média.

Figura 407 – Comparação entre os dados médios de potássio dissolvido e sódio dissolvido ao longo d as estações de monitoramento.



3.8.10.22 Zinco

Este metal é comumente utilizado para a fabricação de ligas e de latão, além de vitaminas, no fabrico do aço galvanizado, bem como certos tipos de borracha, protetores solares e xampus. De acordo com CETESB (2016), em águas naturais superficiais, as concentrações de zinco são normalmente inferiores a 10 µg/L.

Para Sigolo (1998), em uma análise geral de sedimentos analisados no estado de São Paulo, alguns metais, como o zinco (Zn), o cobre (Cu), o manganês (Mn), o chumbo (Pb), o cromo (Cr), o molibdênio (Mo) e o cádmio (Cd), podem se fixar no solo ou no subsolo ou, mesmo, podem encontrar condições físico-químicas ideais no ambiente para permitir a sua dispersão nesse meio e no lençol freático. O autor citou como exemplo que o metal zinco pode apresentar maior mobilidade em solos e em meios aquosos sob certas condições ambientais e, ao mesmo tempo, ser encontrado na forma concentrada em teores próximos a de jazidas minerais, com até 700 mg/kg. Para o autor, algumas condições morfológicas do solo e dos resíduos de origem orgânicas e inorgânicas representam regiões de armazenamento ou de captura de metais pesados, sendo as inorgânicas constituídas predominantemente de hidróxidos de ferro, devido às características argilominerais de adsorção e/ou a sua certa susceptibilidade magnética, quando expostos a determinadas condições ambientais (pH e temperatura, principalmente).

Esse elemento quando ingerido em concentrações mais elevadas pode acumular-se no organismo humano, causando danos à saúde (CETESB, 2016).

Os resultados aqui apresentados são referentes ao monitoramento do IGAM, no estado de Minas Gerais.

Avaliação de não conformidades

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite para o zinco em rios de Classe 2, como os da bacia do rio Doce, é de 0,18 mg/L. Nesse sentido, tanto para o rio Doce (Tabela 147) quanto para seus afluentes (Tabela 148), observou-se um percentual baixo de desacordos, sendo o maior percentual registrado no rio Caratinga, no município de Conselheiro Pena, com 11% de desacordos.

Tabela 147 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para zinco no rio Doce.

Rio Doce							
Zinco Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	29	0%	14	0%	15	0%
	RD019	36	0%	18	0%	18	0%
	RD023	36	3%	18	0%	18	6%
	RD035	32	3%	16	0%	16	6%
	RD033	36	3%	18	0%	18	6%
	RD083	15	0%	8	0%	7	0%
	RD044	32	0%	16	0%	16	0%
	RD045	36	3%	18	0%	18	6%
	RD053	35	3%	18	0%	17	6%
	RD058	32	0%	16	0%	16	0%
	RD059	36	0%	18	0%	18	0%
	RD067	36	0%	18	0%	18	0%

Nota: n: número de observações.

Tabela 148 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para zinco em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Zinco Total							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	32	0%	16	0%	16	0%
	RD071	14	0%	7	0%	7	0%
	RD013	36	8%	18	11%	18	6%
	RD018	32	3%	16	0%	16	6%
	RD073	29	0%	14	0%	15	0%
	RD034	32	0%	16	0%	16	0%
	RD039	36	0%	18	0%	18	0%
	RD040	32	6%	16	6%	16	6%
	RD089	15	0%	8	0%	7	0%
	RD057	36	6%	18	0%	18	11%
	RD065	36	3%	18	0%	18	6%

Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

Em termos medianos, as concentrações de zinco ao longo do rio Doce (Figura 408) e afluentes (Figura 409) apresentaram-se mais homogêneas variando de 0,020 mg/L a 0,030 mg/L, no período total. No período chuvoso, foram observados valores de mediana mais elevados.

Figura 408 – Medianas dos valores de zinco para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

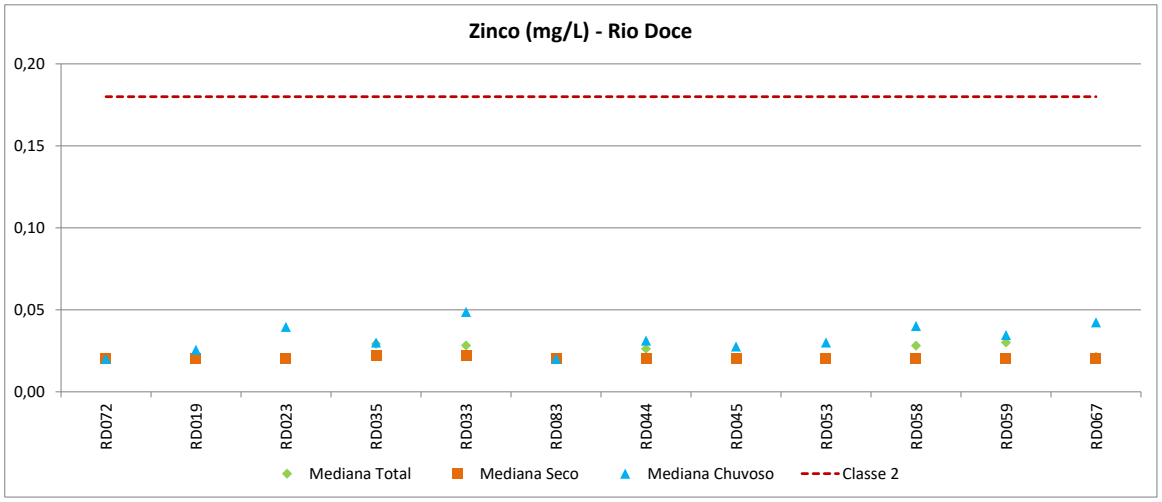
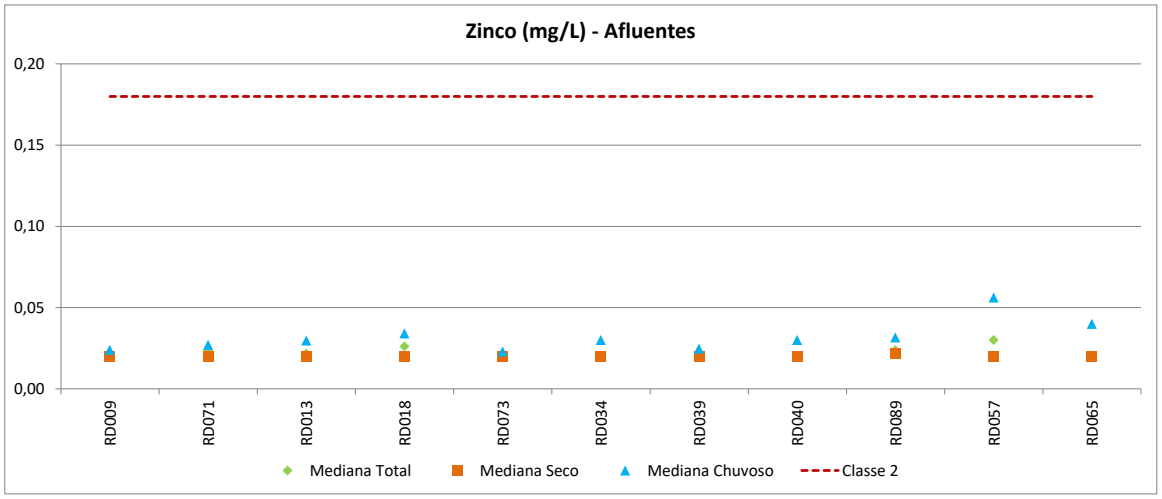


Figura 409 – Medianas dos valores de zinco para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

A Figura 410 apresenta o gráfico de dispersão das concentrações de zinco distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. A Figura 411 apresenta esses dados para os afluentes do rio Doce.

Para as estações do rio Doce, verificou-se a tendência de valores abaixo do limite da resolução, com poucos desacordos (3 eventos), sendo estes registrados no período chuvoso. Os gráficos demonstraram baixa dispersão nos resultados, indicando uma tendência à apresentação de concentrações semelhantes. O valor máximo registrado no conjunto de dados avaliado foi verificado na estação RD023, localizada no rio Doce, nos municípios de Marliéria e Pingo d'Água, com concentração de 0,61 mg/L (período chuvoso).

Essa mesma situação se observou nos afluentes, com poucos registros de desacordos (7 eventos), sendo a maioria no período chuvoso. Maior dispersão dos resultados foi observada nas estações RD013 (rio Piranga, no município de Ponte Nova) e RD057 (rio

Caratinga, município de Conselheiro Pena). Também na estação RD013 é que foram registrados os únicos desacordos do período seco. Com relação ao valor máximo observado, este foi registrado na estação RD040, localizada no rio Corrente Grande, no município de Governador Valadares, com concentração de 0,54 mg/L (período seco).

Figura 410 – Gráficos de dispersão dos dados de zinco ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce.

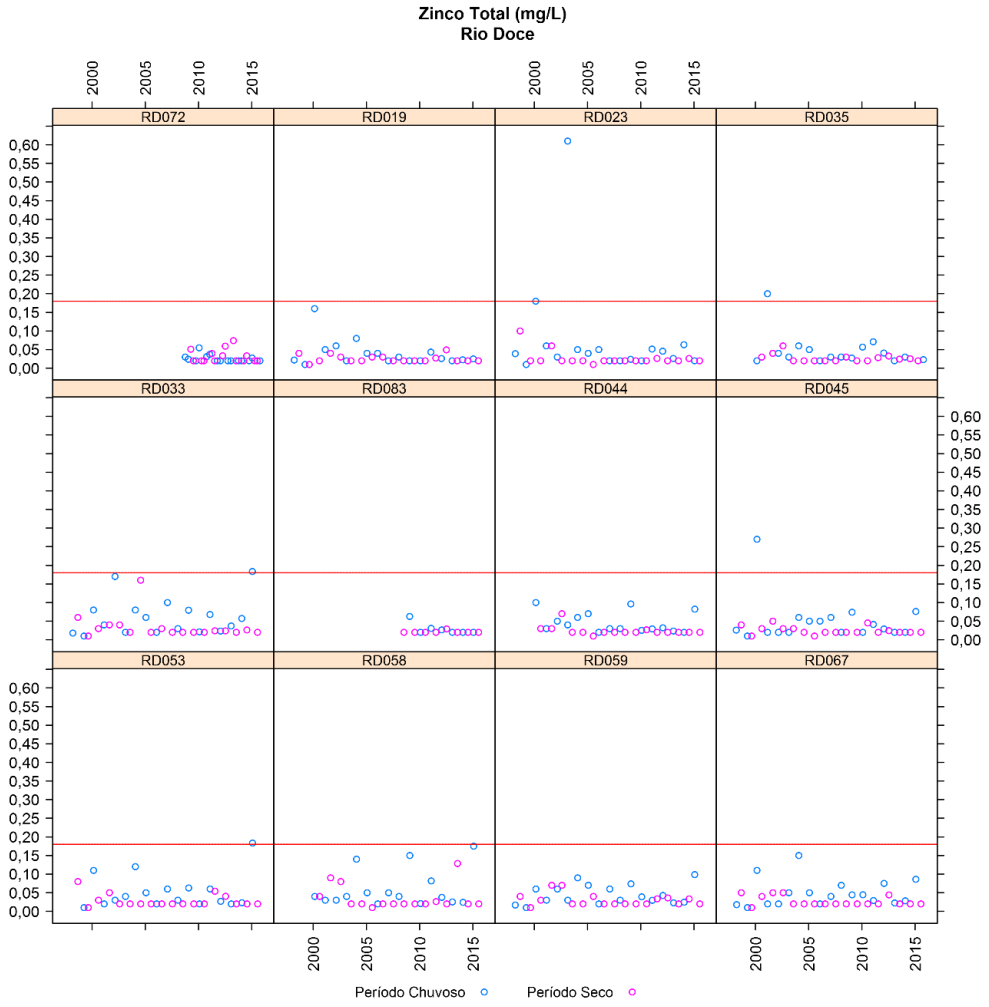
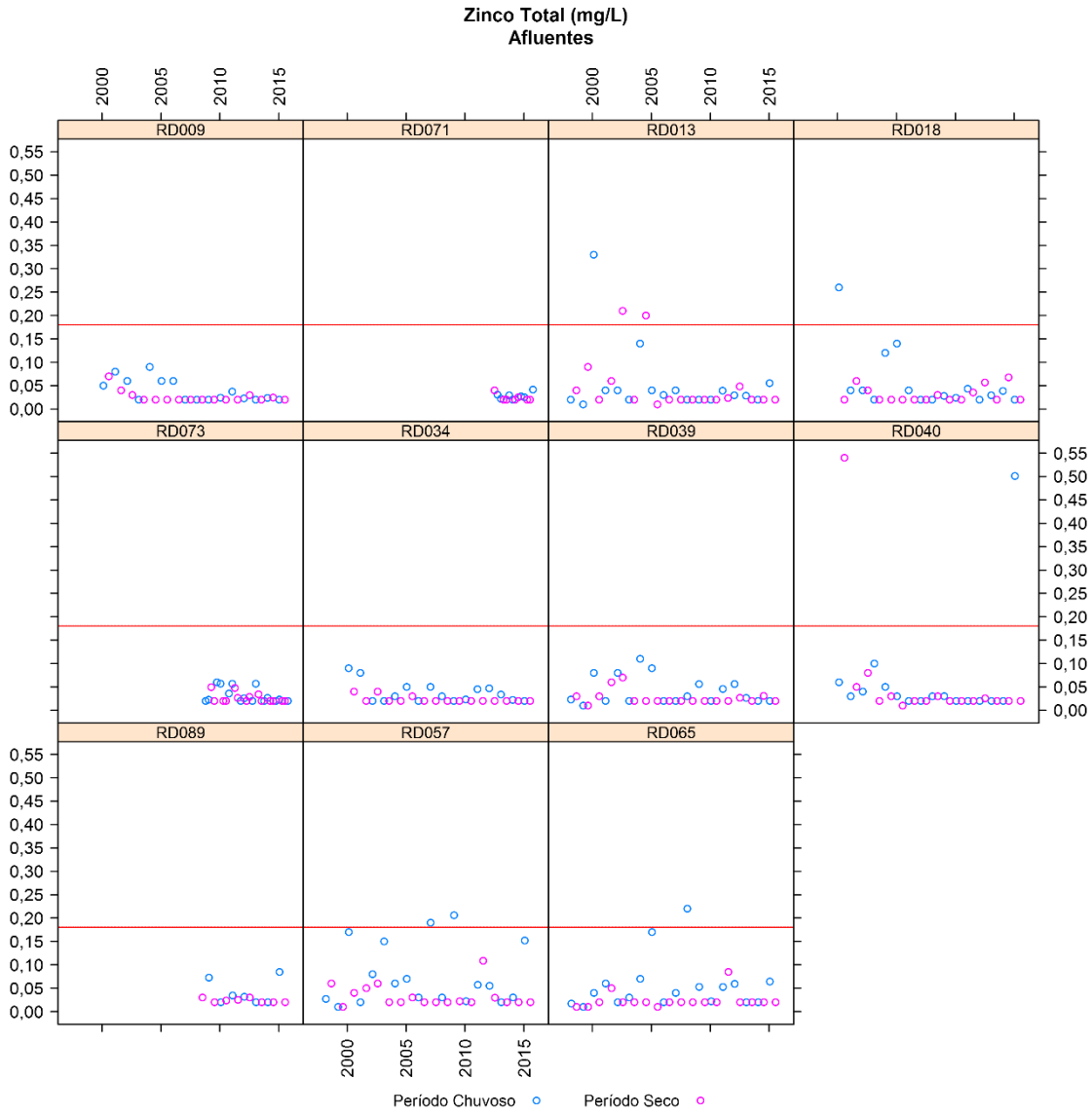


Figura 411 – Gráficos de dispersão dos dados de zinco ao longo do tempo para as estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



3.8.11 Resultados das variáveis microbiológicas da água

3.8.11.1 Coliformes termotolerantes

Bactérias do grupo dos coliformes termotolerantes caracterizam-se por fermentar lactose, em temperaturas de 44 °C a 45 °C, englobando predominantemente os gêneros *Escherichia*, *Klebisiela* e *Enterobacter*. Esses organismos estão presentes no trato intestinal de animais de sangue quente, sendo, dessa forma, indicadores diretos da presença de fezes na amostra de água.

De acordo com Libânio (2005), em função dessa característica, a utilização de coliformes termotolerantes como indicador de qualidade de água é estabelecida, tendo em vista a grande variedade de doenças de veiculação hídrica. Uma vez que essas bactérias são

típicas do trato intestinal de organismos homeotérmicos, sua presença nas águas aumenta a probabilidade de estas estarem contaminadas com esgotos não tratados e, assim, conterem outros tipos de contaminante, como protozoários e outros patógenos.

Avaliação de não conformidades

Para o parâmetro de coliformes termotolerantes, o limite legislado para rios de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, é de 1.000 NMP/100 mL. Nesse contexto, os percentuais de desacordos em relação a esse limite legislado para o período total, seco e chuvoso nas estações localizadas no rio Doce encontram-se na Tabela 149 e em seus afluentes na Tabela 150.

Tabela 149 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para coliformes termotolerantes no rio Doce.

Rio Doce							
Coliformes Termotolerantes							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD072	17	88%	8	88%	9	89%
	RD019	61	44%	30	33%	31	55%
	RD023	61	38%	30	27%	31	48%
	RD035	54	80%	27	74%	27	85%
	RD033	61	97%	30	97%	31	97%
	RD083	18	67%	9	78%	9	56%
	RD044	52	77%	26	77%	26	77%
	RD045	60	87%	30	90%	30	83%
	RD053	59	81%	30	83%	29	79%
	RD058	51	71%	26	62%	25	80%
	RD059	60	73%	30	77%	30	70%
	RD067	58	36%	29	24%	29	48%
ES	RDC1E010	27	41%	19	26%	8	75%
	RDC1E015	19	63%	13	54%	6	83%
	RDC1D020	27	100%	19	100%	8	100%
	RDC1D025	25	60%	18	50%	7	86%
	RDC1E030	25	68%	18	56%	7	100%

Nota: n: número de observações.

De modo geral, observaram-se, tanto para as estações localizadas no rio Doce quanto para as localizadas nos afluentes, em todos os períodos avaliados (total, seco e chuvoso), desacordos superiores a 20% para o parâmetro coliformes termotolerantes. Exceção se fez para a estação RD065, no rio Manhuaçu, onde a porcentagem de desacordos na estação seca não ultrapassou 20%.

Quando comparados os períodos seco e chuvoso (Tabela 149), observou-se aumento nas porcentagens de desacordos para o período chuvoso para 5 das 12 estações monitoradas no rio Doce, no estado de Minas Gerais: RD019, RD023, RD035, RD058 e RD067. Para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, no estado do Espírito Santo, observou-se aumento dos percentuais de desacordos em todos os pontos no período chuvoso, com exceção da estação RDC1D020, que manteve 100% de desacordos em ambos os períodos.

Para as estações localizadas em afluentes (Tabela 150), observou-se aumento nos percentuais de desacordos em 9 das 11 estações do IGAM/MG e nas duas estações do IEMA/ES para o período chuvoso.

Tabela 150 – Percentuais de desacordos com a Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para coliformes termotolerantes em afluentes do rio Doce.

Afluentes							
Coliformes Termotolerantes							
Estações de monitoramento		Total		Seco		Chuvoso	
		n	% de desacordos	n	% de desacordos	n	% de desacordos
MG	RD009	54	85%	27	78%	27	93%
	RD071	17	71%	8	75%	9	67%
	RD013	61	92%	30	90%	31	94%
	RD018	52	81%	26	88%	26	73%
	RD073	17	76%	8	63%	9	89%
	RD034	52	88%	26	85%	26	92%
	RD039	61	38%	30	23%	31	52%
	RD040	52	37%	26	35%	26	38%
	RD089	18	50%	9	44%	9	56%
	RD057	60	37%	30	30%	30	43%
	RD065	60	32%	30	20%	30	43%
ES	RDC2C007	26	96%	17	94%	9	100%
	RDC2C012	27	41%	19	37%	8	50%

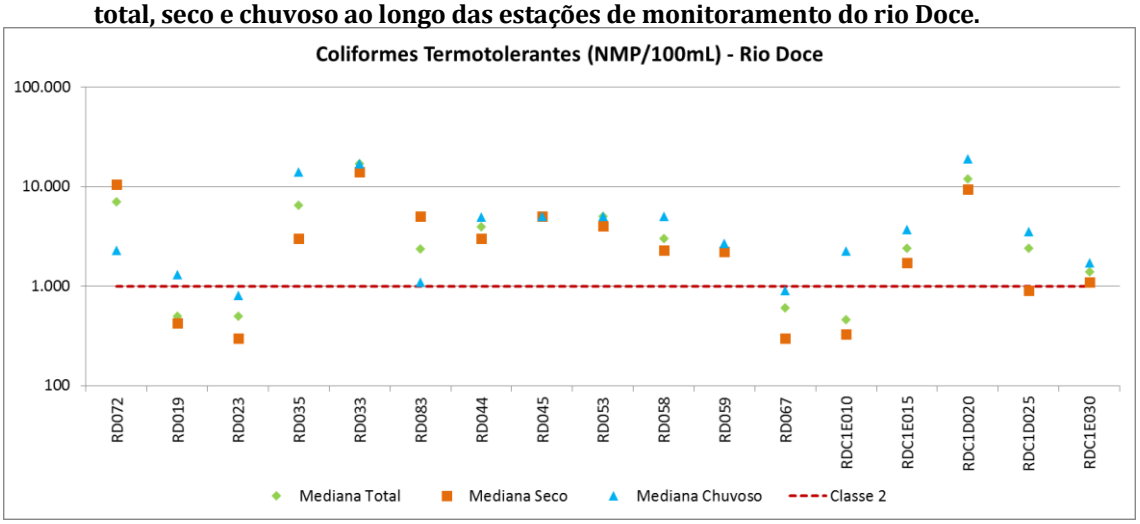
Nota: n: número de observações.

Avaliação espacial

Na Figura 412, apresentam-se os valores de mediana das concentrações de coliformes termotolerantes para os períodos total, seco e chuvoso para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce.

Considerando as medianas do período total (Figura 412), observou-se que na estação RD019, situada após a UHE Risoleta Neves, houve uma redução de valores da referida variável. Na estação RD023, na região do Parque Estadual do Rio Doce, os valores mantiveram-se mais baixos. A partir da estação RD035, a jusante de Ipatinga (MG), um dos municípios mais populosos da região de estudo, as concentrações voltaram a se elevar. Na estação RD067, entre os municípios de Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES), novamente observou-se redução de valores, situação que persistiu até a estação RDC1E010, ainda a montante das contribuições do município de Colatina (ES). A partir dessa estação de amostragem, os valores voltaram a se elevar.

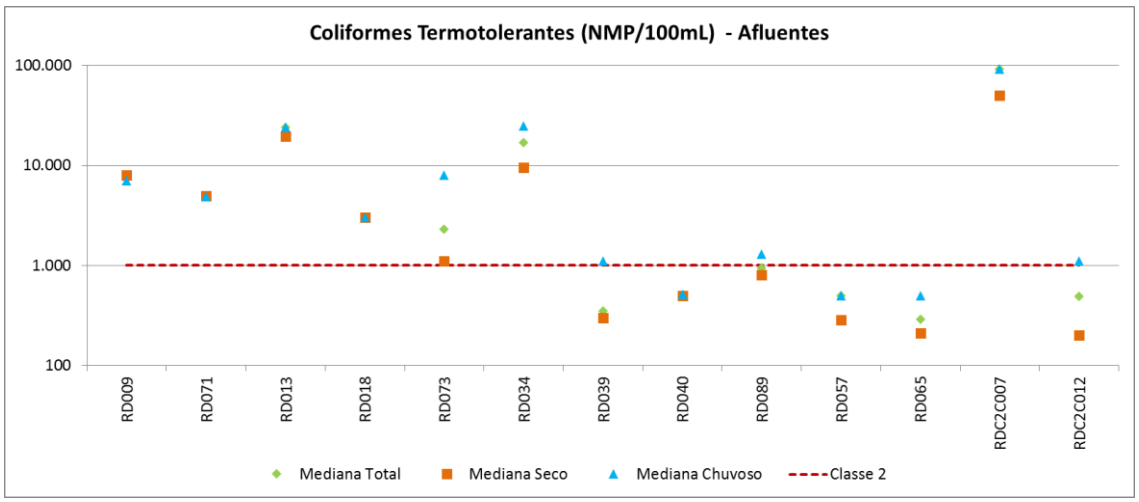
Figura 412 Medianas das concentrações de coliformes termotolerantes para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Para as estações de monitoramento localizadas em afluentes (Figura 413), observou-se maior variação entre elas, de modo geral. Em relação à diferença entre os valores do período seco e chuvoso, esta foi mais evidente nas estações RD073 (ribeirão do Sacramento), RD034 (rio Piracicaba), RD039 (rio Santo Antônio), RD065 (rio Manhuaçu) e RDC2012 (rio Santa Joana).

Em relação às medianas do período total, observaram-se valores mais elevados nas estações a montante da UHE Risoleta Neves, nos rios do Carmo (RD009 e RD071) e rio Piranga (RD013); rio Piracicaba (RD034) e rio Baixo Guandu (RDC2007). Valores mais baixos ocorreram na estação RD039 (rio Santo Antônio), RD057 (rio Caratinga), RD065 (rio Manhuaçu) e RDC2012 (rio Santa Joana).

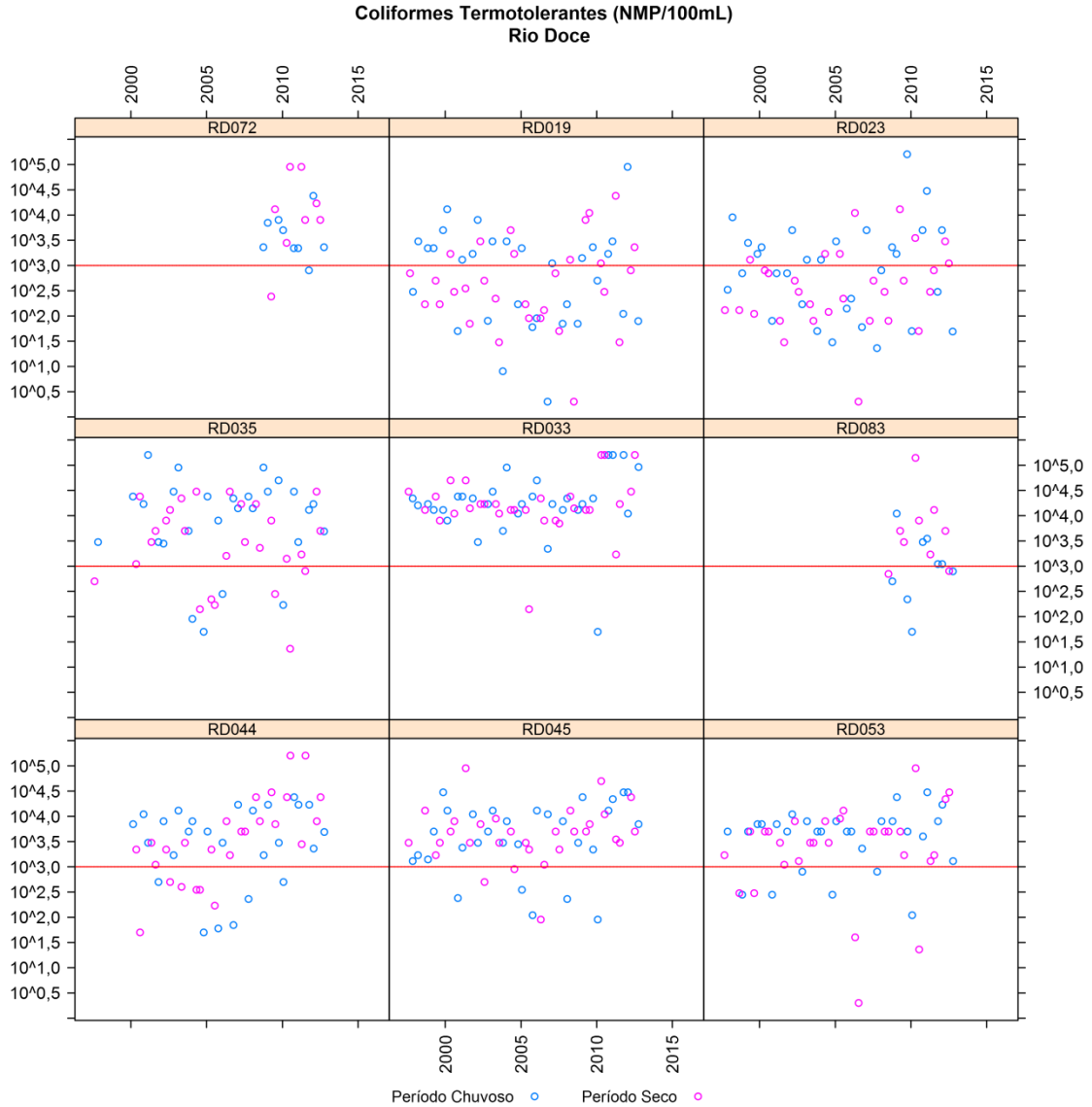
Figura 413 – Medianas das concentrações de coliformes termotolerantes para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento de afluentes do rio Doce.



Avaliação temporal

Na sequência, apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de coliformes termotolerantes distribuídas ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, de montante para jusante. Em virtude de o número de estações ser elevado, os gráficos foram divididos em parte I (Figura 414) e parte II (Figura 415).

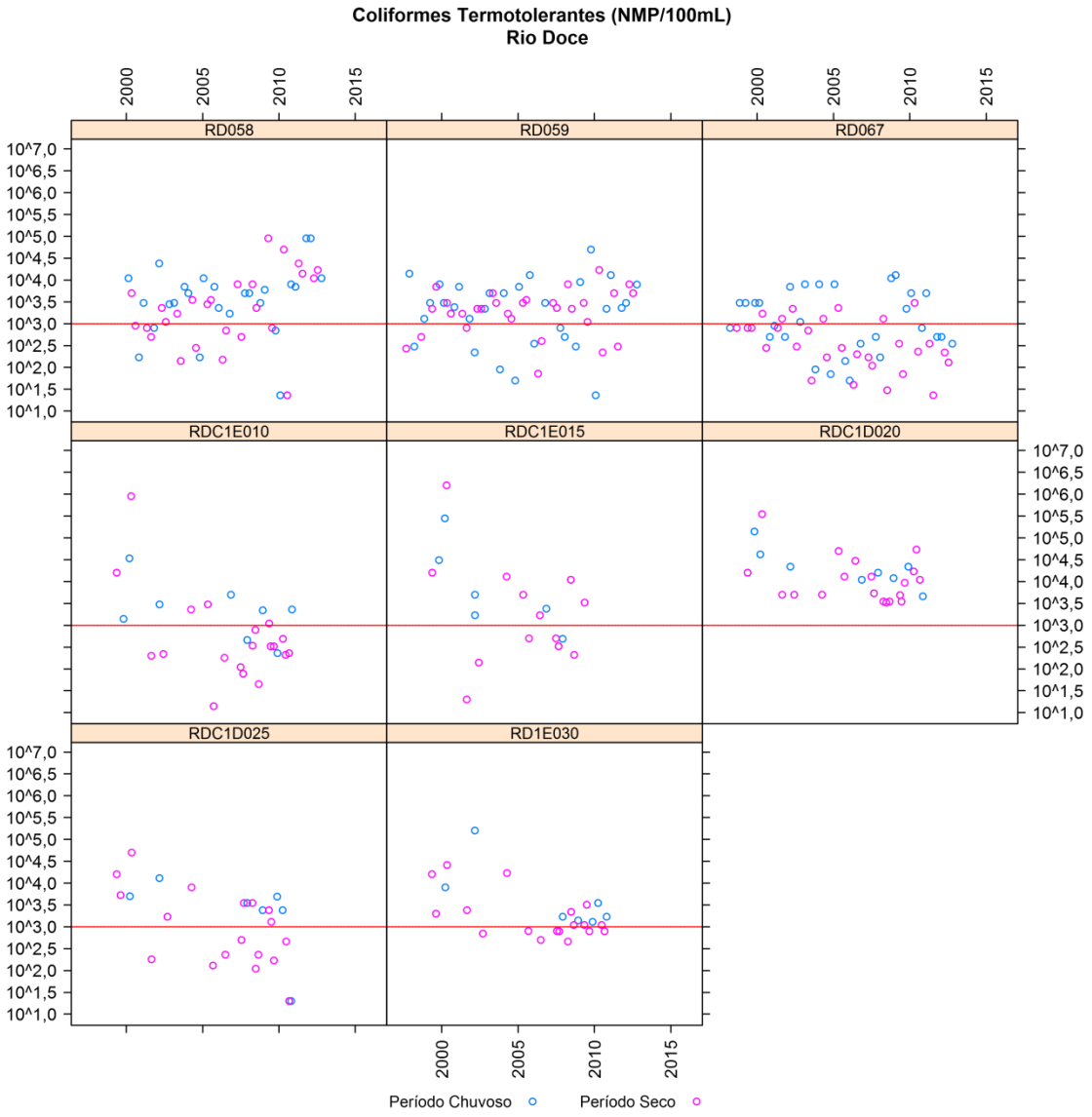
Figura 414 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte I).



Notou-se para as estações RD019, RD023, RD067 e RDC1E010 que os valores de coliformes termotolerantes variaram, com a ocorrência de valores tanto acima, quanto abaixo do limite legislado. Nas demais estações, maior número de observações com concentrações acima do limite da Resolução CONAMA nº 357/2005 foi registrado. Não foi possível observar

alterações de tendência de concentração ao longo do rio Doce, nem foram observadas diferenças significativas entre o período seco e chuvoso.

Figura 415 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento do rio Doce (parte II).



Na Figura 416 e na Figura 417 apresentam-se os gráficos de dispersão das concentrações de coliformes termotolerantes distribuídos ao longo do tempo para as estações de monitoramento localizadas nos afluentes do rio Doce, de montante para jusante.

Para os afluentes, até a estação RD034 (rio Piracicaba), os valores de coliformes apresentaram-se, em maioria, acima do limite legislado. A partir do rio Santo Antônio (RD039), os valores de coliformes termotolerantes tiveram uma tendência a se apresentar em maior conformidade com o limite legislado. Exceção se observou para a estação RDC2C007 (rio Guandu), na qual apenas um valor amostrado esteve abaixo do limite da Classe 2 para o parâmetro coliformes termotolerantes (1.000 NMP/100 mL). Assim como no rio Doce, não foi possível evidenciar quaisquer diferenças significativas entre o período seco e chuvoso.

Figura 416 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte I).

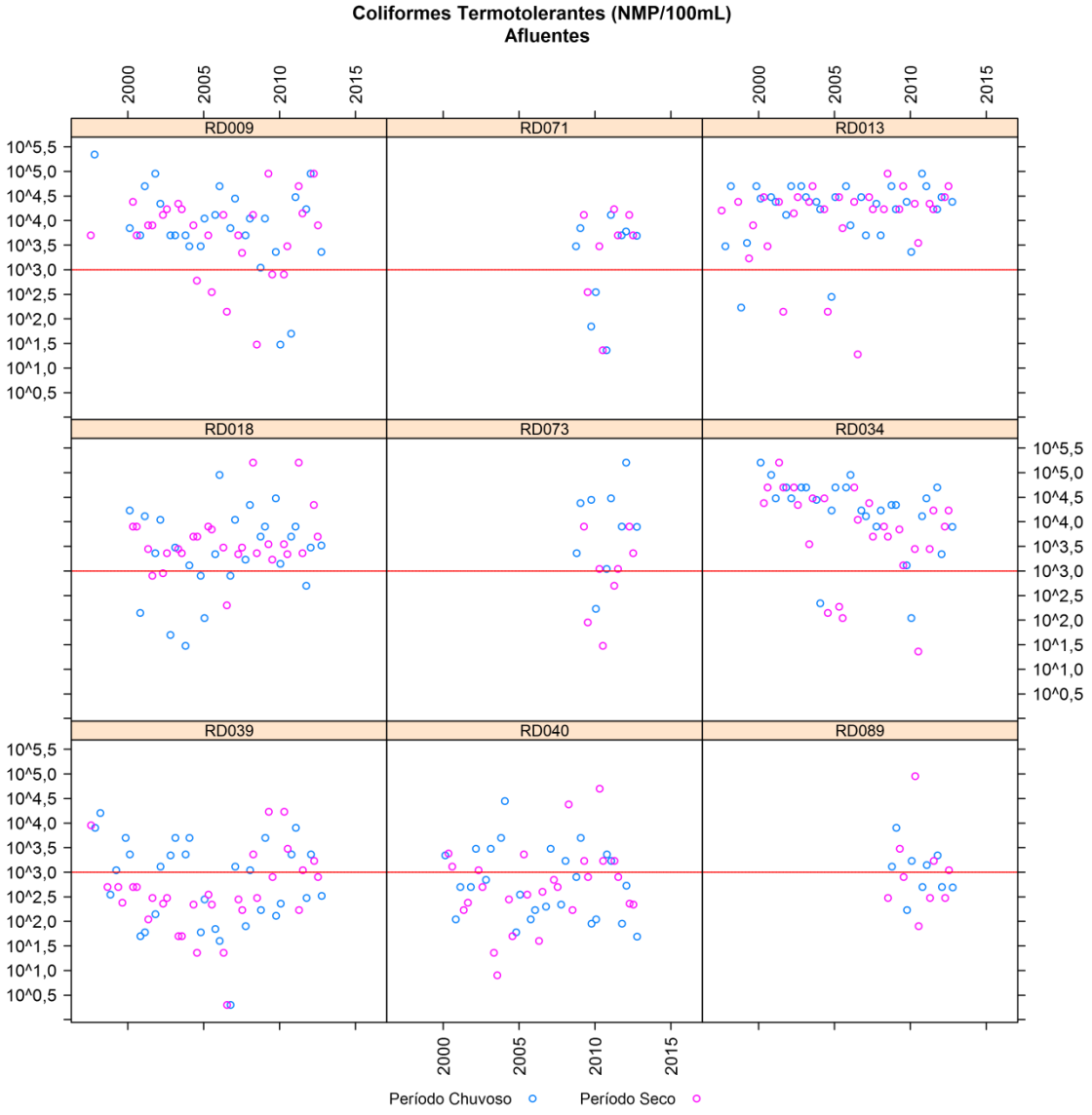
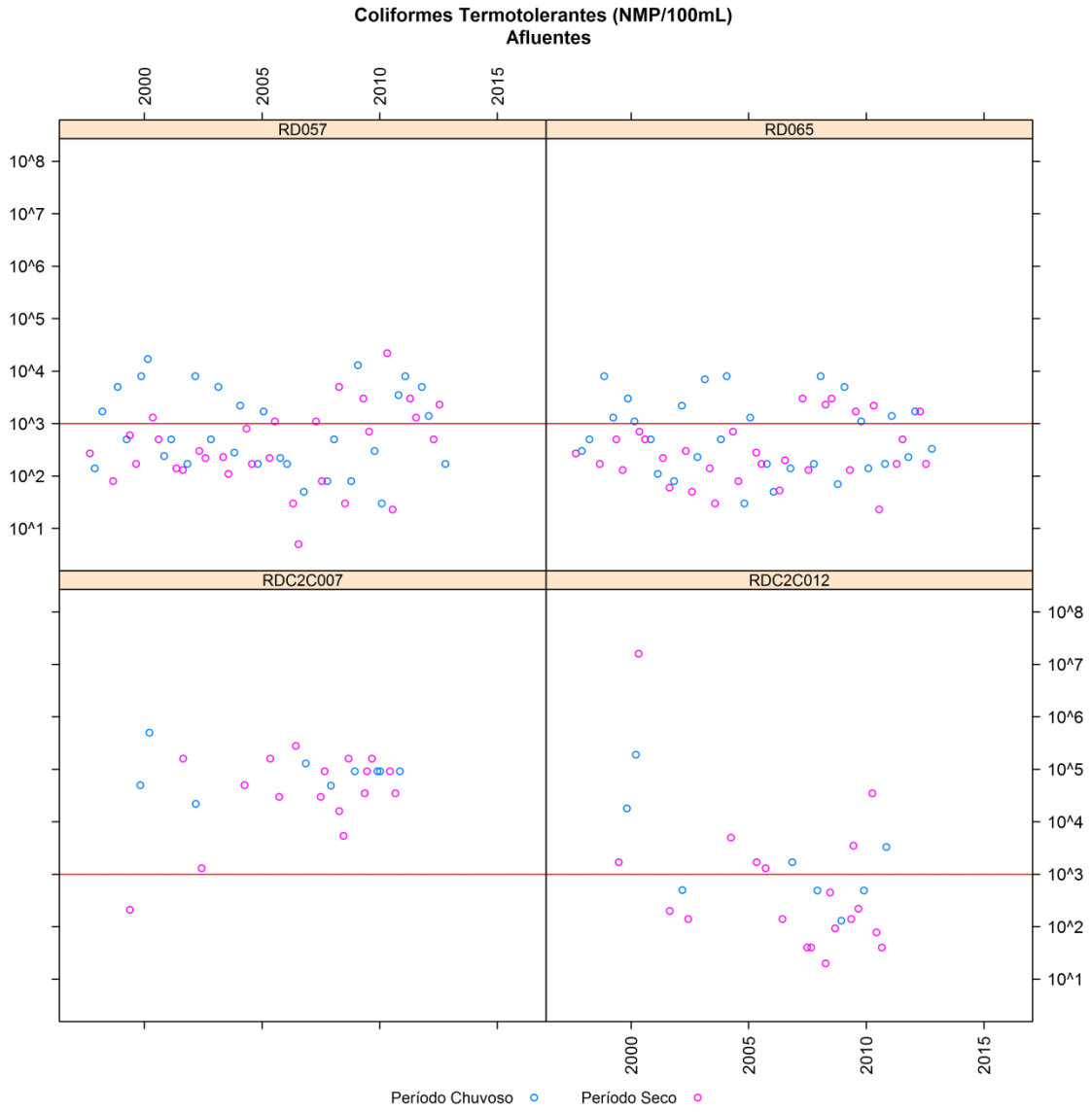


Figura 417 – Gráficos de dispersão dos dados de coliformes termotolerantes ao longo do tempo para as estações de monitoramento dos afluentes do rio Doce (parte II).



3.8.12 Variáveis de qualidade de água com maior número de não conformidades na região de estudo no período pré-desastre

Os resultados gerados a partir da avaliação de não conformidade dos parâmetros de qualidade de água (item 3.8.4.2) foram sintetizados na Tabela 151, para os parâmetros monitorados pelo IGAM/MG, e na Tabela 152, para os parâmetros avaliados pelo IEMA/ES. Convém lembrar que o rol de parâmetros monitorados pelo IEMA é menor do que aquele monitorado pelo IGAM, dessa forma, a presente análise foi realizada separadamente.

A Tabela 151 e a Tabela 152 apresentam – em termos percentuais – em quantas estações determinado parâmetro de qualidade de água se apresentou não conforme com a legislação (limites para rios de Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 e da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008, conforme item 3.8.3). Além disso, são

apresentados os percentuais de desacordo mínimo e máximo registrados para cada variável entre as estações.

Convém destacar que tal avaliação não contemplou a variável cianeto livre, uma vez que, até o ano de 2010, o limite de quantificação do método laboratorial (≤ 0,01 mg/L) era 100% superior ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2 (≤ 0,005 mg/L). Assim, muitas das medidas apresentaram valor superior à legislação, mesmo que esse valor não representasse a realidade. A partir do ano de 2011, o limite laboratorial de quantificação foi reduzido a 0,002 mg/L, o que permitiu a indicação de valores mais reais das concentrações medidas nas estações de monitoramento. Nesse tocante, foram poucos os desacordos registrados.

De acordo com a avaliação da série histórica de dados do IGAM/MG (Tabela 151), oito parâmetros apresentaram desacordos em 100% das estações monitoradas, ou seja, em todas as estações avaliadas, tanto aquelas situadas no rio Doce quanto em seus tributários: coliformes termotolerantes, fósforo total, cor verdadeira, sólidos em suspensão totais, turbidez, alumínio dissolvido, chumbo total e manganês total. Em relação ao manganês total, por exemplo, o percentual de desacordo mínimo registrado em alguma das 23 estações de monitoramento do IGAM/MG foi de 5% e, em alguma outra estação, registrou-se o percentual de desacordo máximo de 100%. Ou seja, nessa determinada estação, registraram-se desacordos com o limite legislado em todo o período avaliado.

Outros parâmetros que não apresentaram desacordos em 100% das estações, mas se mostraram relevantes na presente avaliação, foram o ferro dissolvido e o arsênio total. O ferro dissolvido apresentou desacordos em 91% das estações de qualidade de água, com percentual máximo de desacordo de 36%, em alguma das 23 estações do IGAM/MG. Para o arsênio total, os desacordos ocorreram em um número menor de estações (26%), contudo, o percentual máximo de desacordo registrado chegou a 78%. Para os demais parâmetros, os percentuais de desacordos não foram representativos ou, então, foram inexistentes.

Tabela 151 – Número de estações do IGAM (%) em que os parâmetros de qualidade de água apresentaram não conformidades.

Parâmetro legislado	Número de estações em que se registraram não conformidades (%)	Desacordo máximo observado (%)	Desacordo mínimo observado (%)
Alumínio dissolvido	100%	24%	3%
Chumbo total	100%	26%	3%
Coliformes termotolerantes	100%	97%	32%
Cor verdadeira	100%	31%	7%
Fósforo total	100%	41%	2%
Manganês total	100%	100%	5%
Sólidos em suspensão totais	100%	32%	4%
Turbidez	100%	25%	6%
Ferro dissolvido	91%	36%	0%
Fenóis totais	70%	14%	0%
Cobre dissolvido	61%	7%	0%
Demanda bioquímica de oxigênio	43%	3%	0%
Zinco total	43%	8%	0%
Cromo total	39%	11%	0%
pH *in loco*	30%	10%	0%
Arsênio total	26%	78%	0%
Oxigênio dissolvido	22%	2%	0%

Parâmetro legislado	Número de estações em que se registraram não conformidades (%)	Desacordo máximo observado (%)	Desacordo mínimo observado (%)
Cádmio total	17%	3%	0%
Mercúrio total	17%	7%	0%
Níquel total	17%	9%	0%
Bário total	4%	3%	0%
Boro total	0%	0%	0%
Cloreto total	0%	0%	0%
Nitrato	0%	0%	0%
Nitrito	0%	0%	0%
Nitrogênio amoniacal total	0%	0%	0%
Selênio total	0%	0%	0%
Sólidos dissolvidos totais	0%	0%	0%
Sulfato total	0%	0%	0%

Em relação à avaliação da série histórica de dados do IEMA/ES (Tabela 152), quatro parâmetros apresentaram desacordos em 100% das estações monitoradas (tanto aquelas situadas no rio Doce quanto em seus tributários, somando sete estações): DBO, coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez. Para a DBO, entretanto, os percentuais de desacordos não foram tão significativos quanto aqueles observados para as demais variáveis.

Para o pH e o oxigênio dissolvido, os percentuais de desacordo foram baixos e não ocorreram em todas as estações.

Tabela 152 – Número de estações do IEMA (%) em que os parâmetros de qualidade de água apresentaram não conformidades.

Parâmetro legislado	Número de estações em que se registraram não conformidades (%)	Desacordo máximo observado (%)	Desacordo mínimo observado (%)
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	100%	19%	11%
Coliformes termotolerantes	100%	100%	41%
Fósforo total	100%	41%	24%
Turbidez	100%	41%	15%
pH	71%	8%	0%
Oxigênio dissolvido	29%	8%	0%

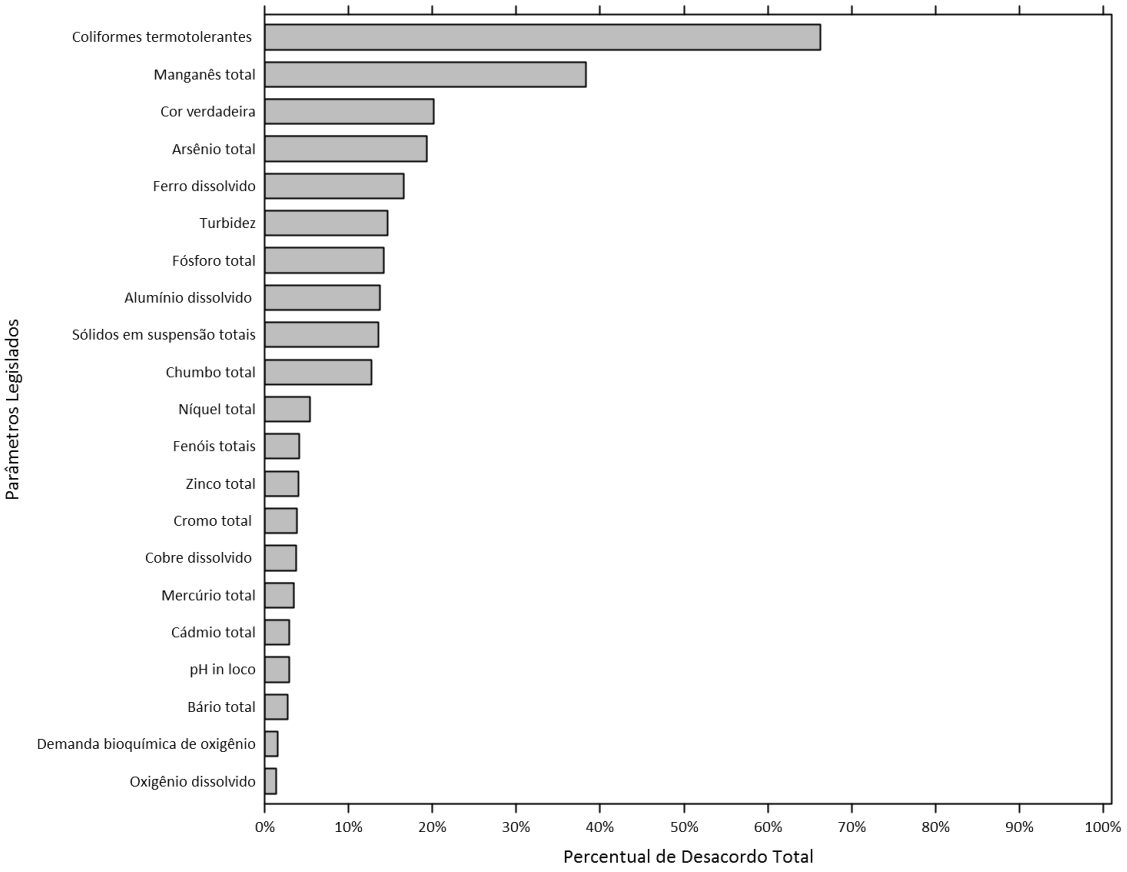
A Figura 418 e a Figura 419 referem-se ao ordenamento das variáveis de qualidade de água na porção mineira e capixaba, respectivamente, em relação ao percentual total de desacordos de cada uma delas. Desse modo, foi possível conhecer quais parâmetros de qualidade de água apresentaram-se mais relevantes em termos de não conformidades na região de estudo. Parâmetros legislados que não apresentaram desacordos não foram considerados nos gráficos (boro total, cloreto total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, selênio, sólidos dissolvidos totais e sulfato total), além do cianeto livre como anteriormente explicado.

Para cada variável de qualidade de água, foram somados os percentuais de desacordos em cada uma das estações avaliadas: no caso do IGAM/MG, 23 estações, e no caso do IEMA/ES, sete estações. Esses totais foram, então, divididos pelo número total de observações válidas, ou seja, 2.300, para o IGAM/MG, e 700, para o IEMA/ES.

Para a região de Minas Gerais (Figura 418), os dez parâmetros com maior número de desacordos foram: coliformes termotolerantes, manganês total, cor verdadeira, arsênio total,

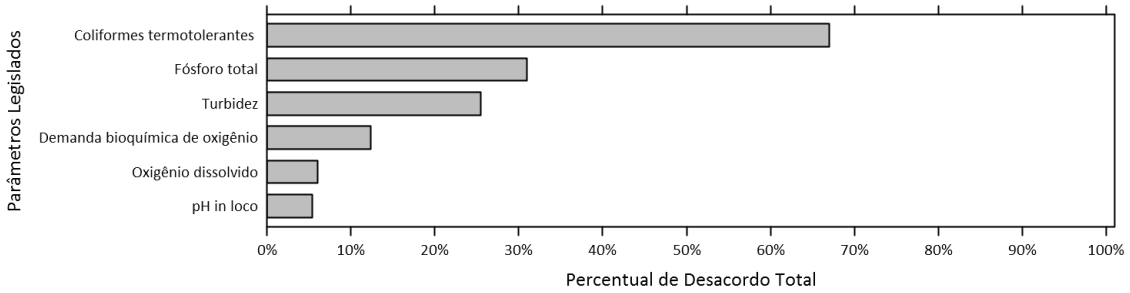
ferro dissolvido, turbidez, fósforo total, alumínio dissolvido, sólidos em suspensão totais e chumbo total.

Figura 418 – Ordenamento dos parâmetros de qualidade de água para a base de dados do IGAM/MG.



Para a porção do Espírito Santo (Figura 419), os parâmetros com maior número de desacordos com a legislação foram: coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez.

Figura 419 – Ordenamento dos parâmetros de qualidade de água para a base de dados do IEMA/ES.



A Figura 420 mostra, para cada uma das estações de monitoramento, os parâmetros de qualidade de água que apresentaram percentuais de desacordos iguais ou superiores a 20%, ou seja, que apresentaram desacordos em pelo menos 20% do período total monitorado. Os parâmetros de qualidade de água resultantes dessa análise foram: coliformes termotolerantes (CT), manganês total (Mn), cor verdadeira (Cor), ferro dissolvido (Fe), chumbo total (Pb), fósforo total (P), alumínio dissolvido (Al), arsênio total (As), sólidos em suspensão totais (SST) e turbidez (Turb). E corroboraram os resultados apresentados na Figura 418 e na Figura 419.

De acordo com a Figura 420, é possível observar a problemática da falta de esgotamento sanitário na região de estudo, tendo em vista os elevados percentuais de não conformidades de coliformes termotolerantes em todas as estações de monitoramento de qualidade de água.

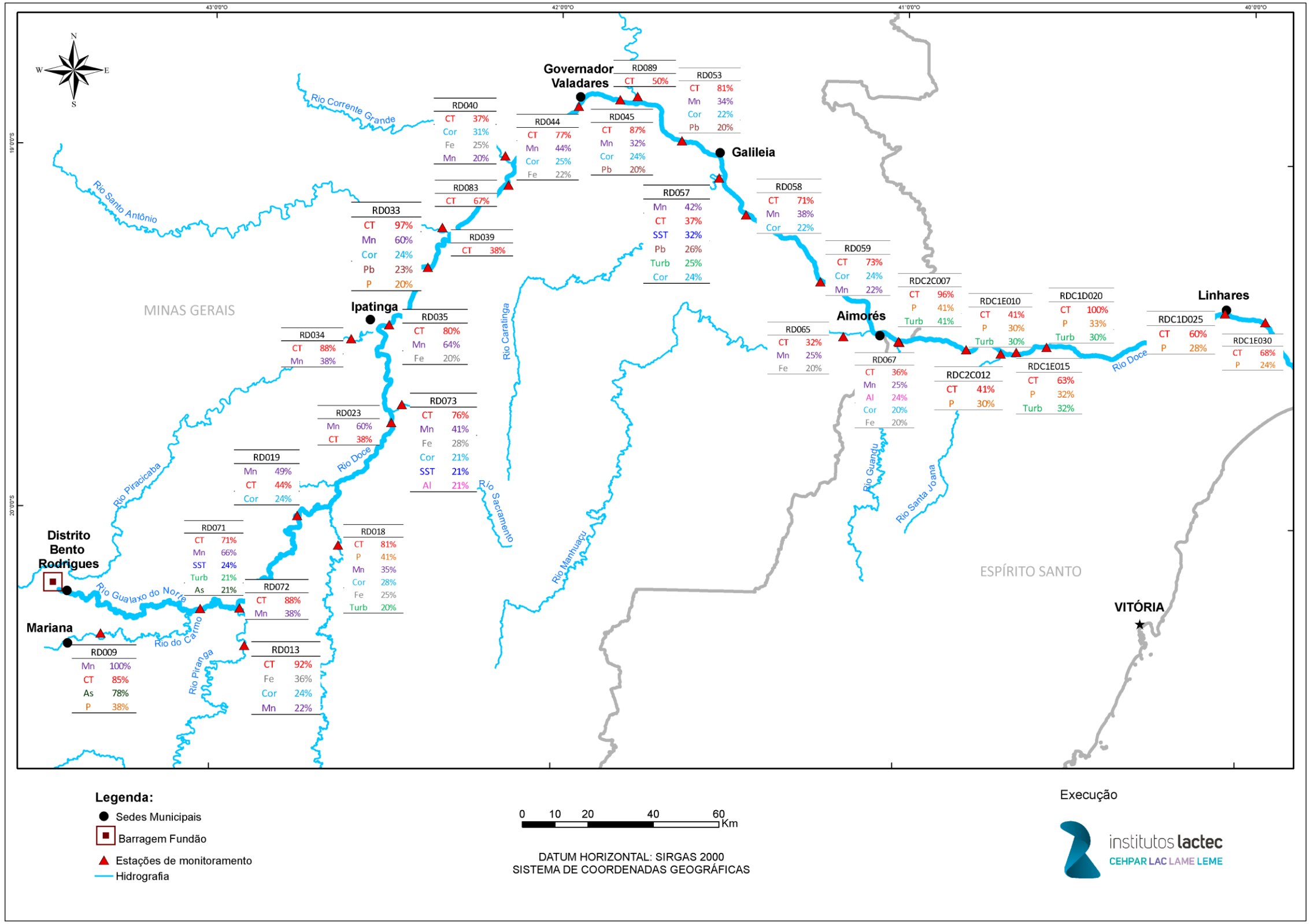
Percentuais de desacordos mais elevados de fósforo total foram observados principalmente na porção capixaba da região de estudo. Na porção mineira, percentuais mais relevantes foram observados nos rios do Carmo (RD009) e Casca (RD018), e no rio Doce, a jusante do município de Ipaba (RD033).

Em relação às concentrações de manganês total, desacordos relevantes foram registrados em todo o trecho do estado de Minas Gerais, lembrando que, no estado do Espírito Santo, essa variável não foi avaliada no período pré-desastre.

Percentuais de não conformidades mais significativos para o alumínio dissolvido foram registrados somente no ribeirão do Sacramento (RD073) e no rio Doce, entre Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES) (RD067).

Para o ferro dissolvido, observaram-se percentuais de desacordos mais significativos em diversos pontos da região de estudo: rio Piranga (RD013), rio Casca (RD018), ribeirão Sacramento (RD073), rio Corrente Grande (RD040) e rio Manhuaçu (RD065). No rio Doce, percentuais mais relevantes de desacordos foram observados nos municípios de Santana do Paraíso (RD035), Governador Valadares (RD044) e entre Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES) (RD067).

Figura 420 – Parâmetros de qualidade de água com percentuais de não conformidade mais expressivos ao longo da região de estudo.



Quanto ao arsênio total, não conformidades mais expressivas concentraram-se na porção de montante da região de estudo, no rio do Carmo (RD009 e RD071). Os altos valores registrados para o arsênio total estão possivelmente relacionados à exploração histórica de ouro na bacia do rio do Carmo (SILVA, 2013).

Em relação ao chumbo total, os desacordos mais significativos concentraram-se entre os municípios de Ipatinga e Galileia. Também no rio Caratinga, foi registrado percentual de desacordo mais expressivo (RD057).

Sólidos em suspensão totais apresentaram não conformidades mais relevantes nos tributários: rio do Carmo (RD071), ribeirão Sacramento (RD073) e rio Caratinga (RD057).

Percentuais de desacordos mais elevados de turbidez foram observados principalmente na porção capixaba. Na porção mineira, percentuais de não conformidades mais relevantes foram observados nos tributários: rio do Carmo (RD071), rio Casca (RD018) e rio Caratinga (RD057).

Para a variável cor verdadeira, observaram-se percentuais de não conformidades mais significativos em diversos pontos do trecho mineiro da região de estudo.

3.8.13 Resultados das variáveis biológicas da água

3.8.13.1 Resultados da avaliação da comunidade fitoplanctônica

O fitoplâncton é formado por organismos fotoautotróficos microscópicos que passam todo o seu ciclo de vida suspensos na coluna d'água (ESTEVES; SUZUKI, 2011). A importância ecológica do fitoplâncton reside no fato destes microrganismos constituírem o elo inicial da cadeia alimentar, sendo os principais responsáveis pelo sucesso biológico dos sistemas (REYNOLDS, 1984). Além disso, o fitoplâncton é um importante produtor primário, principalmente na região limnética dos ecossistemas aquáticos, sendo a sua produtividade primária controlada fundamentalmente pela disponibilidade de nutrientes e pela intensidade luminosa (WETZEL, 1990).

As microalgas constituem parcela dinâmica no ecossistema aquático e, pela elevada capacidade de reprodução e senescência, são capazes de responder de maneira rápida às alterações físicas, químicas, biológicas e hidrológicas introduzidas no ambiente. Por outro lado, mudanças na comunidade fitoplanctônica podem ocasionar modificações nos demais níveis tróficos aquáticos. Estão entre os mais bem distribuídos e utilizados indicadores de integridade biológica e da qualidade da água em rios e lagos (STOERMER; SMOL, 1999).

O crescimento dos organismos autotróficos em rios é, principalmente, dependente do suprimento adequado de energia luminosa e de nutrientes inorgânicos dissolvidos, já seleção, abundância e dominância de espécies são influenciadas por interações competitivas e por consumidores herbívoros. No entanto, as variáveis mais críticas estão relacionadas com as propriedades físicas da corrente de seus leitos. O fluxo d'água é a principal força controladora do aporte constante de material alóctone (restos de vegetação e de organismos terrestres, sedimento, populações de microrganismos autotróficos), materiais outros, introduzidos, que interferem na dinâmica temporal e espacial dos parâmetros habituais do ecossistema (JEFFRIES; MILLS, 1994). Portanto, alterações nas condições químicas, físicas e hidrológicas

do ecossistema estarão prontamente refletidas, qualitativa e quantitativamente na biocenose aquática.

O fitoplâncton na bacia do rio Doce

A bacia hidrográfica do rio Doce é considerada uma das mais importante da região Sudeste, pela extensa rede hídrica. Entretanto, pouco se conhece sobre a diversidade e densidade de espécies de microalgas presentes na região. A maior parte das pesquisas científicas realizadas na bacia foi desenvolvida nos mais de 239 lagos e lagoas naturais presentes na região do médio e baixo rio Doce. Esses estudos foram realizados com o objetivo de conhecer melhor os mecanismos de funcionamento de lagos tropicais, como: produção primária (ex., BARBOSA, 1979, 1981; BARBOSA; TUNDISI, 1980; FORTE-PONTES, 1980; TUNDISI et al., 1981; BARROS; SOUZA; BARBOSA, 2006, 2013; PETRUCIO; BARBOSA; THOMAS, 2005; PETRUCIO; BARBOSA; FURTADO, 2006), condições limnológicas (ex., HENRY; BARBOSA, 1989; HENRY et al., 1987; HENRY; FORTE-PONTES; TUNDISI, 1989; TUNDISI; SAIJO, 1997; MAIA-BARBOSA et al., 2010) e biodiversidade (ex., MAIA-BARBOSA et al., 2006).

Barbosa et al. (2013) relatam a ocorrência de 481 espécies para o fitoplâncton de 18 lagos (Aníbal, Carioca, Central, Dom Helvécio, Gambá, Gambazinho, Patos, Santa Helena, Águas Claras, Almécega, Amarela, Barra, Ferrugem, Ferruginha, Jacaré, Palmeirinha, Pimenta e Verde) amostrados trimestralmente entre agosto/2007 e maio/2008, distribuídas em 10 classes: *Zygnemaphyceae* (171), *Cyanophyceae* (101), *Chlorophyceae* (95), *Euglenophyceae* (43), *Bacillariophyceae* (42), *Dinophyceae* (8), *Xanthophyceae* (8), *Chrysophyceae* (6), *Cryptophyceae* (6) e *Oedogoniophyceae* (1). A maior densidade média de organismos foi constatada para o lago Gambazinho com 36.640 org/mL.

Estudos taxonômicos ou com lista de espécies são quase inexistentes. Huszar, Silva e Esteves (1990) analisaram a estrutura do fitoplâncton de 18 lagoas da região do Baixo Rio Doce, ES, registrando 198 espécies de microalgas. Barbosa e Padisak (2002) registraram cerca de 200 espécies de algas planctônicas para os lagos Carioca e Dom Helvécio. A comunidade foi representada principalmente por desmídias planctônicas, sendo os táxons mais abundantes: *Cosmarium bioculatum* Brébisson, *C. contractum* O. Kirchner, *C. tinctum* Ralfs, *Closterium aciculare* T. West, *Staurastrum laeve* Ralfs, *S. omeari* Archibald, *S. rotula* Nordstedt e *S. smithii* Teiling, além das cianobactérias *Cylindrospermopsis cuspis* Komárek & Kling e *C. raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju. Anos mais tarde, Barros, Souza e Barbosa (2006) registraram 119 espécies de algas planctônicas para o lago Dom Helvécio. Borics et al. (2005) analisaram os dinoflagelados presentes em seis lagos do médio rio Doce (Dom Helvécio, Carioca, Águas Claras, Amarela e Palmerinha), com a proposição de uma nova espécie, *Peridinium brasiliense* G. Borics & I. Grigorsky. Recentemente, Miranda

(2014) analisou a influência da piscicultura na comunidade fitoplanctônica dos lagos Aguiar, Palmas e Palminhas, no baixo rio Doce, Espírito Santo. Análises quali/quantitativas foram realizadas com amostras coletadas em período chuvoso (dezembro/2012 e janeiro/2013) e seco (junho/2013 e julho/2013), e um total de 34 espécies foi registrado.

Poucos estudos foram realizados nos ambientes reófilos da bacia do rio Doce. No relatório PELD/CNPq, Barbosa et al. (2013) relatam 132 espécies de algas encontradas em sete rios (Doce, Ipanema, Santa Bárbara, Piracicaba, Severo, Peixe e Caraça) amostrados entre 1999 e 2000, sendo as classes *Bacillariophyceae* e *Zygnemaphyceae* as mais representativas. Entretanto, o estudo não apresenta a listagem de espécies encontradas. Tremarin (2012), em estudo taxonômico das diatomáceas do gênero *Aulacoseira* para o Brasil, registrou a ocorrência de três táxons para o plâncton do rio Doce: *A. ambigua* (Gurnow) Simonsen*, A. granulata* (Ehrenberg) Simonsen var. *granulata* e *A. granulata* var. *angustissima* (O. Müller) Simonsen. A comunidade de algas planctônicas e epifíticas do rio Santa Maria do Doce (ES), afluente da margem direita do rio Doce, foi analisada em nível genérico por Mendes et al. (2014) e Mendes e Costa (2016) com base em amostras coletadas em cinco estações de amostragem em julho de 2013. Os locais amostrados apresentaram águas alcalinas (pH 8,89 a 9,60) e profundidade máxima entre 0,28 e 0,80 m. Um total de 130 táxons foi encontrado, sendo a classe *Bacillariophyceae* a mais representativa em riqueza (61 táxons) e os gêneros *Surirella* Turpin e *Gyrosigma* Hassal registrados como dominantes.

A comunidade de algas planctônicas no rio Doce e em seus afluentes foi monitorada pelo IGAM. Com base nos resultados das análises qualitativas e quantitativas realizadas trimestralmente por esse instituto, durante o período de janeiro/2010 a outubro/2015, a flora fitoplanctônica da região foi composta por 404 espécies (Tabela 153). Diatomáceas (classe *Bacillariophyceae*), clorofíceas (classe *Chlorophyceae*), desmídias (classe *Zygnemaphyceae*) e cianobactérias (classe *Cyanophyceae*) foram os principais grupos encontrados (Figura 421). Neste estudo foram monitorados o rio Doce (365 espécies) e nove afluentes: rio Piranga (RD013), rio Casca (RD018), rio Piracicaba (RD034), rio Santo Antônio (RD039), rio Corrente Grande (RD040), rio Caratinga (RD057), rio Manhuaçu (RD065), rio do Carmo (RD071) e rio Suaçuí Grande (RD089) (Tabela 153). Tais estações de monitoramento já foram descritas no item 3.8.2.1. A menor riqueza constatada para a maioria dos afluentes, provavelmente, é decorrente do menor número de análises realizadas nesses locais.

Tabela 153 – Listagem e ocorrência de espécies de algas planctônicas encontradas no rio Doce e seus afluentes.

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Chlorophyceae																					
Acanthosphaera sp.	x													x							
Actinastrum hantzschii	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x		x
Actinastrum sp.	x		x	x	x				x	x		x		x				x			
Ankistrodesmus bibraianus					x	x		x	x			x		x		x	x	x			
Ankistrodesmus densus		x			x	x		x	x	x		x		x		x					
Ankistrodesmus falcatus									x										x		

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Ankistrodesmus sp.	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x			x		x	x		x
Botryococcus sp.	x	x			x		x				x	x	x			x	x				
Bulbochaete sp.										x											
Chlamydomonas sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chlamydomonas sp.2		x		x										x					x	x	
Chlorella sp.														x							
Closteriopsis sp.					x			x													x
Coelastrum astroideum	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x	x	
Coelastrum cambricum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x						x			
Coelastrum microporum	x		x	x	x	x		x	x							x	x	x	x		
Coelastrum pulchellum														x							
Coelastrum reticulatum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Coelastrum sphaericum	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x		x			x	x			
Coelastrum sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x		
Crucigenia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		x
Crucigeniella cricifera														x							
Crucigeniella sp.																x					
Desmodesmus armatus													x	x							
Desmodesmus communis		x				x						x	x					x	x		
Desmodesmus denticulatus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x
Desmodesmus opoliensis	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Desmodesmus protuberans	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x		
Desmodesmus quadricauda	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
Desmodesmus spinosus			x	x									x		x				x		
Desmodesmus sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x		x	x	x	x
Dictyosphaerium ehrenbergianum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Dictyosphaerium pulchellum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Dictyosphaerium sp.	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	
Dimorphococcus lunatus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x		
Dimorphococcus sp.												x				x			x		
Elakatothrix sp.																x		x			
Eudorina elegans	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x			
Eudorina unicoca	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x			x			
Eudorina sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x		x	x	x		
Eudorina sp.2						x															
Eutetramorus fottii			x	x								x									
Eutetramorus sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eutetramorus sp.2										x						x					
Franceia sp.										x											
Golenkinia paucispina		x		x						x		x							x		
Golenkinia radiata	x		x		x	x	x	x	x	x		x					x	x	x		
Golenkinia sp.	x		x	x		x	x	x	x	x									x		
Gonium sp.									x			x						x			
Kirchneriella dianae												x								x	
Kirchneriella lunaris	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x		x	x		
Kirchneriella obesa	x				x	x		x	x		x	x	x					x	x		
Kirchneriella sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Kirchneriella sp.2																			x		
Lagerheimia sp.									x	x		x							x		x
Micractinium bornhemiense	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x					
Micractinium pusillum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		x
Micractinium sp.	x	x	x	x	x	x				x			x					x			
Microspora sp.	x																				
Monactinus simplex	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x			x	x	x	x

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Monoraphidium arcuatum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Monoraphidium contortum	x	x	x	x	x	x		x		x		x	x	x	x	x	x	x	x		x
Monoraphidium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x		x
Nephrocytium sp.						x	x			x	x										x
Oedogonium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Oocystis lacustris	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		
Oocystis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x		x
Pandorina morum					x				x										x		
Pandorina sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x		x
Pediastrum angulosum												x									
Pediastrum duplex	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pediastrum duplex f. *rectangulare*						x				x											
Pediastrum simplex var. *sturmii*									x			x						x			
Pseudodidymocystis sp.									x							x		x		x	
Pyrobotrys sp.	x				x						x	x									
Quadrigula sp.								x					x	x		x					
Scenedesmus acuane									x			x									
Scenedesmus acuminatus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Scenedesmus acutus	x																				
Scenedesmus arcuatus	x													x							
Scenedesmus bernardii		x										x		x							
Scenedesmus indicus														x							
Scenedesmus obtusus														x							
Scenedesmus ovalternus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x		
Scenedesmus sp.	x					x	x	x		x	x		x					x	x	x	
Schroederia cf. *setigera*				x						x								x			
Schroederia sp.		x		x		x			x	x		x		x							
Selenastrum bibraianum								x													
Selenastrum sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x		
Spermatozoopsis exultans			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x	x
Stauridium tetras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	
Tetraedron sp.	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x			x		
Tetrallantos lagerheimii	x		x			x	x	x	x	x	x					x					
Tetrallantos sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x							x		
Tetrastrum sp.						x	x		x	x		x									
Treubaria sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x		
Ulothrix sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
Chlorococcales N.I.	x																				
Chaetophoraceae N.I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	
Ulotrichaceae N.I.												x									
Zygnemaphyceae																					
Actinotaenium wollei											x										
Actinotaenium sp.	x		x		x	x		x	x	x	x	x	x			x	x		x	x	
Bambusina sp.		x				x									x	x					
Closterium gracile	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								x			
Closterium libellula	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x		x	x
Closterium lineatum						x		x	x												
Closterium lunula	x					x		x	x			x				x		x	x		
Closterium moniliferum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Closterium setaceum	x	x		x	x	x		x		x	x	x			x	x	x	x	x	x	
Closterium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Closterium sp.2	x	x	x			x	x			x			x	x	x	x		x	x	x	
Closterium sp.3	x							x			x		x	x	x			x		x	

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Cosmarium biretum														x							
Cosmarium botrytis	x										x		x								
Cosmarium contractum																x			x		
Cosmarium moniforme										x						x		x	x		
Cosmarium quadrum					x			x		x			x			x					
Cosmarium cf. *ralfsii*												x									
Cosmarium reniforme								x		x			x		x	x			x	x	x
Cosmarium cf. *speciosum*										x		x									
Cosmarium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cosmarium sp.2	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	
Cosmarium sp.3						x			x		x									x	
Cosmocladium sp.															x						
Desmidium aptogonum																		x	x		
Desmidium baileyi										x						x			x		
Desmidium grevillei											x										
Desmidium quadratum												x					x				
Desmidiium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x
Euastrum ansatum													x	x							
Euastrum binale			x										x								
Euastrum demticulatum															x						
Euastrum cf. *evolutum*															x						
Euastrum monocylum								x													
Euastrum cf. *spinulosum*																			x		
Euastrum sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
Euastrum sp.2		x					x							x	x						
Gonatozygon pilosum																			x		
Gonatozygon sp.			x	x					x	x		x			x		x		x		x
Haplotaenium sp.										x									x	x	
Hyalotheca dissiliens																	x				
Hyalotheca sp.	x											x			x	x		x	x		
Isthmochloron gracile		x				x	x		x	x		x									
Isthmochloron sp.														x							
Micrasterias laticeps												x									
Micrasterias papillifera											x										
Micrasterias pinnatifida										x		x			x			x	x		
Micrasterias truncata	x		x							x			x						x	x	
Micrasterias sp.			x	x		x	x		x	x	x				x	x		x	x	x	
Mougeotia sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
Netrium interruptum																				x	
Netrium sp.											x				x						
Onychonema sp.										x											
Penium margaritaceum	x										x										
Penium sp.	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x	x	x		x	x	x	
Pleurotaenium sp.		x				x	x	x	x		x	x				x	x	x	x		
Roya sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x			x
Spirogyra sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spirogyra sp.2			x				x			x								x	x		
Spirotaenia sp.	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x			x	x		x	x	
Spondylosium sp.						x															
Staurastrum crassus			x							x							x		x		
Staurastrum dickiei	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x				x			x		
Staurastrum grallatorium	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x		
Staurastrum laeve																x			x		
Staurastrum leptocladum		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x					
Staurastrum margaritaceum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Staurastrum muticum	x	x	x	x	x				x		x	x			x	x	x		x	x	
Staurastrum orbiculare	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x		
Staurastrum quadrangulare	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x	
Staurastrum rotula	x		x	x			x		x	x		x		x			x				
Staurastrum setigerum	x	x		x			x	x		x		x		x		x	x		x	x	
Staurastrum smithii		x																			
Staurastrum tetracerum	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x						x	x		
Staurastrum trifidum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x		
Staurastrum sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x		
Staurastrum sp.2				x		x						x							x		
Staurodesmus cuspidatus														x					x		
Staurodesmus dejectus					x														x		
Staurodesmus dickiei	x		x	x	x	x	x			x	x	x				x			x		
Staurodesmus sp.		x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x		x		x	x		
Teilingia granulata																					
Teilingia sp.															x		x		x	x	
Xanthidium sp.										x								x			
Zygnema sp.			x		x			x					x			x	x				
Peniaceae sp.			x					x			x					x					
Cyanophyceae																					
Anabaena sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
Aphanizomenon sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x									
Aphanocapsa sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x		x
Aphanocapsa sp.2														x							
Arthrospira cf. *platensis*																				x	
Asterocapsa sp.				x					x		x					x		x	x		x
Bacularia sp.				x				x													
Blennothrix sp.		x																	x		
Chroococcus sp.	x	x	x	x		x				x						x			x		
Coelomorum sp.					x				x		x		x	x			x				
Coelosphaerium sp.								x	x	x	x										x
Cuspidothrix sp.												x		x							
Cylindrospermopsis/Raphidiopsis	x	x	x		x					x		x	x	x		x				x	
Cylindrospermopsis sp.														x							
Dolichospermum cf. *planctonicum*	x	x	x		x	x	x	x	x			x									
Dolichospermum sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x			x		
Epigloeosphaera sp.																				x	
Geitlerinema splendidum	x		x		x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x		x		x
Geitlerinema sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Geitlerinema sp.2										x			x								
Komvophoron sp.	x			x	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x	x	x		
Leptolyngbya sp.		x				x		x	x		x		x		x						
Limnothrix sp.				x	x			x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	
Lyngbya sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x
Merismopedia glauca	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Merismopedia tenuissima		x	x		x	x	x	x	x	x				x	x		x			x	
Merismopedia sp.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			x		
Microcystis aeroginosa	x									x				x							
Microcystis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x			x		
Nostoc sp.												x									
Oscillatoria limosa												x									
Oscillatoria princeps					x	x	x	x	x	x		x									
Oscillatoria sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

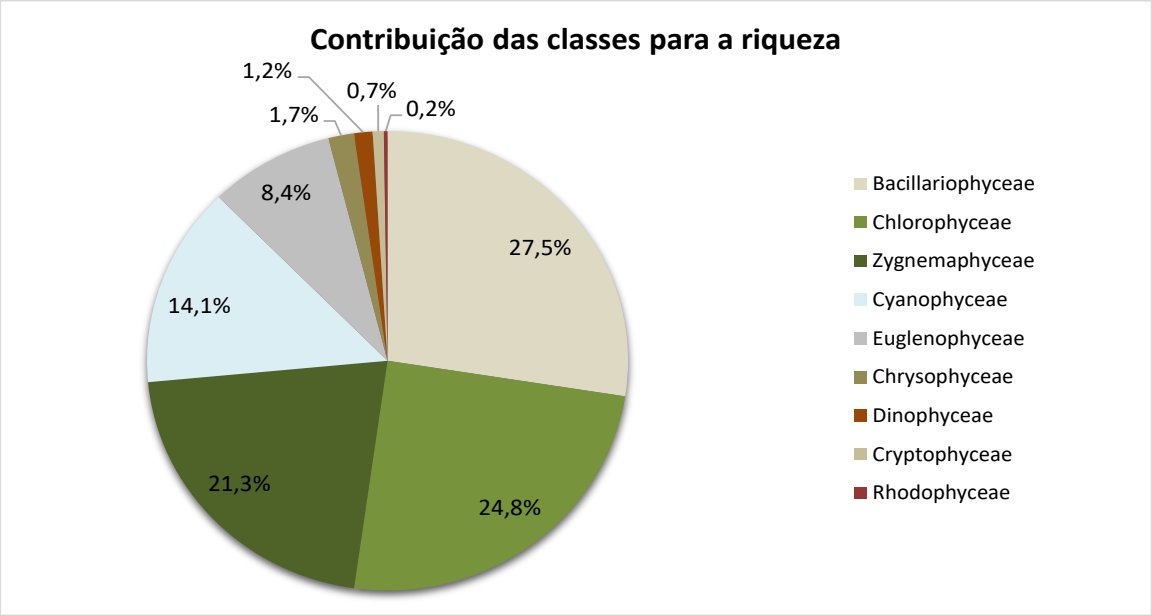
Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Oscillatoria sp.2			x		x	x	x	x	x	x		x								x	
Phormidium cf. *tergestinum*										x											
Phormidium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Phormidium sp.2				x	x	x	x	x		x	x	x	x	x				x		x	x
Phormidium sp.3										x											
Planktothricoides sp.												x									
Planktolyngbya sp.	x	x	x	x	x			x			x				x			x		x	
Planktothrix agardhii									x								x	x			
Planktothrix isothrix						x				x					x		x				
Planktothrix sp.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x		
Pseudanabaena galeata														x							
Pseudoanabaena sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Pseudoanabaena sp.2												x									
Radiocystis sp.	x	x	x			x	x	x	x	x		x						x	x		
Scytonema sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x
Sphaerocavum brasiliense	x									x				x							
Spirulina sp.									x												
Tolipothrix sp.												x									
Trichonema sp.									x	x											
Chroococcales N.I.		x		x				x	x	x							x		x		
Nostocacea N.I.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x			x		
Phormidiaceae N.I.					x				x										x		
Pseudoanabaenaceae N.I.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
Rivulariceae N.I.						x															
Bacillariophyceae																					
Achnanthes inflata	x	x									x										
Achnanthes sp.	x	x		x		x	x	x			x	x		x				x	x		
Achnanthidium exiguum				x									x			x					
Achnanthidium cf. *minutissimum*			x	x		x	x		x	x	x		x			x	x	x	x	x	x
Achnanthidium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Achnanthidium sp.2	x					x	x								x			x			
Amphipleura sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Amphora ovalis									x												
Amphora sp.		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x		x			
Aulacoseira ambigua	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x		x
Aulacoseira ambigua f. *spiralis*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x		x
Aulacoseira granulata	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x
Aulacoseira granulata var. *angustissima*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aulacoseira cf. *muzzanensis*												x									
Aulacoseira tenella							x														
Aulacoseira sp.	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x				x		x	x		
Aulacoseira sp.2	x		x	x						x											
Bacillaria sp.				x												x					
Caloneis sp.			x		x	x		x													
Capartogramma sp.	x																	x			
Cocconeis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Craticula sp.	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x		x
Cyclotella sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cymbella charrua	x	x		x							x		x	x	x	x	x			x	x
Cymbella tumida	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cymbella sp.	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x
Cymbopleura sp.		x			x	x		x	x	x	x				x	x		x	x	x	

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Diploneis sp.			x	x			x	x						x				x		x	
Discostella stelligera	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
Discostella sp.																				x	
Encyonema sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Encyonema sp.2															x	x		x		x	x
Eunotia bilunaris	x	x	x						x			x						x			
Eunotia cf. *bilunaris*					x	x			x	x	x	x	x		x	x		x	x		x
Eunotia flexuosa																	x				
Eunotia cf. *indica*		x																			
Eunotia lanceolata															x						
Eunotia lineolata						x										x					
Eunotia cf. *minor*						x							x								
Eunotia cf. *praerupta*									x		x										
Eunotia cf. *rabenhorstii*											x										
Eunotia serra											x										
Eunotia cf. *trigibba*											x										
Eunotia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eunotia sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		
Eunotia sp.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		
Fragilaria capucina													x							x	
Fragilaria sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x		
Fragilaria sp.2			x																		
Frustulia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		
Gomphonema augur	x	x	x		x	x			x	x	x	x						x			
Gomphonema gracile	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x		
Gomphonema lagenula															x				x	x	
Gomphonema cf. *laticolum*						x	x	x				x						x	x		
Gomphonema parvulum	x																				
Gomphonema pseudoaugur									x										x		
Gomphonema turris	x	x			x		x		x	x		x						x	x		
Gomphonema sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gomphonema sp.2	x				x				x						x	x					
Gyrosigma acuminatum		x		x	x	x				x		x	x			x		x		x	
Gyrosigma sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gyrosigma sp.2														x							
Hantzschia amphioxys															x					x	
Hantzschia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x
Hydrosera sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Luticola sp.	x	x		x	x	x	x	x		x	x				x			x	x		
Melosira varians	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Melosira sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	
Navicula sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Navicula sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Neidium sp.	x	x		x	x			x	x	x	x			x	x	x		x			x
Nitzschia palea	x											x			x			x			
Nitzschia reversa	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Nitzschia sigmoidea		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x		x	x		x
Nitzschia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitzschia sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitzschia sp.3									x												
Pinnularia borealis												x									
Pinnularia cf. *divergens*		x										x	x		x	x					
Pinnularia cf. *gibba*	x	x			x			x		x	x							x			
Pinnularia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pinnularia sp.2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			x	x		x

Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Pinnularia sp.3														x							x
Placoneis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x
Planothidium sp.						x		x	x			x									x
Pleurosigma sp.					x																
Pleurosira laevis	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
Pleurosira sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x	x	x
Psammothidium sp.											x										
Rhopalodia sp.											x							x			
Stauroneis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x						x	x	x	
Staurosira sp.					x																
Stenopterobiacurvula								x													x
Stenopterobia sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Surirella angusta						x			x									x	x		
Surirella guatimalensis	x					x				x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
Surirella linearis		x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Surirella robusta	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
Surirella tenera	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Surirella sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Surirella sp.2	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Surirella sp.3	x					x	x		x	x				x		x			x		
Synedra goulardii	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Synedra sp.	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x				x	x			x	x	
Terpsinoe musica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Terpsinoe sp.								x													
Tryblionella sp.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x
Ulnaria acus	x											x							x		
Ulnaria ulna	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Urosolenia longiseta										x											
Urosolenia sp.																	x		x		
Chrysophyceae																					
Dinobryon bavaricum												x			x		x				
Dinobryon sertularia			x		x	x		x				x		x			x		x		
Dinobryon sp.								x							x	x					
Mallomonas sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Mallomonas sp.2	x	x			x		x	x	x	x											
Synura uvella												x									
Synura sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Dinophyceae																					
Ceratium sp.	x	x	x	x																	
Gymnodinium sp.	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x		x	x	x		x	
Peridinium cinctum	x																				
Peridinium pusillum										x											
Peridinium sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	
Euglenophyceae																					
Euglena acus											x										
Euglena fusiformis	x											x									
Euglena mutabilis					x						x										
Euglena ovum					x																
Euglena polymorpha	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	x			
Euglena salina	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x		
Euglena viridis					x		x		x	x		x					x	x			
Euglena sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Euglena sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x		
Euglena sp.3	x		x				x					x									
Euglena sp.4									x												

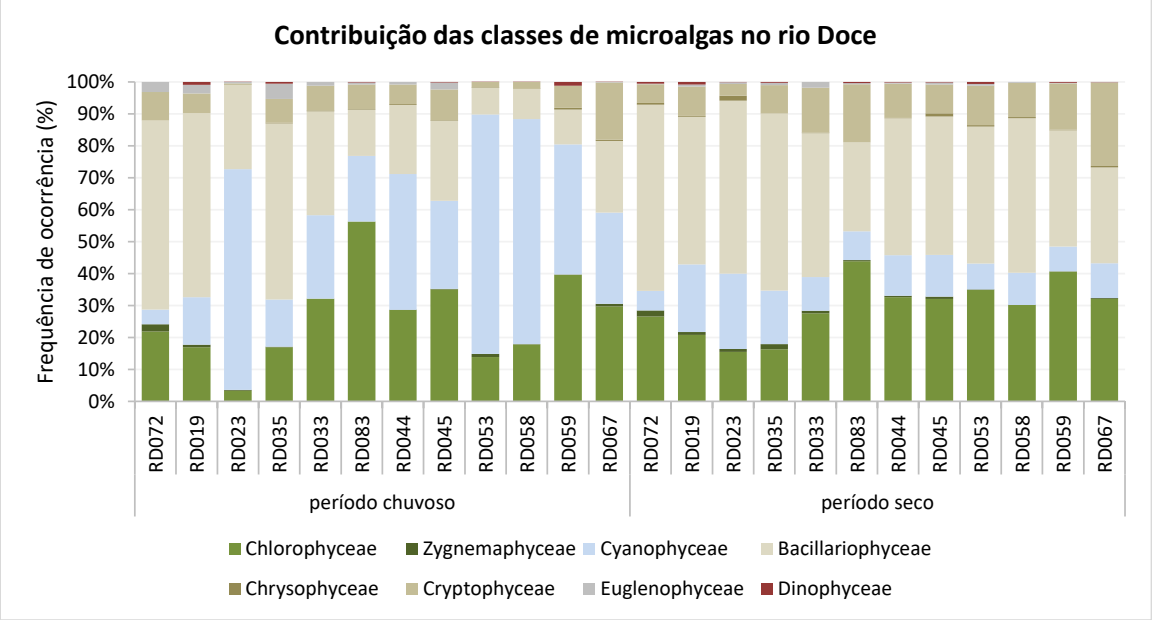
Amostra	rio Doce												afluentes								
Táxon	RD019	RD023	RD033	RD035	RD044	RD045	RD053	RD058	RD059	RD067	RD072	RD083	RD013	RD018	RD034	RD039	RD040	RD057	RD065	RD071	RD089
Lepocinclis acus		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x					x		x		
Lepocinclis ovum					x										x		x				
Lepocinclis oxyuris						x	x	x		x											
Lepocinclis spirogyra					x		x	x	x				x						x		
Lepocinclissalina	x	x	x	x							x	x									
Lepocinclis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lepocinclis sp.2		x																x			
Monomorphina sp.		x								x											
Phacus contortus									x												
Phacus longicauda		x	x		x		x	x	x	x								x	x		x
Phacus orbicularis	x				x				x	x		x									
Phacus pleuronectes			x	x	x	x		x	x	x	x	x									
Phacus suecicus												x						x			
Phacus tortus					x		x	x	x	x		x						x			
Phacus sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		
Strombomonas sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x				
Trachelomonas acanthophora				x																	
Trachelomonas armata	x	x		x	x	x			x	x	x	x						x	x		x
Trachelomonas hispida						x													x		
Trachelomonas oblonga	x																				
Trachelomonas volvocina	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		x	x
Trachelomonas volvocinopsis				x								x						x			
Trachelomonas sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cryptophyceae																					
Cryptomonas erosa	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	
Cryptomonas sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cryptomonas sp.2	x																x				
Rhodophyceae																					
Batrachospermaceae N.I.											x										
RIQUEZA TOTAL	**204**	**190**	**186**	**183**	**200**	**209**	**183**	**199**	**213**	**221**	**182**	**223**	**123**	**139**	**133**	**170**	**115**	**190**	**204**	**115**	**105**
Número de observações	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**24**	**9**	**9**	**9**	**17**	**9**	**24**	**17**	**9**	**9**

Figura 421 – Contribuição das classes de microalgas para a riqueza de espécies registrada no rio Doce e seus afluentes.



Considerando os dados obtidos nas análises quantitativas (ind/mL) realizadas pelo IGAM entre 1997 e outubro de 2015, observa-se que as cianobactérias e algas verdes (*Chlorophyceae*) foram os principais constituintes da comunidade fitoplanctônica do rio Doce, no período chuvoso (Figura 422). Entretanto, no período de seca ocorreu uma maior contribuição do grupo das diatomáceas (*Bacillariophyceae*) juntamente com as algas verdes.

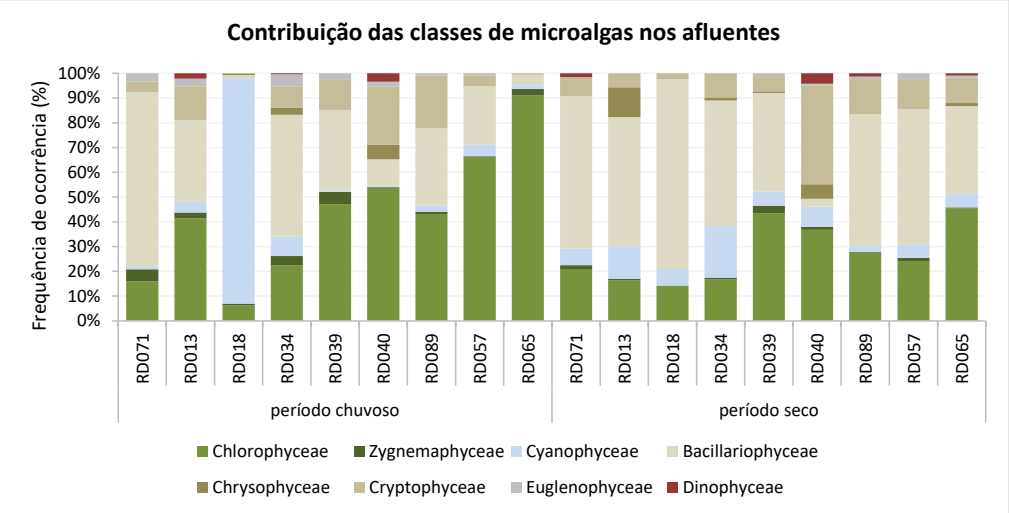
Figura 422 – Contribuição relativa das classes de algas para a composição da comunidade nas estações de monitoramento ao longo do rio Doce durante os períodos chuvoso e seco.



De maneira geral, o fitoplâncton presente nos afluentes do rio Doce foi formado, principalmente, por algas verdes (Chlorophyceae) no período chuvoso e, por diatomáceas, no período seco (Figura 423). Exceção se registrou para o rio Casca (RD018), onde as cianobactérias constituíram importante parcela da comunidade no período chuvoso. As algas

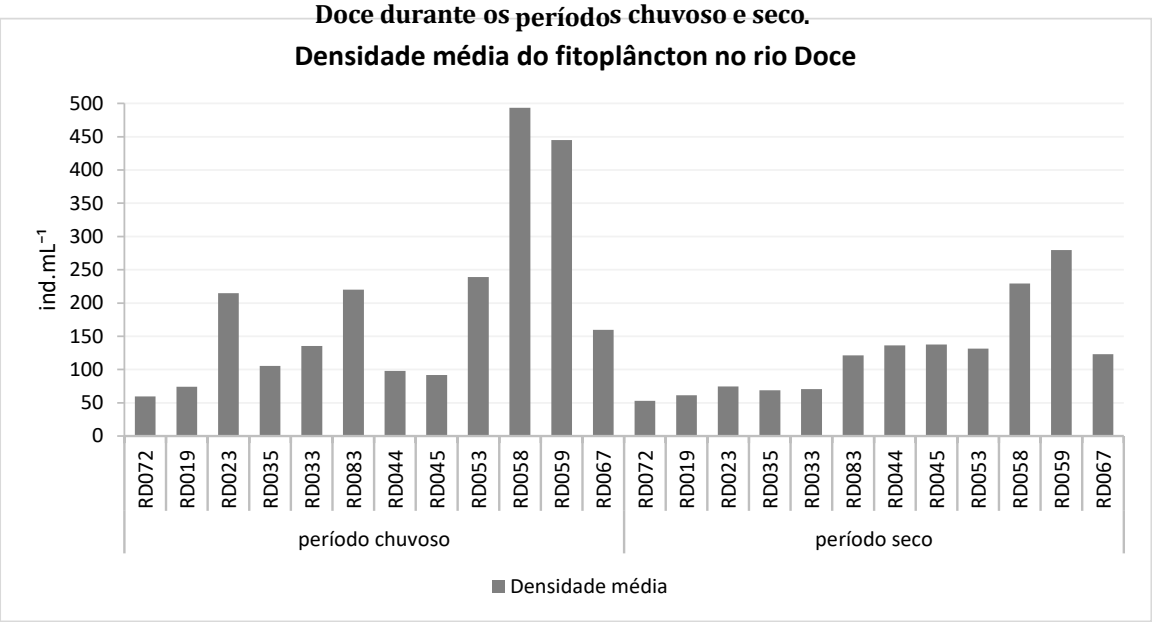
flageladas (*Chrysophyceae*, *Cryptophyceae*, *Euglenophyceae* e *Dinophyceae*) estiveram presentes em quase todas as estações avaliadas (Figura 423). Os fitoflagelados são organismos oportunistas, colonizadores, que apresentam alta taxa de crescimento e tolerância a estresse ambiental estabelecido. Podem ocorrer em várias épocas do ano, aproveitando-se de condições ambientais adversas (OLRIK, 1994).

Figura 423 – Contribuição relativa das classes de algas para a composição da comunidade nas estações de monitoramento nos afluentes durante os períodos chuvoso e seco.



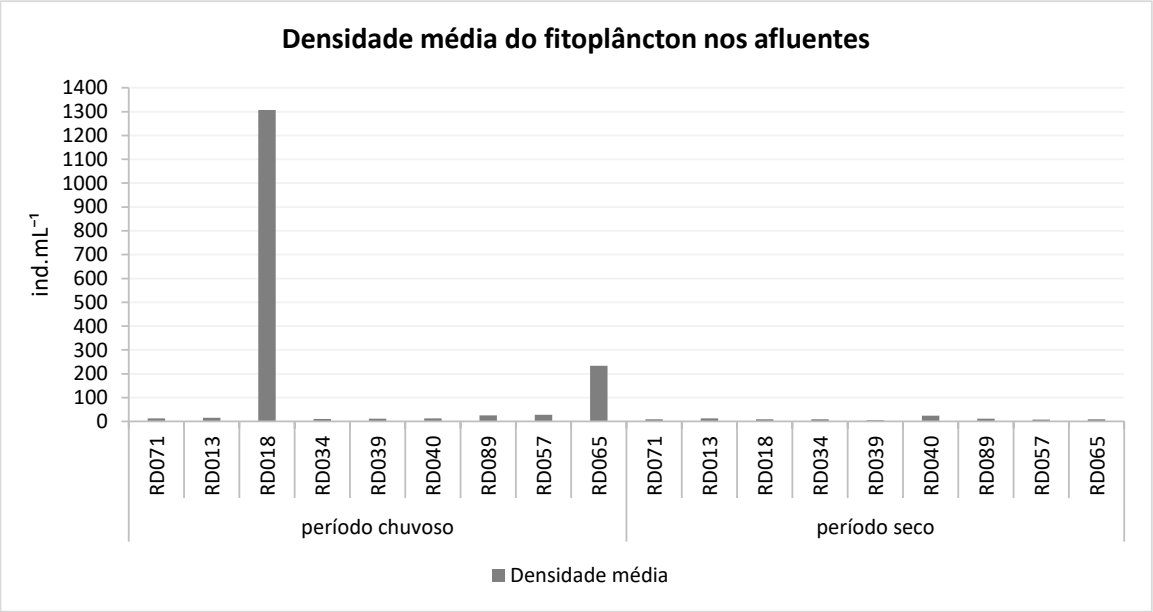
Em média, a densidade de microalgas presentes no rio Doce foi maior no período chuvoso (194,7 ind/mL) do que no seco (123,9 ind/mL) (Figura 424). As estações RD058 e RD059 apresentaram as maiores densidades em ambos os períodos (Figura 424).

Figura 424 – Densidade média de indivíduos encontrada nas estações avaliadas ao longo do rio Doce durante os períodos chuvoso e seco.



A densidade de organismos registrada nos afluentes foi inferior à do rio Doce, exceto no rio Casca (RD018) e rio Manhuaçu (RD065), que apresentaram valores mais elevados (densidade média 1.307 ind/mL e 233 ind/mL, respectivamente) no período chuvoso (Figura 425). Assim como constatado no rio Doce, os afluentes apresentaram densidade média mais elevada no período chuvoso (184 ind/mL) e menor no seco (11 ind/mL) (Figura 425).

Figura 425 – Densidade média de indivíduos encontrada nas estações avaliadas nos afluentes do rio Doce durante os períodos chuvoso e seco.



Alguns valores de clorofila-a mensurados no rio Doce pelo IGAM, entre 1997 e outubro de 2015, foram mais elevados do que o limite disposto pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos d'água de Classe 2 (≤ 30 µg/L) (Figura 426). O valor máximo, de 143,65 µg/L, foi registrado em julho/2010, na estação RD059, no município de Resplendor. Entretanto, os valores médios de clorofila-a ficaram abaixo de 13 µg/L, sendo mais elevados nas estações presentes no município de Conselheiro Pena (RD058) e Resplendor (RD059) (Figura 426). Também, constatou-se que no período chuvoso (outubro a março) as medianas foram superiores às do período seco (abril a setembro) (Figura 427).

Figura 426 – Valores médios (x), mediana (linha), mínimos e máximos (barra) de clorofila-a ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.

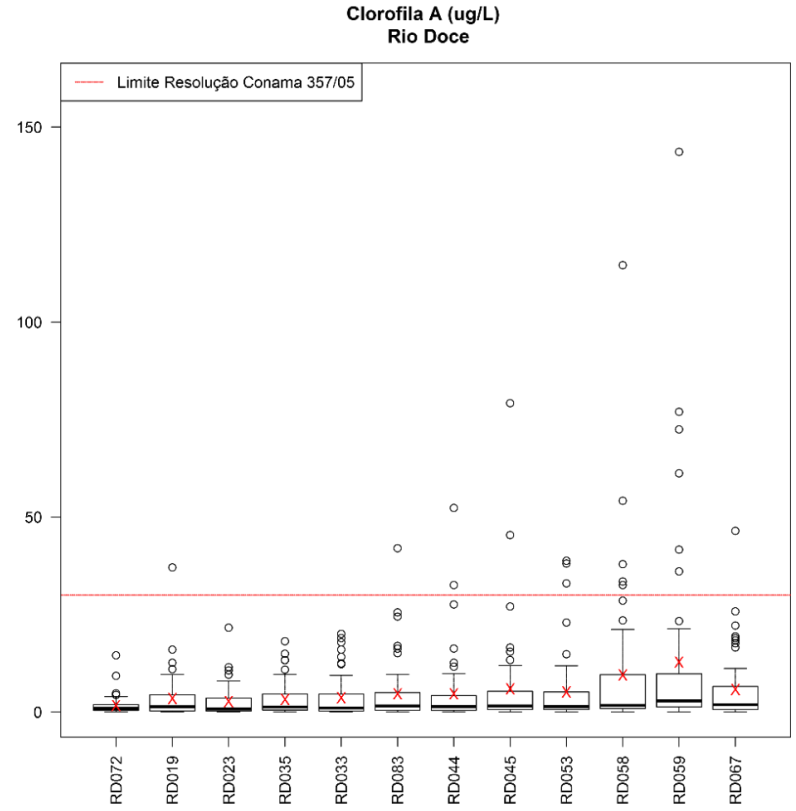
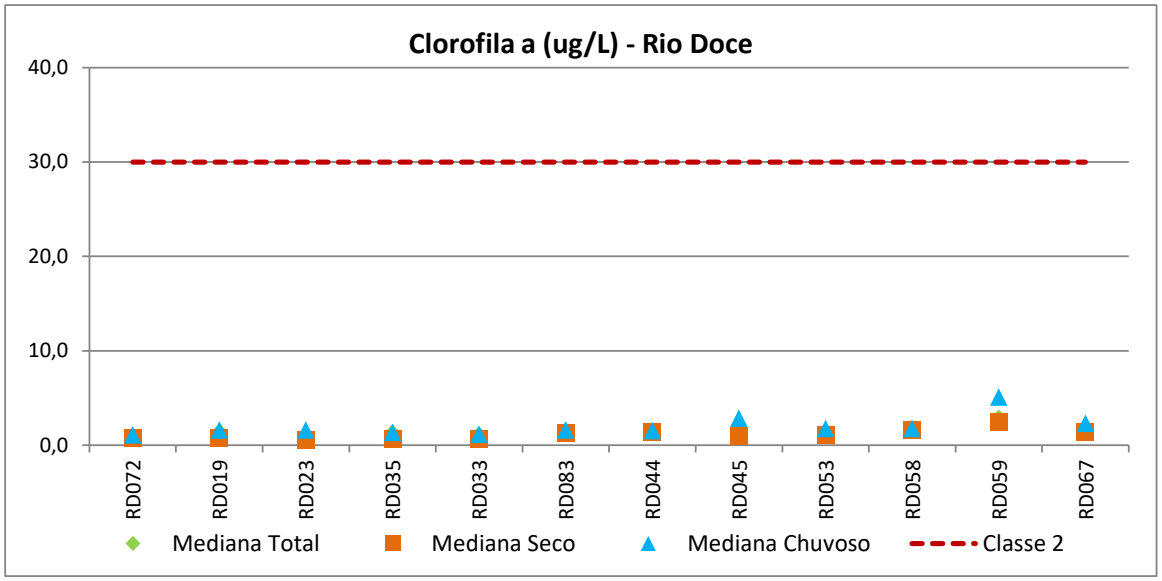


Figura 427 – Medianas dos valores de clorofila-a para os períodos total, seco e chuvoso ao longo das estações de monitoramento do rio Doce.



Nas estações monitoradas nos tributários do rio Doce, poucos valores de clorofila-a estiveram em desacordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, com valor máximo chegando a 58,74 µg/L, no rio Ribeirão Sacramento (RD073) em janeiro/2013 (Figura 428).

O rio Suaçuí Grande (RD089) apresentou o maior valor médio de clorofila-a (7,3 µg/L) e o rio Santo Antônio (RD039) o menor (1,7 µg/L) (Figura 428). Assim como no rio Doce, as medianas foram mais elevadas no período chuvoso (Figura 429).

Figura 428 – Valores médios (x), mediana (linha), mínimos e máximos (barra) de clorofila-a nas estações de monitoramento nos afluentes do rio Doce.

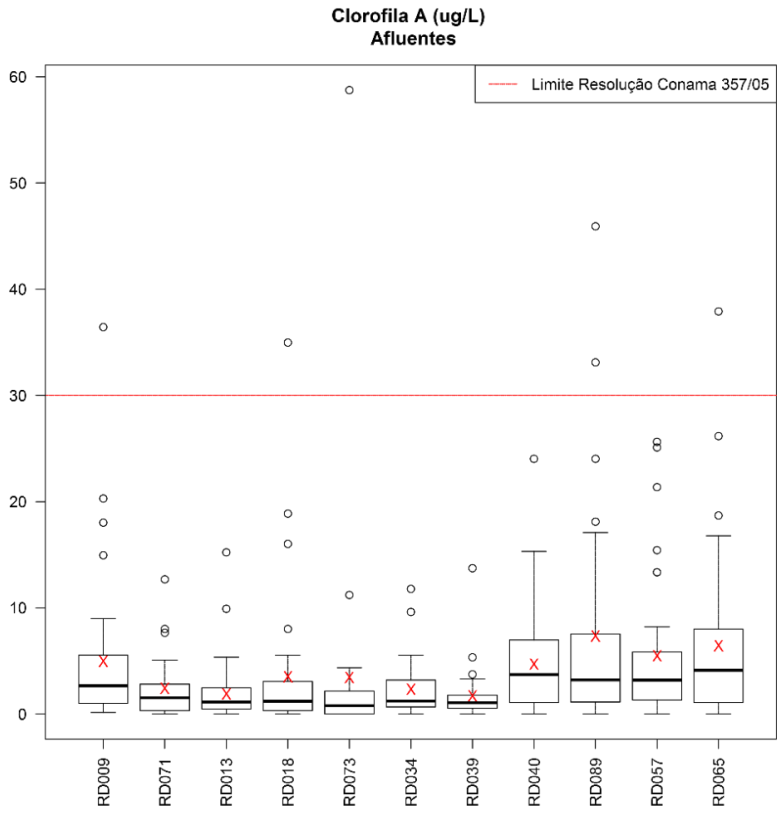
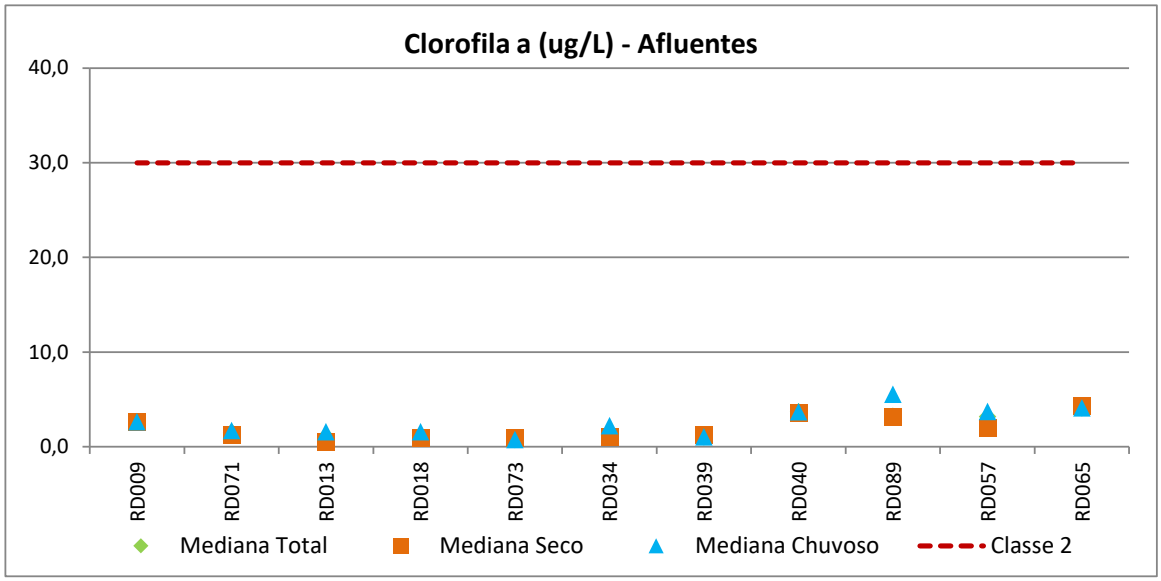


Figura 429 – Medianas dos valores de clorofila-a para os períodos total, seco e chuvoso nas estações de monitoramento nos afluentes do rio Doce.

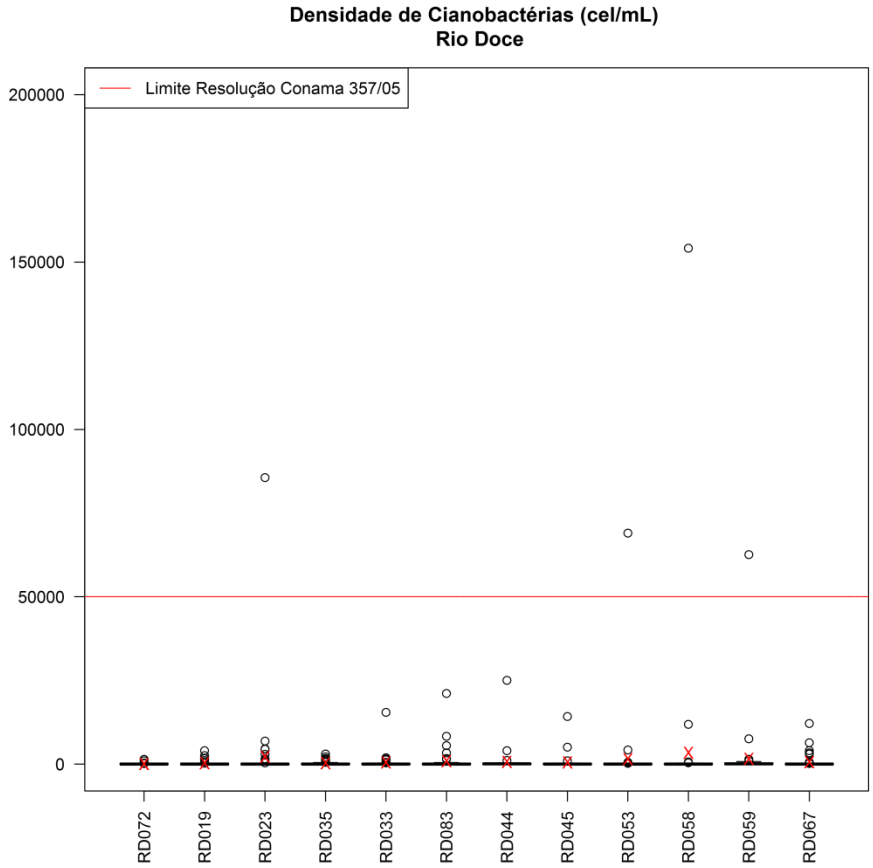


Cianobactérias potencialmente tóxicas

Entre as 59 espécies de cianobactérias registradas nas análises do IGAM (Tabela 153), 27 são citadas como potenciais produtoras de toxinas na literatura. *Anabaena, Aphanizomenon, Arthrospira, Cylindrospermopsis, Cuspidothrix, Dolichospermum, Lyngbya, Planktothrix, Phormidium, Nostoc, Oscillatoria, Microcystis, Radiocystis, Merismopedia tenuissima* e *Pseudanabaena galeata* podem produzir toxinas com efeitos hepatotóxicos e/ou neurotóxicos (PANOSSO et al., 2007; TEDESCO; CLERCIN, 2011; HODOKI et al., 2012; CETESB, 2013; RANGEL et al., 2014). Além disso, todas as cianobactérias contêm lipopolissacaríodeos na composição de suas membranas celulares, os quais podem causar irritação e lesões quando em contato com a pele e mucosas (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006).

Densidades celulares elevadas de cianobactérias foram constatadas nas análises quantitativas do IGAM para o rio Doce, com valor máximo de 154.120 cél/mL registrado na estação localizada no município de Conselheiro Pena (RD058), em outubro/2012 (Figura 430). Entretanto, os valores médios estiveram abaixo do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (densidade de cianobactérias até 50.000 cél/mL – indicada pela linha vermelha observada na Figura 430).

Figura 430 – Densidade celular (cél.mL^{-1}) das cianobactérias registradas no rio Doce.

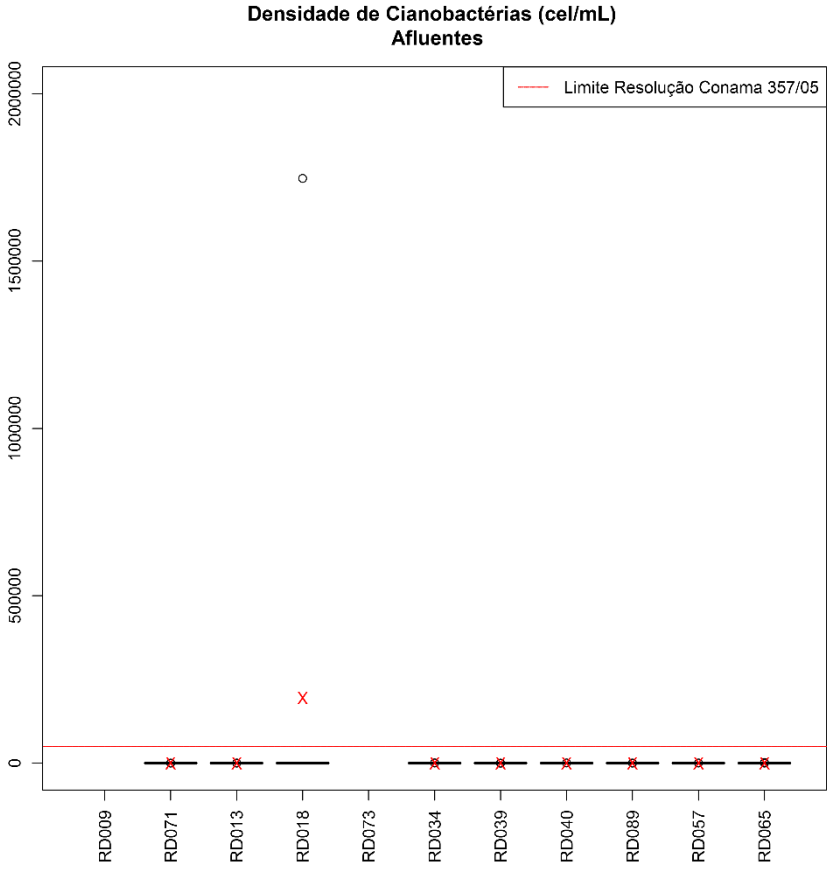


Quatro eventos de floração de cianobactérias foram registrados no rio Doce (Figura 430), e estes foram ocasionados por espécies potencialmente tóxicas: *Cylindropermosis/Raphidiopsis* (RD023: 85.354 cél/mL, em outubro/2015), *Dolichospermum*

planctonicum (RD053: 69.022 cél/mL, em outubro/2012; RD058: 153.198 cél/mL, em outubro/2012; RD059: 61.323 cél/mL, em outubro/2012).

Nos afluentes do rio Doce, apenas o rio Casca (RD018) apresentou desacordo com o limite legislado, apresentando densidade celular de cianobactérias de até 1.746.678 cél/mL, em outubro/2015, e média de 194.209 cél/mL (Figura 431). As espécies *Cylindrospermopsis/Raphidiopsis* e *Cuspidothrix* sp. foram as principais formadoras de floração no rio Casca.

Figura 431 – Densidade celular (cél.mL^{-1}) das cianobactérias registradas nos afluentes do rio Doce.



Jardim et al. (2014) analisaram a ocorrência de cianobactérias em dez estações no rio Doce, monitoradas pelo IGAM de 2008 a 2012. Os autores constataram um aumento gradativo na densidade desses organismos no sentido montante-jusante, e uma associação dos períodos de maior densidade celular com a redução da temperatura da água, turbidez e concentração de fósforo total aliada a condições de período estival. Segundo os dados da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), obtidos de 2005 a 2012, e ANA (2012), as florações de cianobactérias no rio Doce foram ocasionadas por *Cylindrospermopsis raciborskii* em 2005 e 2009, *Aphanocapsa* sp. em 2007, *Dolichospermum palnctonicum* e *D. solitarium* em 2010, 2011 e 2012 (JARDIM et al., 2014).

O monitoramento das cianobactérias de ambientes lóticos da baia do rio Doce é realizado pelo IGAM, Copasa, Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE) e Companhia

Espírito Santense de Saneamento (Cesan). Em 2012, a ANA avaliou os dados obtidos por esses órgãos ambientais e constatou que a densidade de cianobactérias nos rios afluentes era baixa (<1.000 cél/mL) no trecho mineiro e elevada no trecho capixaba (até 41.812 cél/mL), principalmente no córrego das Flores e rios do Peixe, Guandu e Santa Luzia. No rio Doce foi registrada densidade celular de até 91.336 cél/mL, no trecho da sub-bacia do rio Suaçuí, em novembro/2008 e de 58.736 cél/mL, no trecho da sub-bacia do rio Caratinga em novembro/2011. Segundo a ANA (2016), as florações de cianobactérias são eventos recorrentes na bacia do rio Doce, com ocorrência em seu curso principal e bacias afluentes, especialmente no período de julho a dezembro.

Conforme citado anteriormente, a bacia hidrográfica do rio Doce é uma das mais relevantes da região Sudeste. Entretanto, seus cursos d'água vêm sofrendo impactos com a poluição e o desmatamento das margens que, por sua vez, ocasionam processos de erosão e assoreamento do rio (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a; ANA, 2016).

3.8.13.2 Resultados da avaliação da comunidade zooplanctônica

O zooplâncton é um grande grupo de organismo presentes nos ecossistemas aquáticos. Esses organismos vivem na coluna da água, e apresentam capacidade natatória limitada. Em água doce, os principais componentes do zooplâncton são: microcrustáceos (copédodes e cladóceros); rotíferos e protozoários. Podem ser divididos ainda em: microzooplâncton – protozoários e rotíferos, mesozooplâncton – microcrustáceos e macrozooplâncton – larvas de insetos e misidáceos, entre outros (TUNDISI; TUNDISI, 2008). A maior parte dos organismos possui tamanhos que variam de 0,3 mm a 0,5 mm em ambiente límnico (ALCARAZ; CALBET, 2003; TUNDISI; TUNDISI, 2008).

O Filo Rotifera, encontra-se, em sua grande maioria, em água doce. A maior parte dos rotíferos é solitária, livre natante ou rastejante, mas existem algumas espécies sésseis e outras coloniais. Rotíferos são predominantemente partenogenéticos, ou seja, não precisam do macho para se reproduzir, gerando descendentes sem que o óvulo seja fecundado. Quando ocorre a reprodução sexuada, com macho e fêmea, o macho apresenta-se diminuto. No caso da Classe Bdelloidea, nunca foram descritos machos. Essa estratégia reprodutiva confere ao grupo um grande sucesso adaptativo (RUPERT; BARNES, 1996). Existem três Classes dentro do Filo Rotifera, sendo dois deles de água doce: Monogononta – maior grupo de rotíferos; Bdelloidea – espécies nadadoras e rastejantes. *Habitat* tipicamente bentônico, mas comumente são encontrados no plâncton (RICCI; MELONE, 2000). A Subordem Cladocera é um grupo de microcrustáceos restritos quase que exclusivamente à água doce. Os cladóceros são partenogenéticos, e na maior parte do tempo são encontradas apenas fêmeas (ELMOOR-LOUREIRO, 1997). A Classe Copepoda é o maior grupo de microcrustáceos, sendo a maior parte das espécies, marinha. Algumas espécies são encontradas em água doce, e estão divididas em ciclopoides e calanoides. A Ordem Calanoida é composta de animais filtradores, e os animais da Ordem Cyclopoida são predadores. A ocorrência de espécies de uma ou outra Ordem podem indicar alguns aspectos da qualidade da água (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

O zooplâncton é considerado o grupo mais importante que liga a produção primária aos grandes carnívoros, sendo sua principal fonte de alimento o fitoplâncton (ALCARAZ; CALBET, 2003; TUNDISI; TUNDISI, 2008).

A taxa de crescimento e reprodução desses organismos depende de fatores ambientais, como temperatura da água, alimento disponível, concentração de oxigênio dissolvido, entre outros fatores da qualidade da água. A composição de espécies e a abundância relativa dependem ainda do ciclo reprodutivo, coexistência com outras espécies, impactos de predação, entre outros. Os organismos apresentam crescimento rápido e alta capacidade de dispersão e colonização. Algumas espécies podem produzir ovos de resistência, que podem permanecer em sedimentos secos por longos períodos (até 300 anos) e posteriormente resultar em organismos viáveis. A presença desses ovos de resistência é um fenômeno extremamente importante para a sucessão e colonização de espécies do zooplâncton (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Zooplâncton na bacia do Rio Doce

A grande maioria dos dados encontrados referiu-se às lagoas marginais, principalmente aquelas localizadas dentro do Parque Estadual do Rio Doce (PERD). Esses trabalhos foram avaliados devido às importantes informações acerca da ocorrência de espécies e características destas na região, que poderão auxiliar na realização do diagnóstico do dano ambiental posteriormente. Entre os corpos hídricos considerados para a linha-base das águas superficiais, foram encontrados dados para o rio do Carmo, para o médio rio Doce e para o rio Piracicaba.

A compilação de todas as informações sobre o zooplâncton da bacia do rio Doce resultou em 337 táxons.

Na área de abrangência deste estudo, considerando os trechos de rios e lagoas marginais, foram registradas 307 espécies (sendo que a Subclasse Bdelloidea foi incluída, porém sem identificação de espécies, e não foram considerados náuplios e copepoditos de microcrustáceos). Para os corpos hídricos considerados para o monitoramento da qualidade da água (trechos de rios), foram encontradas 82 espécies, sendo 48 de rotíferos, 19 de cladóceros e 13 de copépodes. Tais espécies estão distribuídas entre o rio do Carmo, rio Doce, e rio Piracicaba (Tabela 154) (BONECKER et al., 1996; BRANDÃO et al., 2002; MENDEZ; MAIA-BARBOSA, 2002; MORETTO, 2001; ESKINAZI-SANT'ANNA et al., 2005; MAIA-BARBOSA; PEIXOTO; GUIMARÃES, 2008; SANTOS-WISNIEWSKI et al., 2011; SILVA, 2013; LOPES, 2014).

Entre todas as espécies identificadas, duas delas são exóticas e estão destacadas na Tabela 154 com asterisco: *Kellicottia bostoniensis* (Rotifera) (Figura 432A), encontrada apenas no rio do Carmo e nas lagoas marginais, e, *Mesocyclops ogunnus* (Copepoda) (Figura 432B) encontrado apenas nas lagoas marginais (PEIXOTO et al., 2010; MAIA-BARBOSA et al., 2014).

Existem diversos fatores que geram impactos às comunidades zooplanctônicas na região de estudo. Os cursos d'água vêm sofrendo alterações e impactos importantes devido à mineração, à formação de reservatórios hidrelétricos, à agricultura, entre outros, há décadas. Os reservatórios de água, segundo Simões et al. (2015), são menos produtivos que lagos naturais e causam efeitos negativos à diversidade e composição da comunidade zooplanctônica. Já as atividades de mineração, segundo Moreira et al. (2016),

podem interferir nas concentrações de metais pesados na água, os quais reduzem significativamente a recuperação da biodiversidade zooplanctônica através de impactos aos ovos de resistência. Segundo os mesmos autores, os ovos de resistência são impactados tanto devido à exposição aos metais quanto à ausência dos sinais necessários para sua eclosão.

Existem diversos fatores que geram impactos às comunidades zooplanctônicas na região de estudo. Os cursos d'água vêm sofrendo alterações e impactos importantes devido à mineração, à formação de reservatórios hidrelétricos, à agricultura, entre outros, há décadas. Os reservatórios de água, segundo Simões et al. (2015), são menos produtivos que lagosnaturais e causam efeitos negativos à diversidade e composição da comunidade zooplanctônica. Já as atividades de mineração, segundo Moreira et al. (2016), podem interferir nas concentrações de metais pesados na água, os quais reduzem significativamente arecuperação da biodiversidade zooplanctônica através de impactos aos ovos de resistência.Segundo os mesmos autores, os ovos de resistência são impactados tanto devido à exposiçãoaos metais quanto à ausência dos sinais necessários para sua eclosão, como luminosidade, oxigênio e pH.

Tabela 154 – Compilação da composição de espécies do zooplâncton na bacia do Rio Doce, MG, anterior ao rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG.

	Táxon		Lagoas marginais	Rio Doce	Rio Piracicaba	Rio do Carmo
1	Rotifera, Monogononta	*Asplanchna priodonta*				x
2		*Anuraeopsis navicula*	x			
3		*Anuraeopsis fissa*	x			x
4		*Brachionus angularis*	x			
5		*Brachionus bidentata*	x			
6		*Brachionus calyciflorus*	x			
7		*Brachionus caudatus*	x			
8		*Brachionus dolabratus*	x			
9		*Brachionus faucatus*	x			
10		*Brachionus forficula*	x			
11		*Brachionus macracanthus*	x			
12		*Brachionus mirus*	x			
13		*Brachionus patulus*	x			x
14		*Brachionus patulus macracanthus*	x			
15		*Brachionus patulus patulus*	x			
16		*Brachionus quadridentatus*	x			
17		*Kellicotia bostoniensis**	x			x
18		*Keratella americana*	x	x	x	x
19		*Keratella cochlearis*	x	x	x	x

	Táxon		Lagoas marginais	Rio Doce	Rio Piracicaba	Rio do Carmo
20		*Keratella lenzi*	x	x	x	
21		*Keratella quadrata*	x			
22		*Keratella tropica*	x		x	
23		*Keratella* sp.	x			
24		*Platyas leloupi latiscapularis*	x			
25		*Platyas var. brevispinus*	x		x	
26		*Platyas quadricornis var. brevispinus*	x			
27		*Platyas patulus*	x			
28		*Platyonus patulus*	x			
29		*Conochiloide coenobasis*	x			
30		*Conochilus dossuarius*				x
31		*Conochilus unicornis*	x	x		
32		*Conochilus* sp.	x			
33		*Collotheca* sp.	x			
34		*Collotheca mutabilis*				x
35		*Clurella obtusa*	x			
36		*Colurella sulcata*	x			
37		*Colurella uncinata*	x			x
38		*Colurella uncinata bicuspidata*	x			
39		*Lepadella cf. latusinus*	x			
40		*Lepadella cristata*	x			
41		*Lepadella donneri*	x			
42		*Lepadella latusinus*	x			
43		*Lepadella ovalis*	x			
44		*Lepadella patella*	x	x		x
45		*Lepadella quinquecostata*	x			
46		*Lepadella triptera*	x			
47		*Lepadella triptera var. alata*	x			
48		*Lepadella sp.*	x			x
49		*Squatinella lamellaris*	x			
50		*Squatinella mutica*	x			
51		*Xenolepadella* sp.				x
52		*Encentrum* sp.				x
53		*Dicranophorus epicharis*	x			
54		*Dicranophorus propatula*	x			
55		*Epiphanes clavatula*	x			
56		*Dipleuchlanis propatula*	x			
57		*Euchlanis dilatata*	x			
58		*Euchlanis incisa*	x			
59		*Euchlanis meneta*	x			
60		*Euchlanis* sp.	x			
61		*Filinea longiseta*	x			
62		*Filinia camasecla*	x			
63		*Filinia terminalis*	x			
64		*Filinia opoliensis*	x			
65		*Ptygura* sp.	x			
66		*Sinantherina* sp.	x			
67		*Ascomorpha ecaudis*				x
68		*Ascomorpha ovalis*	x			

	Táxon	Lagoas marginais	Rio Doce	Rio Piracicaba	Rio do Carmo
69	*Ascomorpha saltans*	x			
70	*Gastropus hyptopus*	x			
71	*Gastropus* sp.	x			
72	*Hexarthra intermedia*	x			
73	*Lecane arcula*	x			
74	*Lecane armata*	x			
75	*Lecane braziliensis*	x			
76	*Lecane bulla*	x	x	x	
77	*Lecane clara*	x			
78	*Lecane closterocerca*	x			x
79	*Lecane cornuta*	x			
80	*Lecane crepida*	x			
81	*Lecane curvicornis*	x		x	
82	*Lecane decipiens*	x			
83	*Lecane doryssa*	x			
84	*Lecane elegans*	x			
85	*Lecane flexilis*	x			
86	*Lecane furcata*	x			
87	*Lecane halyclista*	x			
88	*Lecane hamata*	x			
89	*Lecane hornemanni*	x			
90	*Lecane gillardi armata*	x			
91	*Lecane inermis*	x			
92	*Lecane inopiata*	x			
93	*Lecane* cf. incospicua	x			
94	*Lecane leontina*	x			
95	*Lecane ludwigii*	x			
96	*Lecane lunaris*	x		x	x
97	*Lecane luna*		x	x	x
98	*Lecane monostyla*	x			
99	*Lecane obtusa*	x			
100	*Lecane papuana*	x			
101	*Lecane pideis*	x			
102	*Lecane psammophila*	x			
103	*Lecane pussila*	x			
104	*Lecane pyriformis*	x			
105	*Lecane quadridentata*	x			
106	*Lecane scutata*	x			
107	*Lecane signifera*	x			
108	*Lecane stichaea*	x			
109	*Lecane stichoclysta*	x			
110	*Lecane subtilis*	x			
111	*Lecane uenoi*	x			
112	*Lecane* sp.		x	x	x
113	*Lecane* sp.1	x			
114	*Lecane* sp.2	x			
115	*Lecane* sp.3	x			
116	*Lecane* sp.4	x			
117	*Lecane* sp.5	x			
118	*Lecane* sp.6	x			
119	*Lecane* sp.7	x			
120	*Lophocharis salpina*	x			

	Táxon		Lagoas marginais	Rio Doce	Rio Piracicaba	Rio do Carmo
121		*Mytilina acanthophora*	x			
122		*Mytilina bisulcata*	x	x		
123		*Mytilina ventralis*	x			
124		*Mytilina ventralis macracantha*	x			
125		*Cephalodella cf exigua*	x			
126		*Cephalodella forfícula*	x			
127		*Cephalodella gibba*				x
128		*Cephalodella spp.*	x			
129		*Notommata copeus*				x
130		*Monommata* sp.	x			
131		*Cephalodella* sp.	x			
132		*Itura aurita*	x			
133		*Proales giganthea*	x			
134		*Proales* sp.				x
135		*Ploesoma truncatum*	x			x
136		*Polyarthra vulgaris*	x			x
137		*Polyarthra dolychoptera*	x			
138		*Polyarthra* sp.	x			
139		*Synchaeta oblonga*				x
140		*Synchaeta pectinata*				x
141		*Synchaeta stylata*	x			
142		*Testudinellidae*	x			
143		*Testudinella ohlei*	x			
144		*Testudinella patina*	x			
145		*Trichocerca bidens*	x			
146		*Trichocerca bicristata*	x			
147		*Trichocerca cf. elongata*	x			
148		*Trichocerca cylindrica chattoni*	x			
149		*Trichocerca iermis*	x			
150		*Tricocerca insignis*	x			
151		*Trichocerca fusiformes*	x			
152		*Trichocerca flagellata*	x			
153		*Trichocerca pusilla*	x			
154		*Trichocerca rattus*	x			
155		*Trichocerca scipio*	x			
156		*Trichocerca similis*	x			
157		*Trichocerca* sp.	x			x
158		*Trichocerca stylata*	x			x
159		*Trichocerca tenulor*	x			
160		*Trichocerca tetractis*	x			
161		*Macrochaetus collinsi*	x	x		
162		*Macrochaetus longipes*	x			
163		*Macrochaetus sericus*	x			
164		*Tricotria tetractis*	x			
165		*Dissotrocha aculeata*	x			
166	Rotifera, Bdelloidea		x	x	x	x
167	Arthropoda, Crustacea, Cladocera	*Bosmina coregoni*	x			
168		*Bosmina deitersi*	x			
169		*Bosmina eurynotus*	x			
170		*Bosmina hagmani*	x	x	x	

	Táxon		Lagoas marginais	Rio Doce	Rio Piracicaba	Rio do Carmo
171		*Bosmina tubicen*	x	x	x	
172		*Bosminopsis deitersi*	x	x	x	
173	.....	*Alona affinis*	x			
174		*Alona cambouei*	x			
175		*Alona costata*			x	
176		*Alona dentifera*	x			
177		*Alona guttata*	x	x	x	
178		*Alona monacantha*	x			
179		*Alona poppei*	x			
180		*Alona quadrata*	x			
181		*Alona rectangula*	x	x	x	
182		*Alona verrucosa*	x			
183		*Alonella chlathratula*	x			
184		*Alonella dadayi*	x			
185		*Alonella dentifera*	x			
186		*Alonella lineollata*	x			
187		*Alonella karua*	x			
188		*Alonella nana*	x			
189		*Biapertura affinis*	x			
190		*Biapertura intermedia*	x	x	x	
191		*Biapertura karua*	x			
192		*Biapertura verrucosa*	x			
193		*Chydorus eurynotus*	x			
194		*Chydorus globosus*	x			
195		*Chydorus hybridus*	x			
196		*Chydorus pubescens*	x			
197		*Chydorus sphaericus*	x			
198		*Dadaya macrops*	x			
199		*Disparalona daday*	x			
200		*Disparalona* sp.	x			
201		*Dunhevedia odontoplax*	x			
202		*Ephemeroporus barroisi*	x			
203		*Ephemeroporus tridentatus*	x			
204		*Leydigia ipojucae*		x	x	
205		*Leydigiopsis curvirostris*	x			
206		*Leydigiopsis ornata*	x			
207		*Notoalona sculpta*	x			
208		*Oxyurella ciliata*	x			
209		*Ceriodaphnia cornuta*	x	x	x	
210		*Ceriodaphnia cornuta cornuta*	x			
211		*Ceriodaphnia cornuta rigaudi*	x			
212		*Ceriodaphnia dubia*	x			
213		*Ceriodaphnia silvestrii*	x	x		
214		*Daphnia gessneri*	x		x	
215		*Daphnia laevis*	x			
216		*Scapholeberis armata*	x			
217		*Scapholeberis kingi*	x			
218		*Simocephalus serrulatus*	x			
219		*Simocephalus vetulus*	x			
220		*Ilyocryptus spinifer*	x	x	x	

	Táxon		Lagoas marginais	Rio Doce	Rio Piracicaba	Rio do Carmo
221		*Grimaldina brazzai*	x			
222		*Macrothrix elegans*	x			
223		*Macrotrix laticronis*	x	x	x	
224		*Macrothrix flabeligera*	x			
225		*Macrothrix paulensis*	x			
226		*Macrothrix spinosa*	x			
227		*Moina micrura*			x	
228		*Moina minuta*	x	x	x	
229		*Moina reticulata*	x			
230		*Diaphanosoma birgei*	x		x	
231		*Diaphanosoma brachyurum*	x			
232		*Diaphanosoma brevireme*	x			
233		*Diaphanosoma fluviatile*	x			
234		*Diaphanosoma spinulosum*	x		x	
235		*Pseudosida bidentada*	x			
236		*Pseudosida ramosa*	x			
237	Arthropoda, Copepoda, Calanoida	*Argyrodiaptomus furcatus*	x			
238		*Notodiaptomus isabelae*	x			
239		*Notodiaptomus iheringi*	x			
240		*Notodiaptomus dubius*	x			
241	Arthropoda, Copepoda, Cyclopoida	*Attheyella fuhrmanni*	x			
242		*Ectocyclops herbsti*	x			
243		*Ectocyclops rubescens*	x			
244		*Homocyclops ater*	x			
245		*Macrocyclops albidus*	x			
246		*Mesocyclops brasilianus*	x			
247		*Mesocyclops longisetus*	x	x		
248		*Mesocyclops meridianus*	x			
249		*Mesocyclops ogunnus**	x			
250		*Metacyclops mendocinus*			x	
251		*Microcyclops alius*	x			
252		*Microcylops anceps*	x			
253		*Microcylops ceibaensis*	x			
254		*Neutrocyclops brevifurca*	x			
255		*Paracyclops chiltoni*	x		x	
256		*Potamocaris estevesi*		x		
257		*Thermocyclops crassus*		x		
258		*Thermocyclops decipiens*	x			
259		*Thermocyclops minutus*	x	x	x	
260		*Tropocyclops prasinus*	x			
261	Arthropoda, Copepoda, Harpacticoida	*Attheyella fuhrmani*	x			
262		*Elaphoidella sp.*	x			

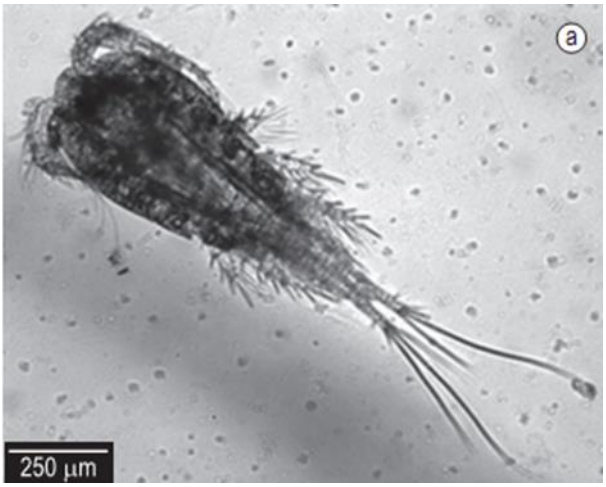
Existem diversos fatores que geram impactos às comunidades zooplanctônicas na região de estudo. Os cursos d'água vêm sofrendo alterações e impactos importantes devido à mineração, à formação de reservatórios hidrelétricos, à agricultura, entre outros, há décadas.

Os reservatórios de água, segundo Simões et al. (2015), são menos produtivos que lagos naturais e causam efeitos negativos à diversidade e composição da comunidade zooplanctônica. Já as atividades de mineração, segundo Moreira et al. (2016), podem interferir nas concentrações de metais pesados na água, os quais reduzem significativamente a recuperação da biodiversidade zooplanctônica através de impactos aos ovos de resistência. Segundo os mesmos autores, os ovos de resistência são impactados tanto devido à exposição aos metais quanto à ausência dos sinais necessários para sua eclosão, como luminosidade, oxigênio e pH.

Figura 432 – Espécies exóticas invasoras de ocorrência na bacia do rio Doce. A) *Kellicottia bostoniensis* (Rotifera); B) *Mesocyclops ogunnus* (Copepoda).



(A)



(B)

Fonte: Peixoto et al. (2010).

Lagoas marginais

Segundo Miranda et al. (2013), em estudo realizado em 2004 e 2005 nas lagoas marginais da região, alguns fatores podem explicar a redução de espécies do zooplâncton: eutrofização natural de lagos; substituição de mata nativa por monoculturas; aumento de cianobactérias; introdução de espécies exóticas de peixes, entre outros fatores.

A introdução de espécies de peixes exóticos resultou na redução da riqueza de espécies de microcrustáceos, segundo Pinto-Coelho et al. (2008), em estudo realizado entre 2004 e 2005 em sete lagoas do médio Rio Doce, incluindo três dentro do PERD. Segundo os autores, ocorre o fenômeno de "cascata trófica invertida", onde a introdução de espécies exóticas piscívoras gerou a extinção local de peixes nativos com consequente aumento de

invertebrados que predam sobre o zooplâncton herbívoro, aumentando a densidade de algas. O número de espécies de cladóceros e copépodes nunca foi maior do que 10 em nenhuma lagoa amostrada. Ainda segundo os mesmos autores, houve inclusive a extinção local de algumas espécies, sendo que no lago Dom Helvécio, o principal lago do PERD, as espécies de copépodes como *Argyrodiaptomus furcatus, Scolodiaptomus corderoi, Mesocyclops longisetus, Microcyclops varicans*e de cladóceros como *Bosmina coregoni* e *Moina minuta,* antes comumente observadas, estavam extintas nesse lago. Maia-Barbosa, Eskinazi-Sant'anna e Barbosa (2003) também encontraram alterações estruturais significativas na comunidade zooplanctônica desse lago, se comparado a estudos prévios. Segundo os autores, *Argyrodiaptomus furcatus, Scolodiaptomus corderoi* e *Mesocyclops longisetus* já não foram encontrados no ano de 2000, e sugerem que a alteração na composição do zooplâncton indica mudança do estado trófico do lago de oligotrófico (dominância de copépodes calanoides e baixas densidades de rotíferos e cladóceros) para mesotrófico (dominância de rotíferos e copépodes ciclopoides). Em estudo posterior, das espécies citadas, apenas *M. longisetus* foi detectada por Maia-Barbosa, Peixoto e Guimarães (2008), em 2006, no mesmo lago.

Segundo Pujoni (2010), para as lagoas do PERD, entre os copépodes, *Thermocyclops minutus* é a espécie dominante, e para rotíferos, espécies do gênero *Brachionus* foram as mais abundantes. Segundo o mesmo autor, rotíferos e cladóceros apresentaram relação direta com variáveis ambientais. Segundo Pujoni (2015), em avaliação de dados coletados em 2000 na mesma região, a biomassa de Copepoda aumenta no inverno possivelmente decorrente da desestratificação e aumento de biomassa de bactérias, uma vez que esses organismos são oportunistas e detritívoros.

Ainda nas lagoas marginais, Lopes (2014) encontrou uma maior riqueza de espécies, com predominância de rotíferos, no período chuvoso. Segundo a autora, as temperaturas mais elevadas favorecem o crescimento populacional de rotíferos e copépodes. Maia-Barbosa et al. (2005) já relatavam, para essas lagoas, a predominância de rotíferos, sendo que esse grupo parece ser predominante em ambientes aquáticos tropicais como um todo. Segundo os autores, os rotíferos se beneficiam das temperaturas elevadas e, por serem filtradores e oportunistas, aproveitam mais efetivamente os recursos alimentares. Já os copépodes destacam-se em densidade, sendo que, em alguns momentos, os jovens (náuplios e copepoditos) chegam a representar 40% do zooplâncton. Segundo os mesmos autores, os cladóceros sempre são registrados em baixas densidades.

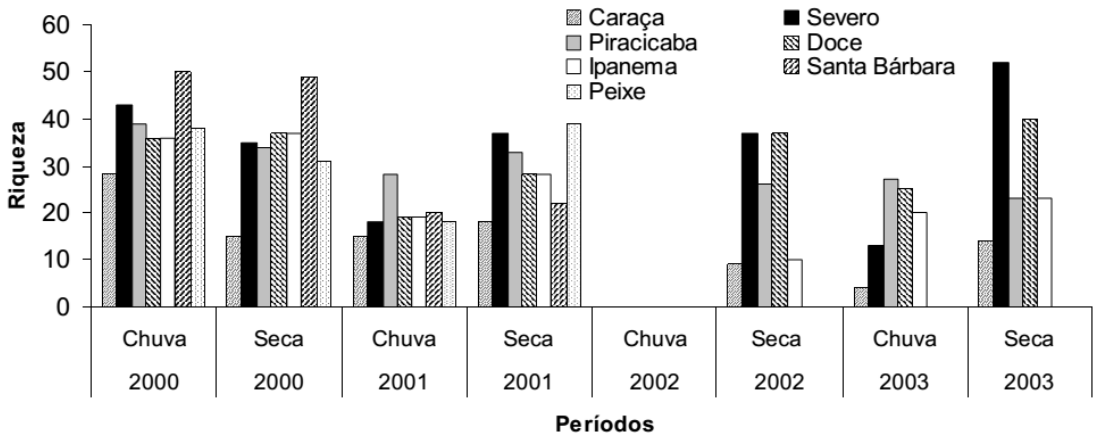
O estado trófico de lagos determina a ocorrência das espécies do gênero *Thermocyclops,* sendo que *T. minutus* é mais frequente, porém é substituído por *T. decipiens* em ambientes eutróficos. Em ambientes mesotróficos, as duas espécies ocorrem simultaneamente ou alternadamente (ROCHA et al., 1995 apud TUNDISI; TUNDISI, 2008). Segundo Landa et al. (2007), *T. decipiens* ocorre, no Brasil, apenas em São Paulo e Minas Gerais, e neste último estado foi descrita predominantemente para ambientes poluídos e impactados por rejeitos de mineração, podendo ser uma espécie indicadora da qualidade da água e ser utilizada futuramente no diagnóstico a ser realizado.

Trechos de rios

Segundo Bonecker et al. (1996), em estudo realizado no médio rio Doce entre 1990 e 1991, as características do ambiente amostrado não eram favoráveis às comunidades zooplanctônicas, uma vez que os trechos abordados não sofrem influência de outros ambientes aquáticos. No estudo foram identificadas 20 espécies de rotíferos, 6 de copépodes e 5 de cladóceros, além de 22 espécies de amebas testáceas. Rotíferos e microcrustáceos foram representados por espécies acidentais em sua maioria.

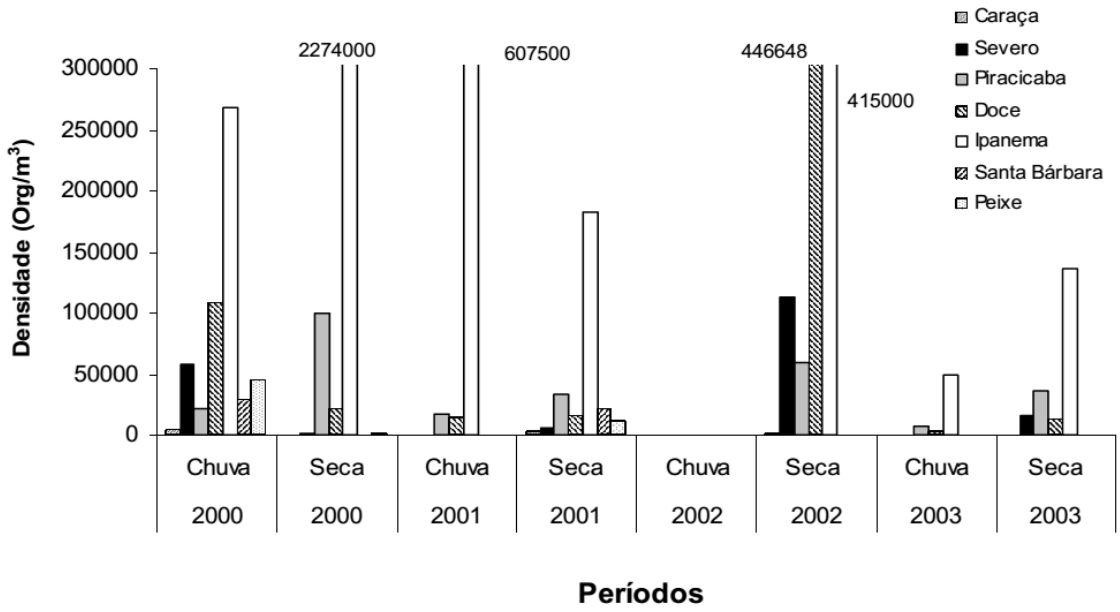
Maia-Barbosa e Mendez (2004), em estudo realizado durante quatro anos, entre 2000 e 2003 em sete rios da região do médio rio Doce (Caraça, Piracicaba, Severo, Doce, Ipanema, Santa Bárbara e Peixe), encontraram Protozoa e Rotifera como principais grupos (com 40% e 41% dos táxons, respectivamente) seguidos de Copepoda (18%) e Cladocera (11%). Foi observada, nos quatro anos de estudo, elevada riqueza e diversidade conforme Figura 433 e Figura 434. Segundo os autores, os rotíferos foram dominantes, com até 60% das densidades totais, os copépodes foram o segundo grupo dominante e cladóceros foram pouco abundantes. O estudo destaca ainda a variação sazonal do zooplâncton entre o período seco e chuvoso, sendo que, de maneira geral, as densidades mais altas foram observadas no período seco.

Figura 433 – Riqueza do zooplâncton em sete rios da bacia do médio rio Doce.



Fonte: Maia-Barbosa e Mendez (2004).

Figura 434 – Densidade do zooplâncton em sete rios da bacia do médio rio Doce.



Fonte: Maia-Barbosa e Mendez (2004).

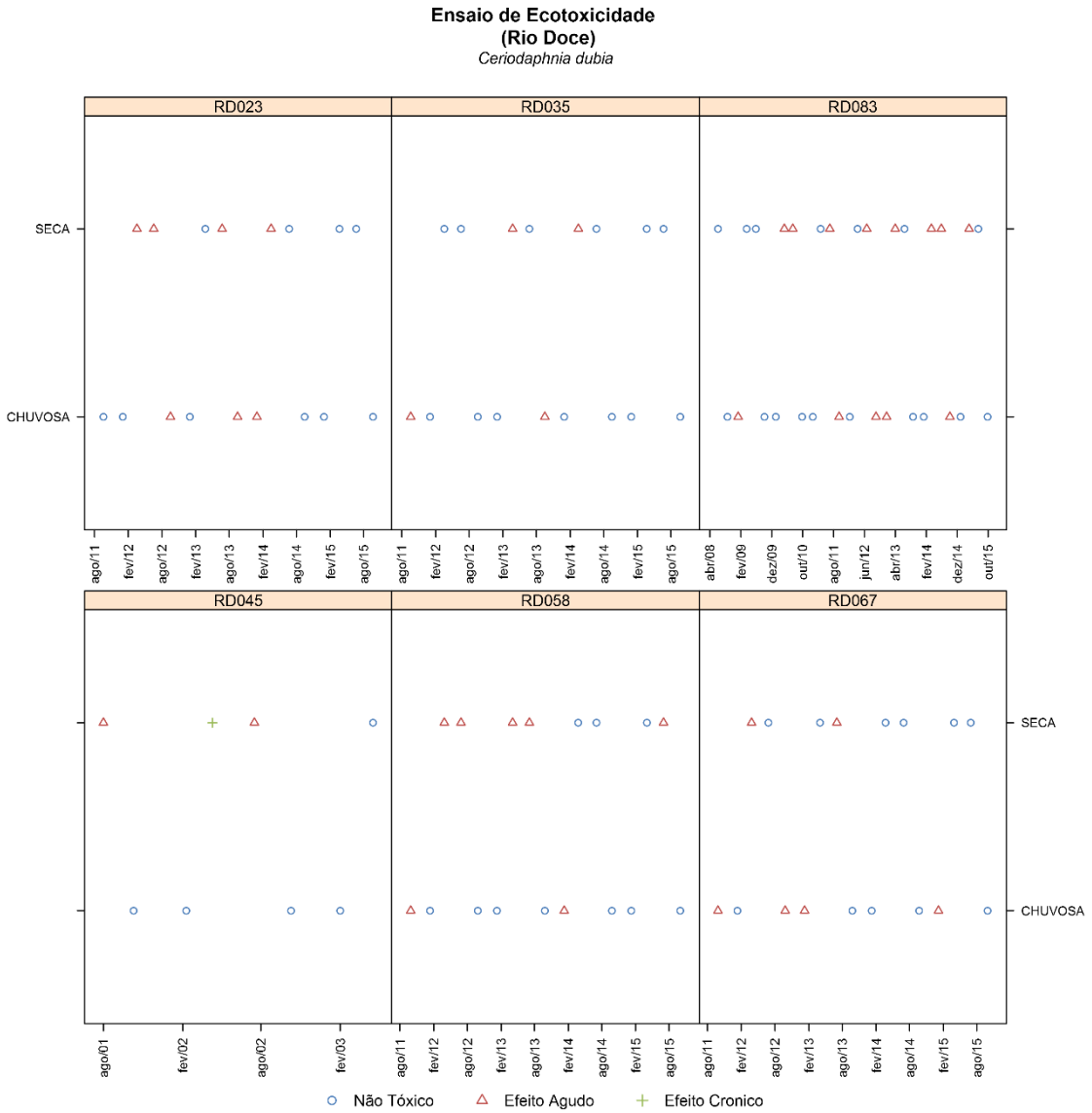
Silva (2013) estudou a composição do zooplâncton no rio do Carmo, região do QF, região altamente impactada devido à mineração. O grupo predominante foi Rotifera, com 51% das espécies, seguido de Protozoa com 45% e Crustacea com 4%. Porém, em densidade, houve predominância de protozoários, que são organismos altamente resistentes às variações ambientais. Os rotíferos apresentaram maior sensibilidade a alterações de parâmetros físico-químicos, sendo *Conochilus dossuarius* e *Colurella uncinata* as mais sensíveis. Ainda, o mesmo estudo indicou a ocorrência de ovos de resistência de rotíferos, indicando que o ambiente não é favorável a esses organismos, sendo Bdelloidea a Classe com maior densidade. Não foram encontrados indivíduos de Cladocera, e para Copepoda, apenas náuplios, o que segundo a autora pode estar relacionado ao curto período de realização do trabalho.

Foram encontrados poucos dados ecotoxicológicos sobre o zooplâncton na bacia do rio Doce. O trabalho de Silva (2013) traz algumas considerações com relação à toxicidade. Segundo os autores, 60% das espécies do rio do Carmo (incluindo protozoários) apresentaram correlação negativa com Al e Mn, 40% com o Zn e 27% com o Fe, sendo que esses elementos se encontravam acima dos valores permitidos em alguns pontos avaliados (de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008).

3.8.14 Resultados dos ensaios de ecotoxicidade com *Ceriodaphnia dubia*

A Figura 435 e a Figura 436 mostram a variação temporal dos resultados dos ensaios de ecotoxicidade com *Ceriodaphnia dubia* entre os anos de 2011 e 2015 durante os períodos seco (inverno) e chuvoso (verão).

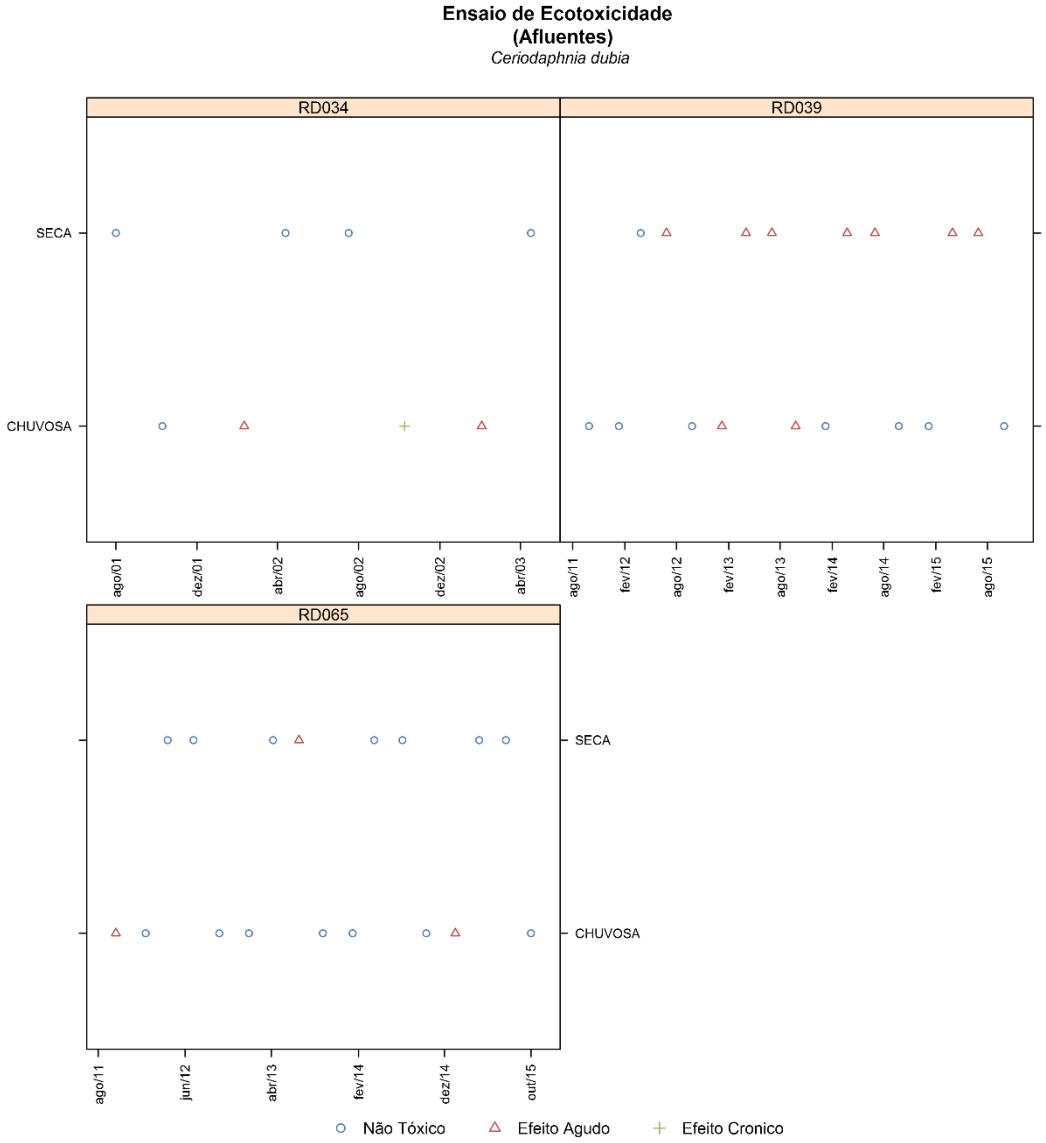
Figura 435 – Distribuição temporal dos resultados dos ensaios de ecotoxicidade nos pontos avaliados pelo IGAM no rio Doce.



Observou-se que o efeito crônico ocorreu em apenas dois pontos: um no rio Doce (RD045, no município de Governador Valadares), no período seco, e outro no rio Piracicaba (RD034), no período chuvoso. Ressalva-se que esses dois pontos apresentam séries de dados mais antigas (2001 a 2003).

A comparação entre os períodos chuvoso e seco demonstrou que as estações situadas a jusante tenderam a apresentar uma melhora (efeito não tóxico) durante o período seco, exceto na estação RD034. Para as demais estações, no período chuvoso, não foram detectados efeitos tóxicos.

Figura 436 – Distribuição temporal dos resultados dos ensaios de ecotoxicidade nos pontos avaliados pelo IGAM nos afluentes do rio Doce.



No tocante aos ensaios de ecotoxicidade, na maior parte do período monitorado as avaliações das amostras do rio Doce (Tabela 155) resultaram em "Não Tóxico" (de 57 a 76% do período monitorado), no restante do tempo observou-se "Efeito Crônico". Para os rios Piracicaba e Manhuaçu (Tabela 156), a maioria das análises resultou em "Não Tóxico". Para o rio Santo Antônio (Tabela 156), os resultados se dividiram entre "Não Tóxico" (47%) e "Efeito Crônico" (53%).

No rio Doce (Tabela 155), apenas a estação RD045 (localizada em Governador Valadares), no período chuvoso, apresentou conformidade superior a 80% com a condição de efeito não tóxico. Para as estações em afluentes (Tabela 156), o mesmo se observou para a estação RD065 (rio Manhuaçu), no período total e no período seco.

Tabela 155 – Percentuais de desacordos para os ensaios de ecotoxicidade nas estações de monitoramento de localizadas no rio Doce.

rio Doce		RD023	RD035	RD083	RD045	RD058	RD067
	Não tóxico	59%	76%	57%	63%	59%	65%

Período Total	Efeito crônico	41%	24%	43%	25%	41%	35%
	Efeito agudo	0%	0%	0%	13%	0%	0%
Período Seco	Não tóxico	50%	75%	47%	25%	38%	75%
	Efeito crônico	50%	25%	53%	50%	63%	25%
	Efeito agudo	0%	0%	0%	25%	0%	0%
Período Chuvoso	Não tóxico	67%	78%	67%	100%	78%	56%
	Efeito crônico	33%	22%	33%	0%	22%	44%
	Efeito agudo	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabela 156 – Percentuais de desacordos para os ensaios de ecotoxicidade nas estações de monitoramento de localizadas nos afluentes do rio Doce.

Afluentes		**RD034**	**RD039**	**RD065**
Período Total	Não tóxico	63%	47%	82%
	Efeito crônico	25%	53%	18%
	Efeito agudo	13%	0%	0%
Período Seco	Não tóxico	100%	13%	88%
	Efeito crônico	0%	88%	13%
	Efeito agudo	0%	0%	0%
Período Chuvoso	Não tóxico	25%	78%	78%
	Efeito crônico	50%	22%	22%
	Efeito agudo	25%	0%	0%

3.8.15 Considerações finais

De acordo com as avaliações realizadas acerca dos dados históricos de qualidade de água de estações de monitoramento localizadas no rio Doce e seus tributários, foi possível caracterizar as condições da qualidade de água da região de estudo no que diz respeito ao período anterior ao impacto decorrente do rompimento da barragem de Fundão (Mariana/MG). A partir do estabelecimento da linha-base será possível avaliar, futuramente, a magnitude e a dinâmica das possíveis alterações ocorridas na qualidade das águas superficiais na região afetada.

Em relação aos parâmetros de qualidade de água, foi avaliado um total de 46 variáveis físicas, químicas e microbiológica. Destas, somente oito apresentaram série histórica na porção capixaba (IEMA/ES): sólidos totais, turbidez, DBO, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH e coliformes termotolerantes. Além disso, das 46 variáveis de qualidade de água, 15 não são contempladas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ou pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008, e, portanto, não foram avaliadas em termos de não conformidades, a saber: sólidos totais, alcalinidade de bicarbonato, alcalinidade total, condutividade elétrica, dureza, nitrogênio orgânico, alumínio total, boro dissolvido, cálcio total, cobre total, cromo hexavalente, cromo trivalente, magnésio total, potássio dissolvido e sódio dissolvido. As análises de não conformidades também não contemplaram a variável cianeto livre, haja vista que até o ano de 2010, o limite de quantificação do método laboratorial utilizado pelo IGAM (≤ 0,01 mg/L) era 100% superior ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2 (≤ 0,005 mg/L). A partir do ano de 2011, o limite laboratorial de quantificação foi reduzido a 0,002 mg/L, o que passou a indicar valores mais reais das concentrações medidas nas estações de monitoramento. Nesse tocante, foram poucos desacordos registrados.

Para as variáveis de qualidade de água legisladas, observou-se que:

- Os parâmetros boro total, cloreto total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, nitrogênio total, selênio, sólidos dissolvidos totais e sulfato total não apresentaram desacordos em momento algum do monitoramento no período pré-desastre.
- DBO, pH, oxigênio dissolvido, fenóis totais, bário total, cádmio total, cobre dissolvido, cromo total, mercúrio total, níquel total e zinco total apresentaram desacordos em algum momento do período avaliado, contudo, os percentuais de não conformidades foram menos significativos.
- De modo geral, as águas do rio Doce e afluentes estudados apresentaram bons níveis de oxigenação no período pré-desastre.
- No trecho mineiro da região de estudo, oito variáveis apresentaram desacordos em todas as 23 estações de monitoramento avaliadas (tanto aquelas situadas no rio Doce, quanto em seus tributários): coliformes termotolerantes, fósforo total, cor verdadeira, sólidos em suspensão totais, turbidez, alumínio dissolvido, chumbo total e manganês total. No trecho capixaba, quatro parâmetros apresentaram desacordos em todas as sete estações avaliadas: DBO, coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez. Esses desacordos ocorreram em algum momento do monitoramento, sendo superiores a 0% e podendo chegar a 100% do período avaliado. Ressalta-se que o rol de parâmetros monitorados pelo IGAM/MG foi maior que aquele do IEMA/ES, assim nem todas as variáveis analisadas para a base do IGAM puderam ser avaliadas para a base IEMA/ES.
- Com o ordenamento dos parâmetros de qualidade de água legislados em relação ao número total de desacordos observados, os dez parâmetros com maior percentual total de desacordos na porção mineira foram: coliformes termotolerantes, manganês total, cor verdadeira, arsênio total, ferro dissolvido, turbidez, fósforo total, alumínio dissolvido, sólidos em suspensão totais e chumbo total. Para a porção capixaba, destacaram-se: coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez.
- Da avaliação acerca de quais variáveis se mostraram mais relevantes em termos de não conformidades em cada uma das estações de monitoramento, resultaram, no total: coliformes termotolerantes, manganês total, cor verdadeira, ferro dissolvido, chumbo total, fósforo total, alumínio dissolvido, arsênio total, sólidos em suspensão totais e turbidez. Essas variáveis apresentaram desacordos em pelo menos 20% dos eventos de monitoramento em alguma estação. Convém relembrar que, na metodologia empregada no presente estudo, percentuais de desacordos superiores a 20% foram considerados mais relevantes. Dessa forma, espacialmente:
    - Os coliformes termotolerantes apresentaram elevados percentuais de não conformidades em todas as estações de monitoramento, refletindo a problemática da falta de esgotamento sanitário na região de estudo.
    - Percentuais de desacordos mais elevados de fósforo total foram observados principalmente na porção capixaba.

- Em relação a concentrações de manganês total, desacordos relevantes foram registrados em todo o trecho mineiro.
- Percentuais de não conformidades mais significativos para o alumínio dissolvido foram registrados pontualmente.
- Para o ferro dissolvido, observaram-se percentuais de desacordos mais significativos em diversos pontos da porção mineira da região de estudo.
- Quanto ao arsênio total, percentuais de não conformidades mais expressivos concentraram-se na porção de montante da região de estudo, no rio do Carmo, e podem estar relacionados à exploração histórica de ouro na sub-bacia do rio do Carmo (SILVA, 2013).
- Em relação ao chumbo total, os desacordos mais significativos concentraram-se, principalmente, entre os municípios de Ipatinga e Galileia, em Minas Gerais.
- Sólidos em suspensão totais apresentaram percentuais de não conformidades mais relevantes nos tributários: rio do Carmo (RD071), ribeirão Sacramento (RD073) e rio Caratinga (RD057).
- Percentuais de desacordos mais elevados de turbidez foram observados principalmente na porção capixaba. Na porção mineira, percentuais de não conformidades mais relevantes foram observados nos tributários: rio do Carmo (RD071), rio Casca (RD018) e rio Caratinga (RD057).
- Para a variável cor verdadeira, observaram-se percentuais de não conformidades mais significativos em diversos pontos do trecho mineiro da região de estudo.

Para os parâmetros de qualidade de água não legislados, destaca-se:

Alcalinidade de bicarbonato – para as estações no rio Doce, o comportamento desta variável foi mais homogêneo, variando de 9,8 mg/L a 29,8 mg/L. Para os afluentes, os rios do Carmo (RD009), Suaçuí Grande (RD089) e Caratinga (RD057) apresentaram concentrações de alcalinidade de bicarbonato mais elevadas em relação às demais estações, que não apresentaram concentrações superiores a 30 mg/L.

Alcalinidade total – para as estações no rio Doce, o comportamento dessa variável foi mais homogêneo, variando de 7,5 mg/L a 29,8 mg/L. Para os afluentes, os rios do Carmo (RD009), Suaçuí Grande (RD089) e Caratinga (RD057) apresentaram concentrações de alcalinidade total mais elevadas em relação às demais estações, que não apresentaram concentrações superiores a 30 mg/L. Os valores encontrados para alcalinidade total estiveram de acordo com o esperado para águas naturais de origem superficial no Brasil, comumente inferior a 100 mg/L, segundo Libânio (2005). Ressalta-se que os resultados foram bastante semelhantes aos obtidos para a alcalinidade de bicarbonato. Em águas com pH entre 4,4 e 8,3, a alcalinidade total será devida apenas por íons de bicarbonato (LIBÂNIO, 2005), o que pode explicar esta semelhança.

Alumínio total – para as estações do rio Doce, o valor de mediana foi de 1,94 mg/L, considerando o período total, e as concentrações variaram de 0,10 mg/L a 42,42 mg/L. Para os afluentes, foi observada maior variação na série histórica para as estações RD018 (rio

Casca), RD057 (rio Caratinga) e RD065 (rio Manhuaçu), com valor mínimo registrado de 0,16 mg/L, na RD065, e máximo de 124,78 mg/L, na RD057.

Boro dissolvido – de modo geral, as concentrações de boro dissolvido não passaram de 0,10 mg/L tanto para as estações no rio Doce quanto para aquelas situadas em seus afluentes. O valor de mediana foi idêntico para todas as estações (rio Doce e afluentes), considerando todos os períodos avaliados: 0,07 mg/L.

Cálcio total – para as estações de monitoramento localizadas no rio Doce, as concentrações de cálcio total variaram de 1,90 mg/L a 7,88 mg/L. Para os afluentes, concentrações mais elevadas foram registradas na estação RD009 (no rio do Carmo): 5,40 mg/L a 15,08 mg/L. De modo geral, não se observou diferença significativa de concentrações entre os períodos chuvoso e seco.

Cobre total – de modo geral, as medianas das concentrações de cobre total no rio Doce e afluentes apresentaram valor de 0,007 mg/L para os três períodos avaliados (total, seco e chuvoso). As estações RD023 (rio Doce, entre os municípios de Marliéria e Pingo-d'Água) e RD065 (rio Manhuaçu) apresentaram os valores máximos no período avaliado: 0,097 mg/L e 0,087 mg/L, respectivamente. Não se observou tendência à diminuição ou elevação de valores ao longo do tempo.

Condutividade elétrica *in loco* – o parâmetro condutividade elétrica não apresenta limite na Resolução CONAMA nº 357/2005, mas em literatura registra-se que valores inferiores a 100 µS/cm são considerados normais para águas interiores. Com relação aos resultados avaliados, observaram-se, em termos temporais, valores mais elevados a partir de 2015, com valores menores nos anos anteriores. Em termos espaciais, nas estações do rio Doce, os valores de mediana variaram de 46 µS/cm a 75 µS/cm, sendo que os menores valores ocorreram nas estações mais a montante. Entre as estações de monitoramento localizadas em afluentes, a estação RD009 (rio do Carmo) apresentou maior variação nos dados, bem como os valores mais elevados, com condutividade máxima registrada de 360 µS/cm.

Cromo hexavalente – de modo geral, tanto para as estações situadas no rio Doce quanto para aquelas situadas em seus tributários, as concentrações de cromo hexavalente tenderam ao limite de quantificação do método (0,01 mg/L) na maior parte do monitoramento.

Cromo trivalente – de modo geral, tanto para as estações situadas no rio Doce quanto para aquelas situadas em seus tributários, as concentrações de cromo trivalente tenderam ao limite de quantificação do método (0,04 mg/L) na maior parte do monitoramento.

Dureza total – este parâmetro não apresenta limite disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 e, dessa forma, não foram avaliados possíveis desacordos. Ainda assim, de acordo com a Portaria MS nº 2.914/2011, o limite para potabilidade é 500 mg/L. As águas do rio Doce e tributários, na região de interesse, apresentaram-se como águas brandas, cujos valores de dureza não ultrapassaram 56 mg/L. Maior variação nas concentrações foram observadas nas estações do rio Doce, e, entre os tributários, no rio do Carmo. Sazonalidade não foi registrada, sem variações entre o período de seca e chuva.

Magnésio total – para a maioria das estações de monitoramento da região de estudo, as concentrações de magnésio total variaram de 0,20 mg/L a 3,00 mg/L. A estação RD009, no rio do Carmo, foi a que apresentou valores mais elevados. Apesar de se observar, para a maioria das estações, valores mais elevados no período chuvoso em relação ao período seco,

essas diferenças não foram tão significativas. Espacialmente, quando considerada a mediana do período total, observou-se redução de valores após as UHEs Risoleta Neves e Baguari.

Nitrogênio Orgânico – de modo geral, as concentrações desta variável variaram entre 0,1 mg/L e 1,0 mg/L, tanto nas estações do rio Doce quanto naquelas situadas em seus afluentes, durante o período estudado.

Potássio dissolvido – para as estações do rio Doce, as concentrações de potássio dissolvido apresentaram-se dispersas ao longo do tempo e variaram de 0,62 mg/L a 3,38 mg/L. Em relação aos tributários do rio Doce, no rio Suaçuí Grande (estação RD089), foram registrados valores mais elevados, chegando a 4,99 mg/L. Não houve distinção clara entre as medições dos períodos seco e chuvoso.

Sódio dissolvido – no rio Doce, as concentrações de sódio dissolvido não passaram de 15 mg/L. Para os tributários, com exceção da estação RD009 (rio do Carmo), os valores não passaram de 9 mg/L. Para a estação RD009, foram observados valores mais elevados ao longo do monitoramento, com concentração máxima de 46 mg/L. Concentrações de sódio na água podem ser resultantes da dissociação do cianeto de sódio. O cianeto de sódio é extensamente empregado na extração de ouro. Conforme Silva (2013), a exploração de ouro é histórica na bacia do rio do Carmo.

Sólidos totais – os valores de mediana para sólidos totais no rio Doce variaram de 63 mg/L a 110 mg/L, estando os maiores valores localizados na porção capixaba. Para as estações situadas em afluentes, também em termos medianos, valores mais elevados foram registrados nas estações do rio do Carmo (RD009), rio Guandu (RDC2C007) e rio Santa Joana (RDC2C012): 128 mg/L, 150 mg/L e 100 mg/L, respectivamente.

Em relação à influência do período chuvoso, observou-se aumento de concentrações para os seguintes parâmetros: cor verdadeira, sólidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, fósforo total, nitrogênio orgânico, alumínio total e dissolvido, chumbo total, cobre total, ferro dissolvido e manganês total.

Sobre a comunidade de microalgas planctônicas presente nos ambientes reófilos da bacia do rio Doce pouco se conhece. A maior parte dos estudos foi realizada nos lagos e nas lagoas marginais do trecho médio e baixo do rio Doce. Além disso, os estudos avaliados apresentaram enfoque ecológico, sem definição da listagem das espécies de microalgas encontradas. Os sistemas lacustres da bacia do rio Doce apresentaram elevada riqueza e densidade de microalgas, inclusive de cianobactérias. As informações sobre diversidade e densidade do fitoplâncton obtidas do monitoramento realizado pelo IGAM do rio Doce e de alguns dos seus afluentes serão utilizadas, futuramente, como comparativo para o diagnóstico de possíveis danos sobre a comunidade fitoplanctônica decorrentes do rompimento da barragem de Fundão. Vale ressaltar que os corpos d'água da região já apresentavam indicativos de degradação ambiental, inclusive com a ocorrência de cianobactérias em elevado número celular. Muitas espécies desse grupo têm potencial para produção de toxinas que, quando ingeridas, ocasionam lesões hepáticas ou neurológicas e podem levar a mortandade de organismos.

Quanto à comunidade zooplanctônica, foi possível identificar que poucos são os estudos relacionados ao zooplâncton límnico na bacia hidrográfica do rio Doce. A maior parte deles é direcionada às lagoas marginais. As lagoas marginais são ambientes de elevada importância ecológica, e, na região, há uma grande quantidade de lagoas localizadas dentro

do PERD, o que aumenta ainda mais a importância desses ecossistemas. Segundo os trabalhos analisados, as lagoas marginais da região vêm sofrendo pressões antrópicas há muitos anos. Ainda assim, apresentam uma riqueza elevada de espécies. Esses trabalhos foram avaliados devido às importantes informações acerca da ocorrência de espécies e características destas na região, que poderão auxiliar na realização do diagnóstico posteriormente.

Ainda sobre a comunidade zooplanctônica, os poucos estudos localizados nos trechos de rio da bacia trazem algumas informações relevantes acerca das espécies de ocorrência na região afetada pela pluma de sedimentos, que poderão servir como base comparativa e auxiliar o diagnóstico da qualidade da água. Cabe destacar que, segundo dados obtidos neste levantamento, os cursos d'água da região vêm sofrendo alterações e impactos importantes devido à mineração, à formação de reservatórios hidrelétricos, à agricultura, entre outros, há décadas. Esses corpos hídricos apresentam grande variação na riqueza e densidade de espécies, sendo que o predomínio de riqueza, em linhas gerais, é do grupo Rotifera, seguido de Copepoda, e Cladocera com baixa abundância. Já para a densidade, os copépodes representam a maior porcentagem do zooplâncton em linhas gerais. O rio do Carmo se mostrou o ambiente mais impactado segundo os estudos do zooplâncton, sendo encontrada baixa riqueza de espécies e espécies típicas de ambientes poluídos e resistentes a variações ambientais. Já para o trecho médio do rio Doce (entorno do PERD) e rio Piracicaba, assim como nas lagoas marginais, os autores consideraram a riqueza de espécies elevada, indicando ambientes mais preservados.

No tocante aos ensaios de ecotoxicidade com *Ceriodaphnia dubia*, na maior parte do período monitorado, as avaliações das amostras do rio Doce resultaram em "Não Tóxico" (de 57 a 76% do período monitorado), no restante do tempo observou-se "Efeito Crônico". Para os rios Piracicaba e Manhuaçu, a maioria das análises resultou em "Não Tóxico". Para o rio Santo Antônio, os resultados se dividiram entre "Não Tóxico" (em 47% do período monitorado) e "Efeito Crônico" (em 53% do período monitorado).

3.9 Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos para as águas superficiais estuarinas e costeiras no tocante aos seus aspectos qualitativos. Estuários são locais onde o fluxo de água doce, a partir dos rios, se encontra com a água do mar. Em relação às águas costeiras, estas constituem uma faixa das águas marítimas, próximo ao continente. Resultados referentes à avaliação das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica que habitam esses ambientes também constam no documento.

3.9.1 Importância do tema

Os aportes de água doce, sedimentos, matéria orgânica e substâncias dissolvidas trazidos pelos rios estão entre os principais fertilizantes e promotores da produtividade primária no oceano fazendo com que os estuários e as águas costeiras atuem como as áreas de maior produtividade biológica dos oceanos (CLARK, 1992).

As águas marinhas estuarinas e costeiras continuam a ser os sistemas aquáticos mais ameaçados devido, em grande parte, ao fato de que a maior parcela da população humana reside nas bacias hidrográficas próximas a esses ambientes e devido ao aumento do uso dos recursos costeiros (KENNISH, 2000).

Esses ambientes apresentam grande variabilidade espacial e temporal, em escalas interanual e sazonal, assim a qualidade das águas também apresenta uma variação considerável. A manutenção da qualidade da água e dos regimes de variações desta é vital para a manutenção da vida aquática dos oceanos e rios do planeta (CLARK, 1992) e para garantir a manutenção dos múltiplos usos que essas áreas oferecem à população, como pesca esportiva e artesanal, lazer, navegação, entre outros.

3.9.2 Metodologia

A metodologia para avaliação da qualidade da água do ambiente marinho adjacente à foz do rio Doce foi baseada em pesquisas bibliográficas sistematizadas. Esta pesquisa envolveu diversos passos e a aplicação de filtros para a seleção dos estudos que apresentassem dados confiáveis e relevantes para a discussão do tema abordado neste capítulo. Esses passos são descritos nas seções a seguir.

3.9.2.1 Avaliação dos dados físicos e químicos de qualidade da água

Primeiramente, foi definido que os dados de qualidade da água, que caracterizariam a região marinha adjacente à foz do rio Doce no período anterior ao desastre, seriam aqueles gerados antes da chegada da onda de cheias em 11 de novembro de 2015 (CPRM, 2016), logo as buscas se limitaram a dados coletados até essa data.

Quanto às características da área de estudo, segundo Pereira et al. (2005), a plataforma interna da costa leste brasileira é ocupada principalmente por uma Água Costeira (AC) quente e de baixa salinidade (T > 20 °C e S < 35), como resultado da diluição de água oceânica pela descarga de água doce ao longo da costa, já na plataforma média, observa-se a presença da Água Tropical (AT). Na Tabela 157, podem ser visualizadas as características utilizadas para classificação dos dados analisados por massa de água.

Tabela 157 – Características das massas de água possíveis de serem encontradas na costa leste brasileira.

Massa de Água	Temperatura	Salinidade	Referência
Água Costeira (AC)	> 20 °C	< 35,0	Pereira et al. (2005)
Água Tropical (AT)	> 20 °C	> 36,2	Miranda (1985)
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	> 6 °C a < 20 °C	> 34,6 a < 36,2	Miranda (1985)
Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)	> 3 °C a < 4 °C	> 34,6 a < 35,0	Reid (1989)

Na região existe a predominância de ventos no quadrante Nordeste. Durante a maior parte do ano, os ventos predominantes são provenientes do oceano Atlântico devido às massas aquecidas Tropical Atlântica e Equatorial Atlântica. Já no inverno ocorre com frequência o vento Sul, devido às intrusões de frentes frias nesse período. A direção e a

intensidade dos ventos acabam por influenciar a direção das correntes marítimas na região próximo à costa. Ventos do quadrante Sul geram correntes de sul para norte e ventos do quadrante Nordeste geram correntes de norte para sul (CEPEMAR, 2006). Em consequência desse regime de ventos e correntes, a dispersão das plumas de material em suspensão dos rios da região tem potencial de deslocamento tanto para norte quanto para sul (OLIVEIRA et al., 2012).

Assim, para a abrangência espacial da pesquisa bibliográfica, considerou-se toda a zona costeira do estado do Espírito Santo e de parte do sul do estado da Bahia, visto a possibilidade de alterações na qualidade das águas tanto na região costeira localizada a norte quanto a sul da foz do rio Doce, decorrentes do desastre em estudo.

A partir dessas definições, a pesquisa bibliográfica foi realizada com foco em quatro tipos de fonte:

- publicações em periódicos científicos que abrangem temas ambientais e oceanográficos, com enfoque para poluição marinha e estuarina;
- teses, dissertações e monografias de conclusão de curso disponíveis no portal da biblioteca da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES);
- estudos de impacto ambiental e estudos e relatórios ambientais para fins de licenciamento e monitoramento ambiental de empreendimentos nos limites da zona costeira do estado do ES. As buscas foram feitas nos portais do Ibama (http://licenciamento.ibama.gov.br/) e do IEMA (http://189.84.218.235/biblioteca/);
- portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA), no qual foram pesquisados dados de qualidade de água do rio Doce em relação à estação de monitoramento mais próximo de sua foz.

Entre os dados obtidos nesses estudos, foram inseridos no banco de dados geográficos e utilizados na elaboração de mapas e de gráficos apenas aqueles disponibilizados na forma bruta e com referência geográfica, enquanto que estudos que apresentavam os resultados apenas como parâmetros estatísticos (ex.: valores médios, mínimos ou máximos) foram apresentados como referências escritas no decorrer deste relatório.

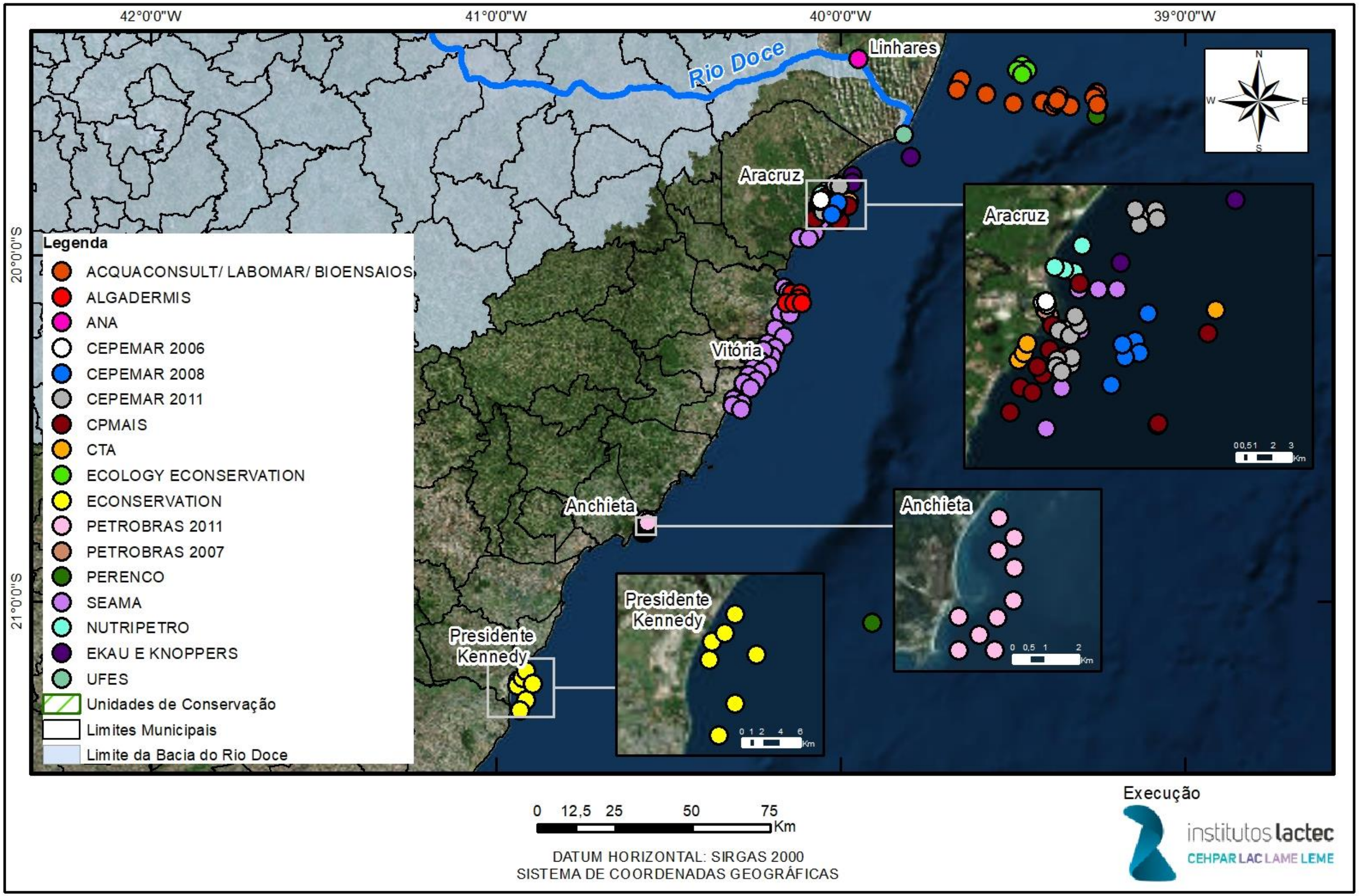
Após a aplicação dos filtros supracitados, foram selecionados os seguintes estudos para a elaboração de mapas e gráficos e, posterior, análise estatística e espacial:

- ALGADERMIS. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para atividade de extração de sedimento biodetrítico marinho em jazidas da Algadermis – litoral do Espírito Santo**. Relatório técnico. Vitória, 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Estação. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 15 maio 2017.
- AQUACONSULT. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo:** 1ª campanha de monitoramento. Relatório Técnico Ambiental. Aquaconsult, 2003.

- BIOENSAIOS. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 5ª, 6ª e 7ª campanhas de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Bioensaios, 2010 a 2013.
- CEPEMAR. **Projeto de expansão do terminal especializado de Barra do Riacho - Portocel**. Vitória: CEPEMAR, 2006.
- CEPEMAR. **Relatório de monitoramento da dragagem da Portocel**: campanha pré-operacional. Relatório técnico COM RT 358/08. Vitória: CEPEMAR, 2008.
- CEPEMAR. **Monitoramento do efluente líquido da Fibria no ecossistema Marinho**. Relatório técnico COM RT 289/11. Vitória: CEPEMAR, 2011.
- CPMAIS. **12ª Campanha de monitoramento marinho**: Estaleiro Jurong Aracruz – EJA. Relatório técnico. CP+ RT 022/15. Vitória: CPMAIS, 2015.
- CTA. **Estudo de impacto ambiental**: Estaleiro Jurong Aracruz. Vitória: CTA, 2009.
- ECOLOGY BRASIL. ECOCONSERVATION. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental do Mineroduto Morro do Pilar/MG a Linhares/ES e Porto Norte Capixaba**. Relatório técnico – RT-ECV-002/12. Revisão 01. Rio de Janeiro: Ecology Brasil, out. 2013.
- ECONSERVATION. **EIA do Porto Central de Presidente Kennedy/ES**. Relatório técnico. Vitória: Econservation, 2013.
- EKAU, W.; KNOPPERS, B. **JOPS-II**. Cruise report and first results. Sedimentation processes and productivity in the continetal Shelf waters off East and Northeast Brazil. Bremen: Center for Tropical Marine Ecology, 1996.
- LABOMAR. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 2ª e 3ª campanhas de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Matinhos, PR: Labomar, 2008.
- NUTRIPETRO. **Estudo de impacto ambiental**: terminal portuário de uso múltiplo da NutriPetro. São Paulo: NutriPetro, jul. 2013.
- PERENCO. **EIA – atividade de perfuração marítima dos blocos BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41**. Bacia do Espírito Santo. Perenco, dez., 2009.
- PETROBRAS. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental**. Gasoduto Cacimbas – CATU. Revisão da Diretriz do EIA. Tomo I/IV. Espírito Santo: Petrobras, mar. 2006.
- PETROBRAS. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental para o Gasoduto Sul Norte Capixaba**. COM RT 086/10. Espírito Santo: Petrobras, 2011.
- SECRETARIA DE ESTADO PARA ASSUNTOS DO MEIO AMBIENTE (SEAMA). **Projeto monitoramento da qualidade das águas costeiras no estado do Espírito Santo**: campanha de campo. Relatório técnico. Belo Horizonte: SEAMA, dez. 1992.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES). **Resultados parciais das análises realizadas em amostras coletadas na plataforma adjacente a foz do Rio Doce, APA Costa das Algas e Plataforma de Abrolhos**: Embarque Solocy Moura. Relatório técnico parcial. Vitória: UFES, 2016.

Os dados disponíveis localizados na região da busca bibliográfica abrangeram a região costeira desde o município de Presidente Kennedy no sul do Espírito Santo até o município de Linhares no norte do Espírito Santo, conforme pode ser visualizado na Figura 437. A localização dos dados dos estudos mencionados pode ser visualizada com mais detalhes nos mapas de localização dos dados disponíveis durante a estação chuvosa (**Apêndice R**) e seca (Apêndice S).

Figura 437 – Localização dos dados de qualidade da água resultantes da busca bibliográfica.



Na caracterização das condições ambientais da zona costeira do estado do Espírito Santo, os estudos levantados foram separados em grupos, de acordo com o município costeiro onde cada estudo foi realizado. Também foram utilizados resultados das últimas estações de monitoramento do rio Doce antes da sua foz (estações 56998000, 56998300, 56998500 conforme disponibilizadas pela ANA no portal Hidroweb) de forma a se obter uma referência sobre as condições de suas águas no período anterior a seu deságue no ambiente marinho, e verificar eventuais influências de aportes continentais sobre o ambiente costeiro. Além disso, foram inseridos dados oriundos de estudos localizados na porção média e exterior da plataforma continental, com o objetivo de se avaliar as características de águas oceânicas, mais distantes de eventuais influências de rios, e eventuais influências dessas águas sobre as características encontradas nas regiões mais próximas à costa. Por fim, com vistas à avaliação da influência da sazonalidade nos resultados dos parâmetros de qualidade de águas costeiras, os conjuntos de dados foram divididos em "período seco" e "período chuvoso". Na região, o período chuvoso ocorre, normalmente, entre outubro e março, e o período seco, entre abril e setembro (IGAM, 2016).

Os parâmetros utilizados nessa caracterização foram aqueles considerados importantes para a avaliação da qualidade ambiental, como pH e oxigênio dissolvido, bem como parâmetros que, além de avaliar o ambiente qualitativamente, permitem identificar a influência de ambientes continentais ou oceânicos, como temperatura, salinidade, sólidos suspensos totais, turbidez, nutrientes e elementos como ferro e fósforo total. Outros parâmetros foram inseridos neste estudo por apresentarem um volume consistente de dados na região (ex.: clorofila-a) e por possuírem limites definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (ex.: alumínio dissolvido e bário total). Convém destacar que as águas da região costeira em estudo não possuem enquadramento definido, desse modo, os limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras e salinas foram utilizados a título de comparação. Já para o rio Doce, utilizaram-se os limites da Classe 2 para água doce como padrão.

Os parâmetros foram avaliados considerando seu comportamento entre períodos seco e chuvoso, permitindo, assim, comparar épocas do ano com diferentes graus de influência de aportes continentais, e entre os ambientes continental (rio Doce), costeiro e oceânico.

Paralelamente a essa abordagem, foi avaliado o comportamento de cada parâmetro em relação às diferentes massas de água encontradas no ambiente marinho. Essas massas de água são caracterizadas principalmente pelos resultados de temperatura e salinidade de cada local, e sua profundidade de ocorrência, apresentando diferentes graus de influência de ambientes continentais e oceânicos.

3.9.2.2 Avaliação da comunidade fitoplanctônica

Extensa pesquisa bibliográfica foi realizada buscando informações sobre o fitoplâncton da região costeira próximo à foz do rio Doce, anteriores ao rompimento da barragem de Fundão ocorrido em 5 de novembro de 2015. Livros, teses de doutorado, dissertações de mestrado, monografias de conclusão de curso, publicações científicas nacionais e internacionais, relatórios técnicos e demais dados obtidos em bases de dados científicos e literatura especializada foram consultados. As informações de riqueza e ocorrência de espécies do fitoplâncton marinho foram compiladas na Tabela 158 do item 3.9.3.2.

3.9.2.3 Avaliação da comunidade zooplanctônica

A área de estudo para a composição da linha-base do zooplâncton marinho, referente às informações anteriores ao desastre ocorrido em Mariana (MG), em 5 de novembro de 2015, foi definida inicialmente para a região litorânea do Espírito Santo, com limites: ao sul – bacia de Campos, que ocupa o litoral norte do Rio de Janeiro e litoral sul do Espírito Santo (BASTOS, 2015); e ao norte – Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, que se encontra na área de Abrolhos, localizada, pela costa, entre as cidades de Prado e Nova Viçosa no extremo sul da Bahia (IBAMA, 1991).

Foram realizadas buscas por publicações em bases de dados científicos, assim como em bibliografia especializada, referentes ao zooplâncton marinho. A busca abrangeu livros, artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, teses de doutorado e dissertações de mestrado, trabalhos publicados em eventos técnicos e acadêmicos e documentos técnicos como relatórios de monitoramento ambiental, estudos de impactos, entre outros. Foram utilizadas combinações de palavras-chave tanto em português quanto em inglês: zooplâncton (*zooplankton*), Espírito Santo, Abrolhos, Bacia de Campos (*Campos Basin*), Sudeste do Brasil (*Southeastern Brazil*). Todos os trabalhos encontrados, com dados anteriores ao dia 5 de novembro de 2015, foram analisados.

3.9.3 Resultados

3.9.3.1 Resultados dos dados físicos e químicos da qualidade da água

Características gerais

Uma massa de água oceanográfica é um corpo de água identificável com uma história de formação comum que possui propriedades físicas distintas da água circundante. As propriedades que definem a massa de água incluem temperatura, salinidade, proporções químio-isotópicas e outras características físicas. As massas de água, geralmente, são distinguidas não apenas por suas respectivas propriedades, mas também pela sua localização nos oceanos. Estas também se distinguem pela sua posição vertical, de modo que existem massas de água de superfície, massas de água intermediárias e massas de águas profundas.

De acordo com a classificação utilizada por Dias, Araujo e Bonecker (2009), as massas de água que ocorrem no Espírito Santo são: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Costeira (AC) e Água de Mistura (AM). A distribuição da temperatura e da salinidade nas bacias oceânicas fornece informações valiosas sobre massas de água, correntes, processos de mistura e outros componentes físicos do meio marinho. Por outro lado, a proximidade das massas terrestres influencia as características físico-químicas do oceano, pois, além de ser uma barreira para seu fluxo, é onde ocorre a entrada de água doce através de descargas de rios e do influxo de águas subterrâneas. Assim, a salinidade das águas do oceano costeiro, muitas vezes, varia consideravelmente, com as águas superficiais apresentando níveis reduzidos em comparação com o oceano aberto, particularmente perto da foz dos grandes rios (KENNISH, 2000).

Temperatura e salinidade

Os maiores registros de temperatura das águas da região costeira do Espírito Santo foram verificados em amostras superficiais próximo ao litoral de Anchieta e Aracruz e da região oceânica, onde foram observados valores em torno de 29 °C, bem como nas amostras do rio Doce, onde as temperaturas superaram os 31 °C. Esses valores mais elevados estão, geralmente, relacionados com águas rasas e/ou próximo ao continente. Já temperaturas mais baixas foram observadas em amostras oriundas de camadas mais profundas e/ou em pontos mais distantes da costa, como no caso dos valores inferiores a 20 °C verificados na região costeira de Aracruz, de Linhares, na foz do rio Doce e em amostras da região oceânica. Com relação aos resultados de salinidade, estes também são influenciados pela proximidade do ambiente costeiro, tendo sido verificados os menores valores nas amostras mais próximas à costa em Aracruz e de Vila Velha a Serra (Figura 438 e Figura 439).

Figura 438 – Valores de temperatura (°C) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

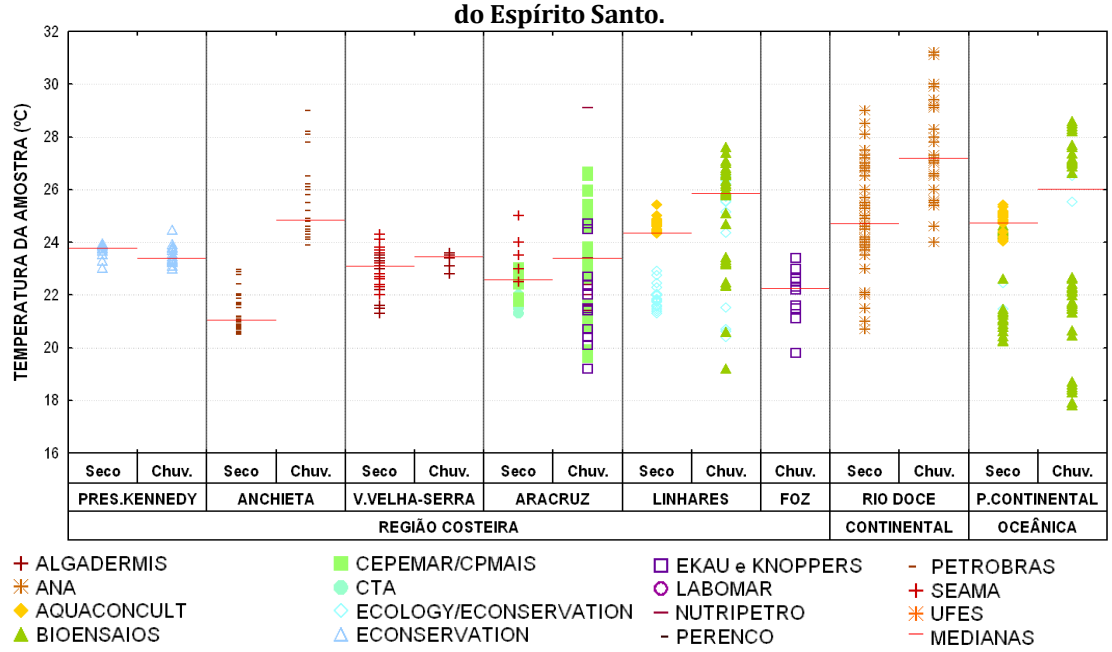
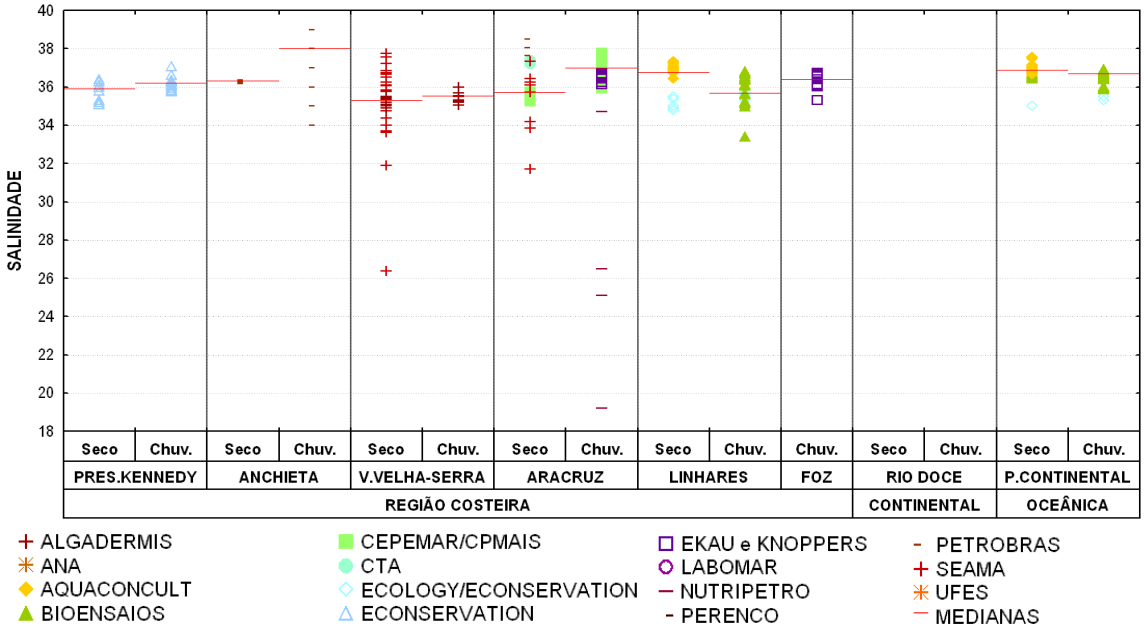


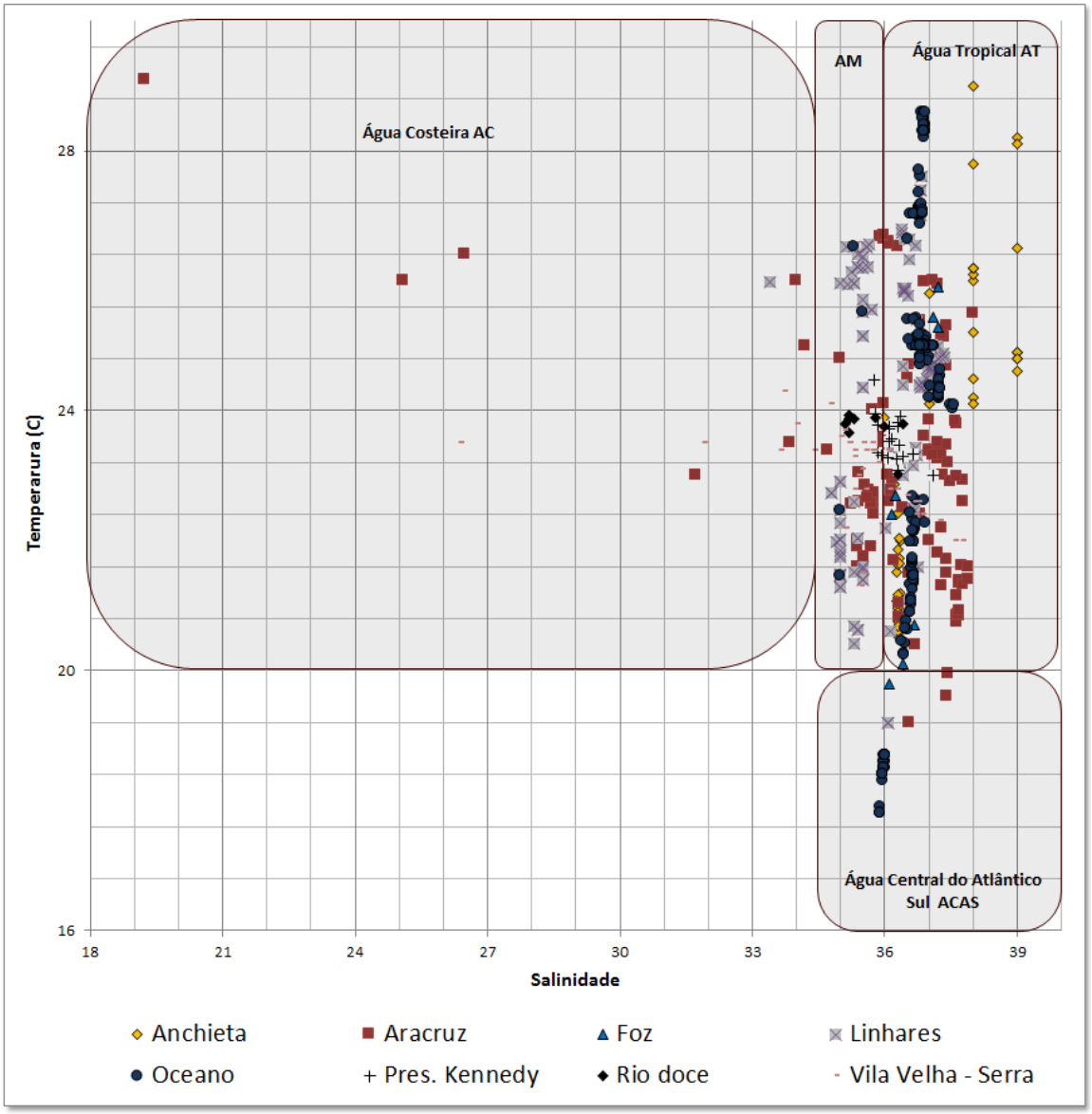
Figura 439 – Valores de salinidade verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.



De acordo com a classificação utilizada por Dias, Araujo e Bonecker (2009), verificou-se na região um predomínio de amostras sobre a influência da AT (temperaturas superiores a 20 °C e salinidades acima de 36) com ocorrência em Vila Velha-Serra, Aracruz e Linhares de padrões característicos da AC (temperatura superior a 20 °C e salinidade inferior a 34,5), além da existência AM (temperaturas acima de 20° e salinidades entre 34,5 e 36) em todas as regiões marinhas. A AT é parte da massa de água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul tropical e que é transportada pela Corrente do Brasil, oriunda das condições de intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação verificadas do Atlântico tropical. Em seu trajeto rumo ao Sul, a Corrente do Brasil se mistura com águas de origem costeira, de menor salinidade. No caso das amostras de temperaturas inferiores a 20 °C, verificou-se a influência da ACAS, formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical (SILVEIRA et al., 2000). De acordo com Ekau e Knoppers (1996), a ocorrência da ACAS sob a pluma do rio Doce (região de distância superior a 5 km da foz) e em um ponto amostrado em Comboios indica para a presença do processo de ressurgência de águas profundas na região, através da ação do vento e da topografia de fundo. A Figura 440 apresenta a distribuição dos pontos amostrais de acordo com a tipologia das massas de água.

Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 são definidas como águas salinas aquelas cuja salinidade for igual ou superior a 30, enquanto que águas doces apresentam salinidade igual ou inferior a 0,5 e águas salobras, salinidades entre 0,5 e 30. Com exceção dos três resultados obtidos pela NutriPetro (2013) próximo ao rio Riacho (Aracruz) e um verificado por SEAMA (1992) próximo à desembocadura do rio Jucu (Vila Velha-Serra), que apresentaram valores caracterizados como águas salobras, todas as demais amostras deste levantamento apresentaram resultados classificados como águas salinas.

Figura 440 – Tipologia das massas de água no momento das amostragens dos estudos considerados neste relatório.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Potencial Hidrogeniônico (pH)

Entre os dados obtidos na bibliografia para o ambiente marinho do Espírito Santo, verificou-se que os menores valores de pH foram registrados no litoral de Pres. Kennedy, Anchieta, Aracruz, Vila Velha-Serra e na região oceânica, onde ocorreram valores de pH entre 7,1 e 7,3, enquanto que os maiores valores (superiores a 8,5) ocorreram no estaleiro Jurong (Aracruz). Os valores medianos de cada região foram mais elevados no período seco, exceto na região de Vila Velha-Serra, onde a mediana foi a mesma em ambos os períodos.

Na região do rio Doce, observou-se uma grande amplitude de valores de pH, variando de 5,5 até próximo de 8,5, com mediana em 7,1 no período seco e em 6,8 no período chuvoso.

Não foram obtidos dados de pH para a região da foz do rio Doce (Figura 441). O pH da água do mar tipicamente se limita à faixa entre 7,5 e 8,4, porém menores valores em regiões próximo ao litoral são indicativos da influência de aportes continentais na região costeira adjacente (REZENDE et al., 2006).

Apesar de ser considerado um parâmetro abiótico, os valores de pH no ambiente marinho são estabelecidos pela presença do sistema carbônico. Dessa forma, modificações nas concentrações de gás carbônico e de carbonatos devido à fotossíntese, respiração, trocas oceano-atmosfera e precipitação podem gerar variações desse parâmetro.

Os resultados obtidos em Barra do Riacho (Aracruz) apresentaram resultados superiores ao limite superior estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salinas e salobras (valores de pH entre 6,5 e 8,5), com os resultados obtidos nas demais regiões marinhas se mantendo de acordo com essa resolução. Para águas doces, os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 é de valores de pH entre 6 e 9, de forma que alguns resultados obtidos no rio Doce apresentaram valores de pH inferiores ao definido pela legislação

Figura 441 – Valores de pH verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

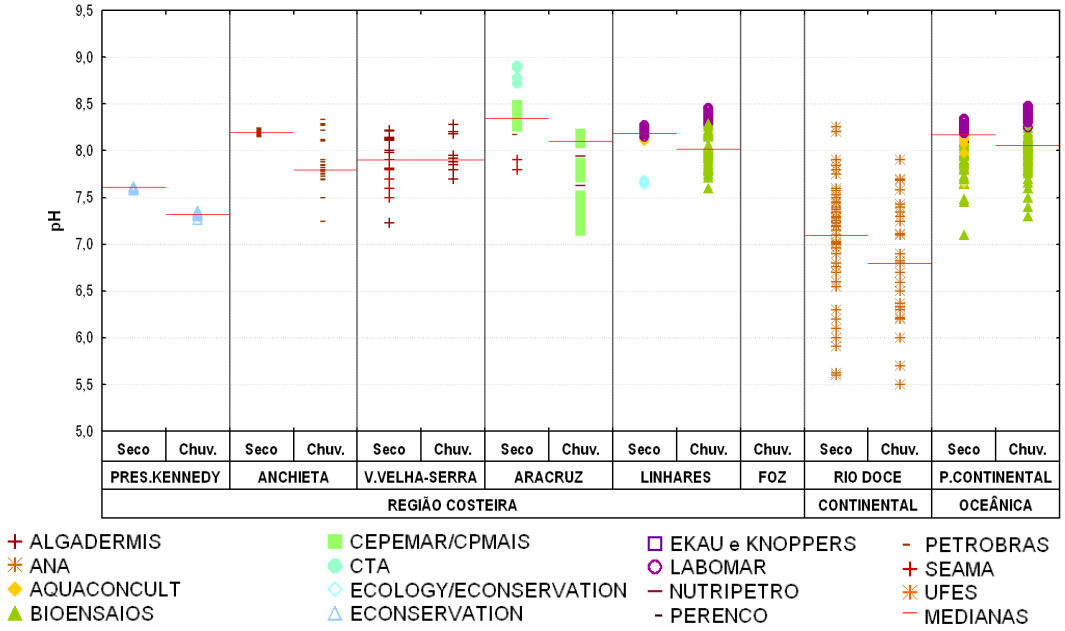
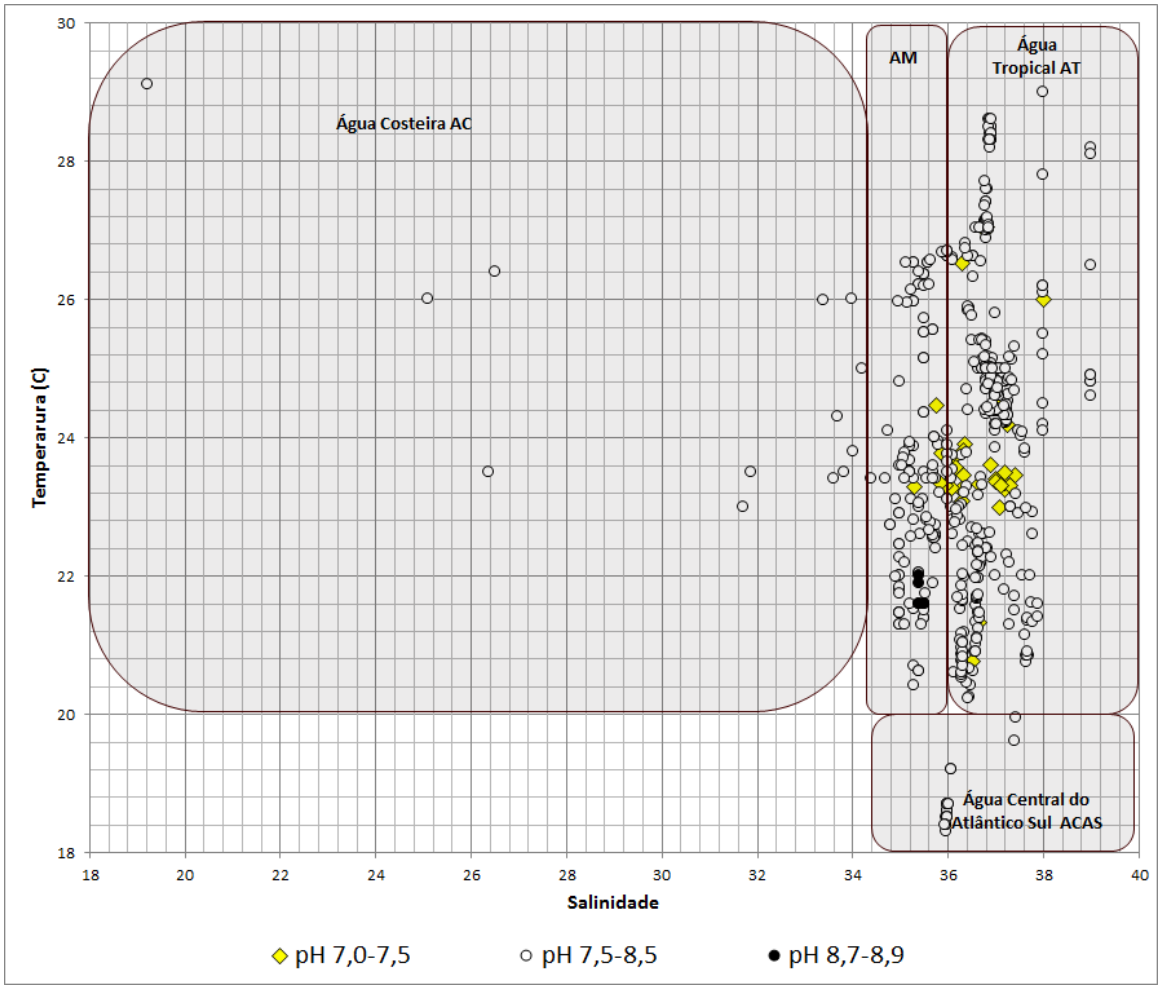


Figura 442 – Distribuição de 3 classes de resultados de pH conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Oxigênio Dissolvido (OD)

Os resultados de oxigênio dissolvido reportados nos estudos realizados no ambiente marinho do estado do Espírito Santo apresentaram valores que variaram de concentrações inferiores a 5 mg/L (Vila Velha-Serra, Aracruz e Oceano) a níveis superiores a 10 mg/L (Anchieta e Aracruz). Com exceção de Anchieta e Vila Velha-Serra, as maiores medianas de oxigênio dissolvido ocorreram no período seco. Os resultados obtidos nas estações de monitoramento do rio Doce mantiveram-se dentro do intervalo verificado no ambiente marinho, com mediana mais elevada também no período seco, sendo que, tanto no período seco quanto no chuvoso, as medianas verificadas no rio Doce foram superiores às verificadas nas regiões marinhas. Não foram encontrados dados de oxigênio dissolvido para a região da foz do rio Doce (Figura 443).

O limite de solubilidade do oxigênio na água é dependente da temperatura e da salinidade. A concentração de oxigênio na água do mar é controlada por fluxos através da interface água-atmosfera e por assimilação (respiração) e dissimilação (fotossíntese) biológica

(GRASSHOFF; EHRHARDT; KREMLING, 1983). Conforme esses autores, a maior concentração de oxigênio esperada para uma amostra dentro dos limites de temperatura e salinidade verificados neste levantamento seria de 9,95 mg/L. Dessa forma, concentrações acima desse valor, verificadas por Petrobras (2011) na região do município de Anchieta e por Petrobras (2007) em Barra do Riacho (Aracruz), poderiam ser explicadas por um processo de supersaturação provocado pela atividade fotossintética ou, então, estariam relacionadas à presença de oxigênio na forma gasosa (bolhas de ar) durante a amostragem e não corresponderiam à fração dissolvida de oxigênio.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, os níveis estabelecidos de oxigênio dissolvido para águas salinas são de valores não inferiores a 6 mg/L para águas Classe 1, não inferiores a 5 mg/L para a Classe 2 e não inferiores a 4 mg/L para a Classe 3, com os limites para águas salobras sendo de 5, 4 e 3 mg/L para as Classes 1, 2 e 3, respectivamente. Dessa forma, na região de Linhares, os valores obtidos mantiveram-se de acordo com os padrões estabelecidos para a Classe 1. Já nas regiões de Pres. Kennedy e Anchieta, observou-se a ocorrência de valores condizentes com as Classes 1 e 2, enquanto que, nas regiões de Vila Velha-Serra e Aracruz, as águas apresentaram valores condizentes com as Classes 1, 2 e 3. Avaliando os dados de oxigênio dissolvido pelas medianas, verifica-se que, exceto na região de Anchieta no período seco, todas as demais regiões apresentaram resultados predominantemente superiores a 6 mg/L.

Para as águas doces, tanto no período chuvoso quanto no período seco, os valores mantiveram-se predominantemente superiores a 6 mg/L.

Figura 443 – Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

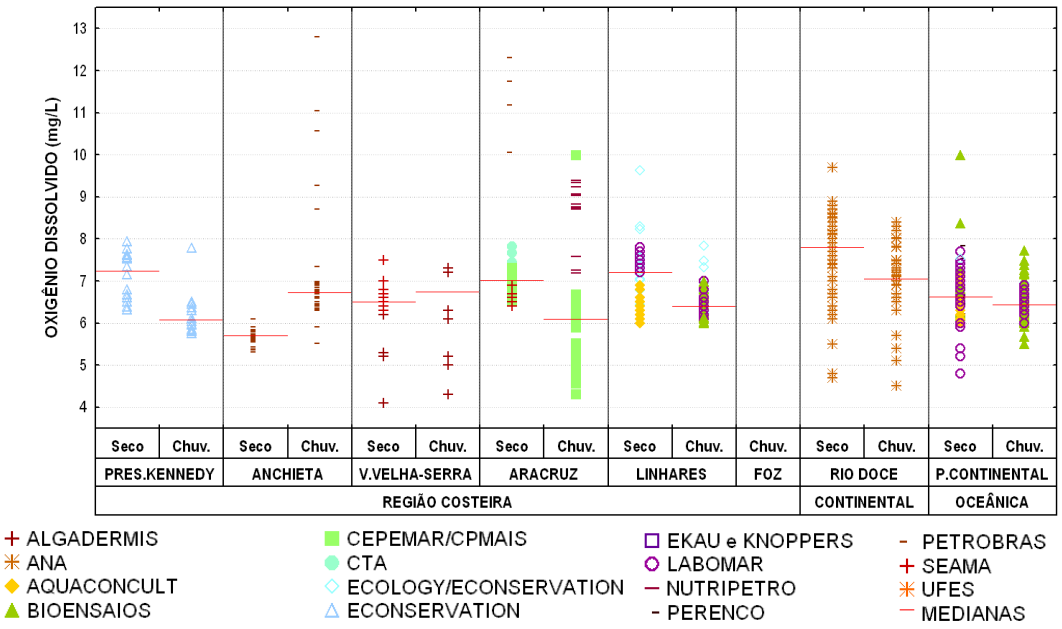
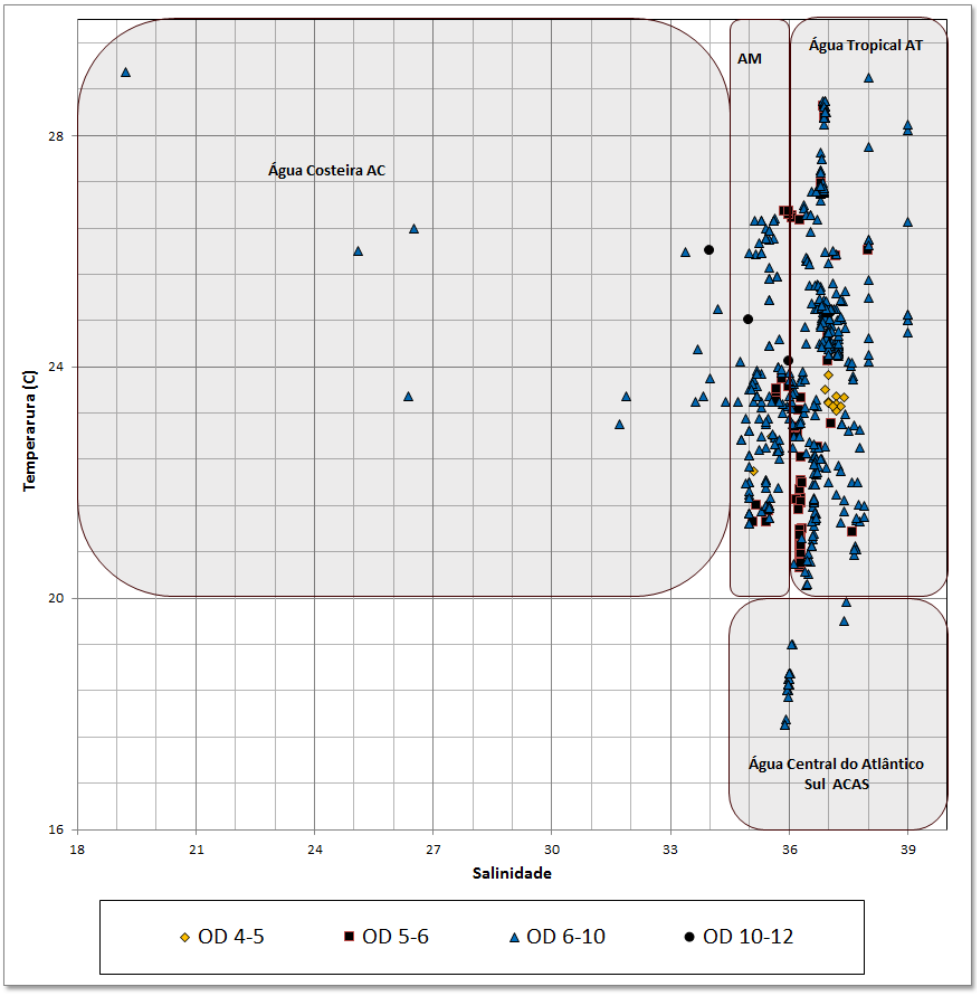


Figura 444 – Distribuição de 4 classes de resultados de OD conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Demanda Bioquímica de Oxigênio

Com relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), não foram encontrados dados de DBO para as regiões de Pres. Kennedy e da foz do rio Doce, enquanto que na região de Aracruz todos os resultados obtidos mantiveram-se abaixo do limite de quantificação. A região oceânica apresentou DBO de até 5 mg/L (Anchieta), sendo que nos períodos chuvosos em Linhares e região oceânica os resultados foram predominantemente abaixo dos limites de detecção ou quantificação, motivo pelo qual a linha de mediana não se mostra aparente. Já os

dados do rio Doce alcançam valores de DBO próximos a 12 mg/L, sendo os valores de mediana similares aos verificados em Anchieta e Vila Velha-Serra (Figura 445).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 apresenta valores máximos permitidos de DBO apenas para as classes de enquadramento da água doce. Os resultados máximos obtidos nessas amostras ultrapassaram o estabelecido para a Classe 2 (até 5 mg/L), porém as medianas dos períodos chuvoso e seco não passaram de 3 mg/L. O protocolo da análise de DBO é bem definido para águas doces e efluentes, porém é insatisfatório para águas salinas ou marinhas, uma vez que a maior parte da matéria orgânica dissolvida é resistente à oxidação microbiana (OGAWA et al., 2001; SIMON et al., 2001), de forma que esse parâmetro mostra-se pouco eficiente para avaliar efeitos antrópicos no ambiente marinho.

Figura 445 – Valores de demanda bioquímica de oxigênio (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

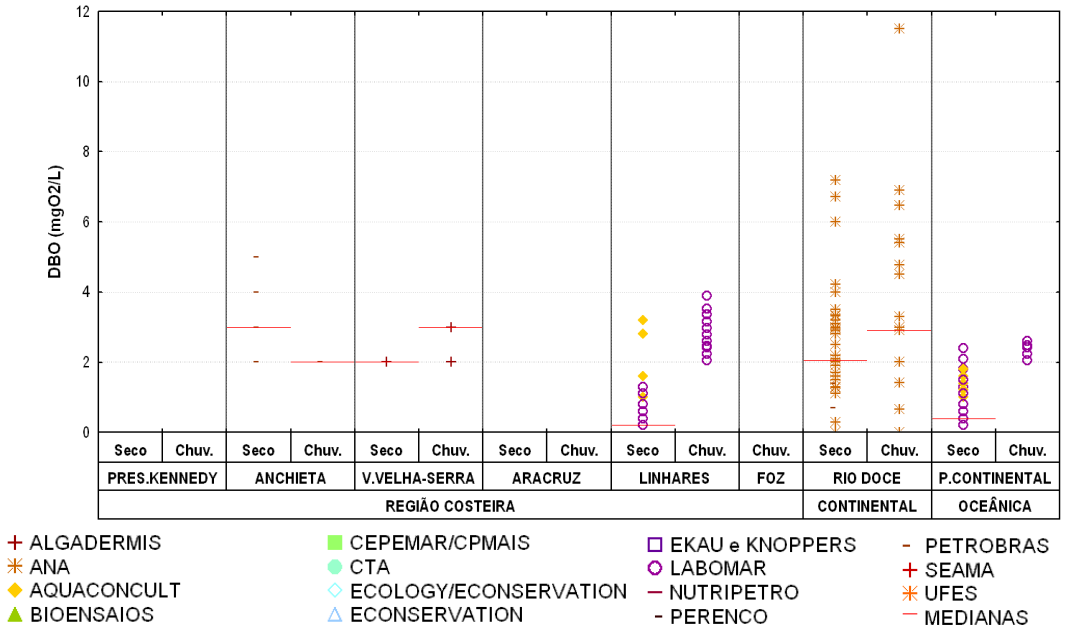
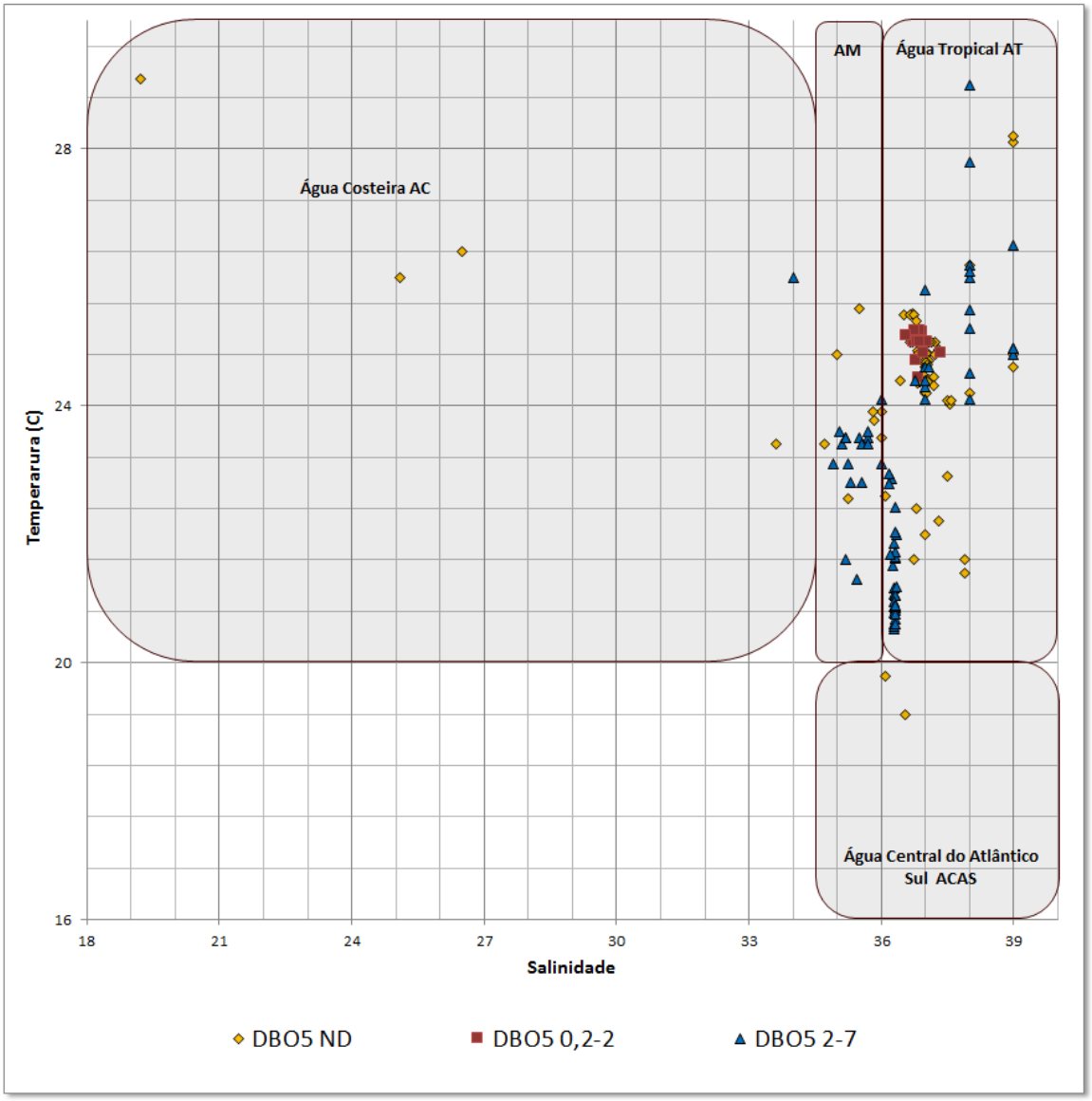


Figura 446 – Distribuição de 3 classes de resultados de DBO5 conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Sólidos Suspensos Totais e Turbidez

As concentrações de Sólidos Suspensos Totais (SSTs) verificados nos estudos do ambiente marinho do Espírito Santo variaram desde 0,3 mg/L, na região de Comboios (Aracruz) por Ekau e Knoppers (1996), até concentrações superiores a 100 mg/L, observadas na região de Pres. Kennedy (período seco) e Vila Velha-Serra (período chuvoso). Com relação aos pontos localizados no rio Doce, os valores de SSTs alcançaram a concentração de 538,22 mg/L no período chuvoso, período este cuja mediana foi de 150 mg/L. No período seco, as concentrações de SSTs também alcançaram valores elevados (máximo de 350 mg/L), porém com a mediana inferior à verificada em Pres. Kennedy no mesmo período (Figura 447).

No ambiente marinho, as maiores concentrações de SSTs são observadas em áreas costeiras uma vez que essas regiões são fortemente influenciadas pelo aporte continental, com concentrações superiores a 15 mg/L, sendo consideradas elevadas e indicativas da influência de rios (REZENDE et al., 2006). Essa influência dos aportes continentais pode ser verificada nos dados obtidos neste levantamento, uma vez que menores concentrações de SSTs foram constatadas em amostras de áreas oceânicas, localizadas na parte média e exterior da plataforma continental. O rio Doce é o segundo rio em produção de sedimentos em suspensão para a costa leste brasileira, contribuindo com 110 t/km^2.ano, atrás apenas do rio Mucuri, que aporta 220 t/km^2.ano (SOUZA; KNOPPERS, 2003). Sua vazão, no entanto, acompanha a pluviosidade da bacia, com vazões máximas entre novembro e abril e mínimas entre maio e outubro (ZOFFOLI; KAMPEL; FONSECA, 2011). Conforme Ecology Brasil (2013), a campanha de período seco realizada na região de Pres. Kennedy foi marcada por tempo instável e ventos moderados, cenário que favoreceu o aumento dos teores de material em suspensão nas amostras desse período, sendo que o período chuvoso apresentou condições de tempo mais estáveis, similar ao verificado em outros estudos nessa região.

Figura 447 – Valores de sólidos suspensos totais (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

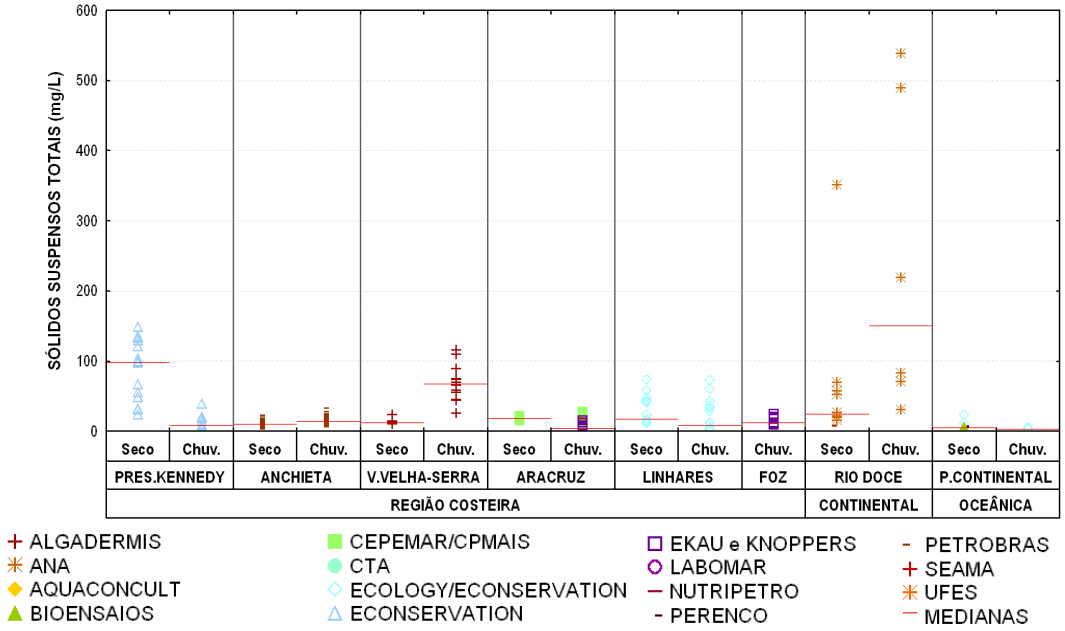
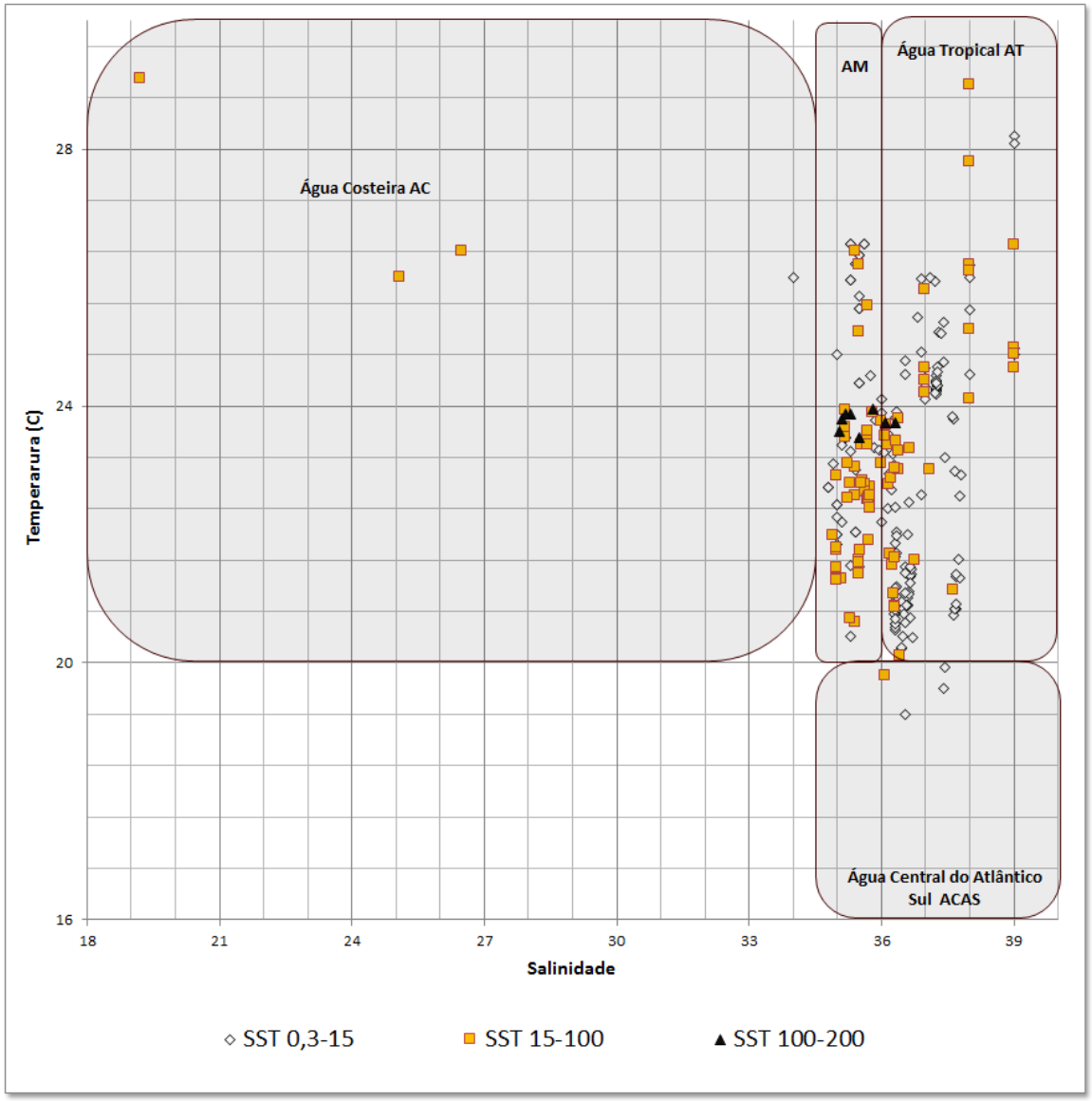


Figura 448 – Distribuição de 3 classes de resultados de SSTs conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Com relação aos resultados de turbidez verificados na literatura para o ambiente marinho do Espírito Santo, os valores variaram desde 0,00008 UNT na região de Anchieta (PETROBRAS, 2011) a 89 UNT em Pres. Kennedy (ECOLOGY BRASIL, 2013). Para os resultados do rio Doce, a turbidez variou de zero a 480 UNT, sendo que, apesar do maior valor ter sido verificado no período seco, a maior mediana ocorreu no período chuvoso, indicando um padrão de maior turbidez nesse último período (Figura 449). Os resultados de turbidez apresentaram comportamento similar ao verificado para SSTs. A turbidez é frequentemente utilizada como substituta da análise de SSTs, dada a estreita relação existente entre os dois parâmetros, porém, além da concentração de material em suspensão, existem outros fatores responsáveis pela turbidez da água, como coloides, matéria orgânica dissolvida e organismos microscópicos (MEDEIROS; MAGALHÃES, 2015).

Da mesma forma que verificado para DBO, os níveis de turbidez são classificados na Resolução CONAMA nº 357/2005 apenas para águas doces e os valores verificados no rio Doce alcançaram valores superiores ao estabelecido para a Classe 2 (até 100 UNT) nos períodos seco e chuvoso, no entanto a mediana do período seco apresentou-se mais baixa.

Figura 449 – Valores de turbidez (UNT) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

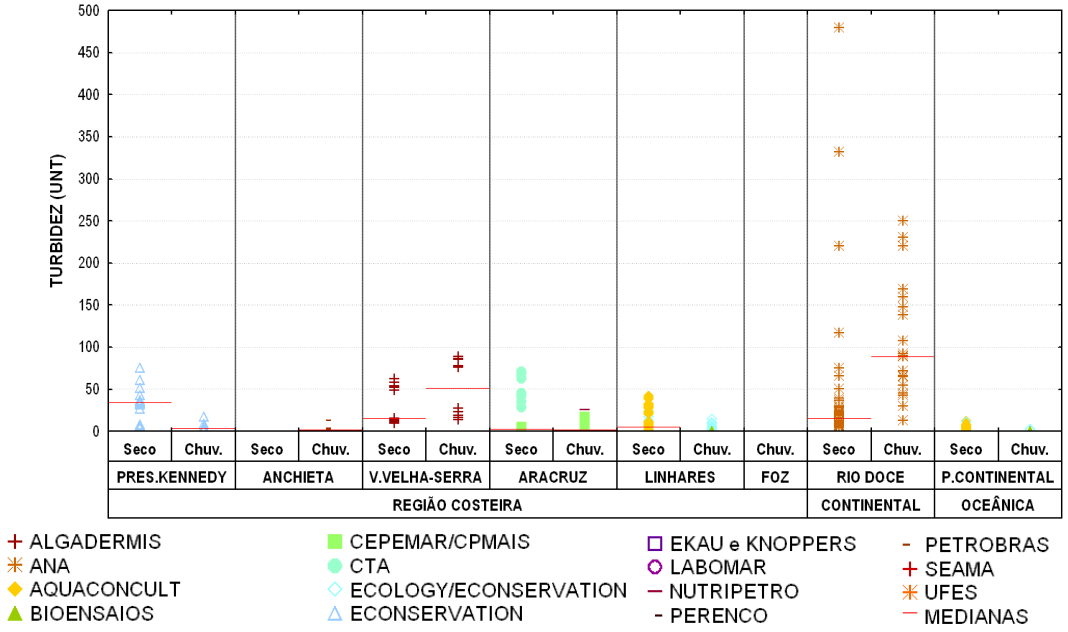
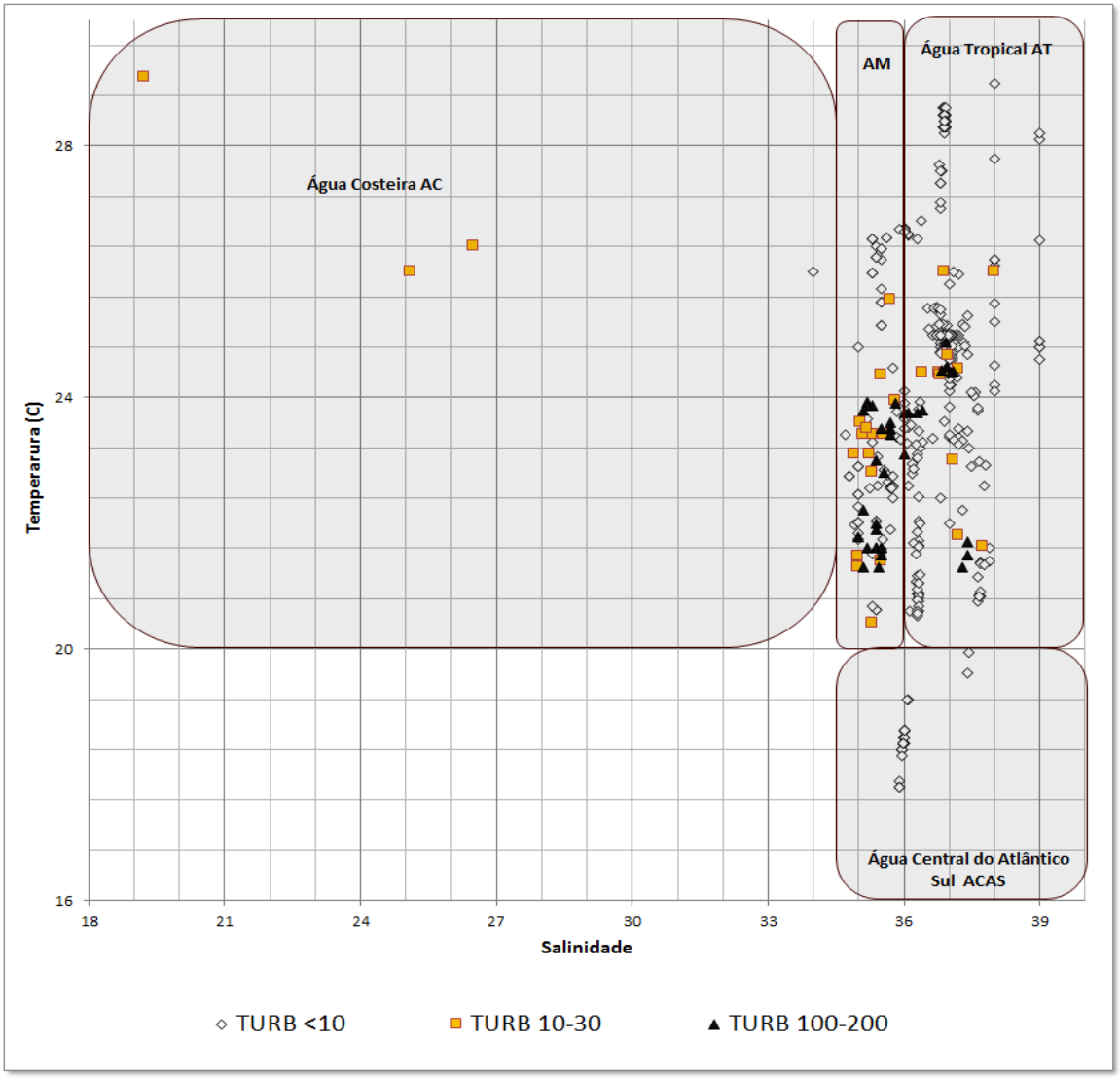


Figura 450 – Distribuição de 3 classes de resultados de Turbidez conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Nutrientes

O nitrogênio é o principal elemento nutriente limitante para a produção primária nas águas marinhas, com o aumento do carregamento de nitrogênio pelos estuários podendo causar problemas de eutrofização. Aproximadamente 10% do total de nitrogênio na água do mar consiste de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo o restante composto de nitrogênio na forma gasosa (N_2). Nitrato ($NO3^-$), nitrito ($NO2^-$) e amônia ($NH3^+NH4^+$) são as formas principais (KENNISH, 2000).

As concentrações de nitrogênio amoniacal verificado no ambiente marinho do Espírito Santo variaram desde concentrações não detectáveis, observadas em todas as amostras oceânicas, até 1,1 mg/L, em Aracruz no período chuvoso, sendo que em todas as áreas costeiras as concentrações foram predominantemente inferiores a 0,06 mg/L, inclusive

na região da foz do rio Doce onde a concentração máxima foi de 0,0154 mg/L. Nas amostras do rio Doce, as concentrações alcançaram 0,52 no período chuvoso e 0,42 mg/L no período seco, ocorrendo o predomínio de amostras abaixo do limite de detecção ou de quantificação, motivo da não ocorrência da linha mediana (Figura 451).

As concentrações de nitrogênio amoniacal são geralmente muito baixas no ambiente oceânico, no entanto, em regiões costeiras suas concentrações costumam ser mais elevadas devido ao aporte continental de matéria orgânica (REZENDE et al., 2006). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os valores de 0,4 e 0,7 mg/L de nitrogênio amoniacal para águas salinas e salobras Classe 1 e 2, respectivamente, de forma que, com exceção do valor máximo verificado em Aracruz no período chuvoso, todos os demais resultados para o ambiente marinho mantiveram-se de acordo com a Classe 1. Para águas doces, a resolução estabelece a concentração máxima de 1 mg/L (pH até 8,5) para águas salinas Classe 1, nível este mantido por todas as amostras do rio Doce avaliadas.

Figura 451 – Valores de nitrogênio amoniacal (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

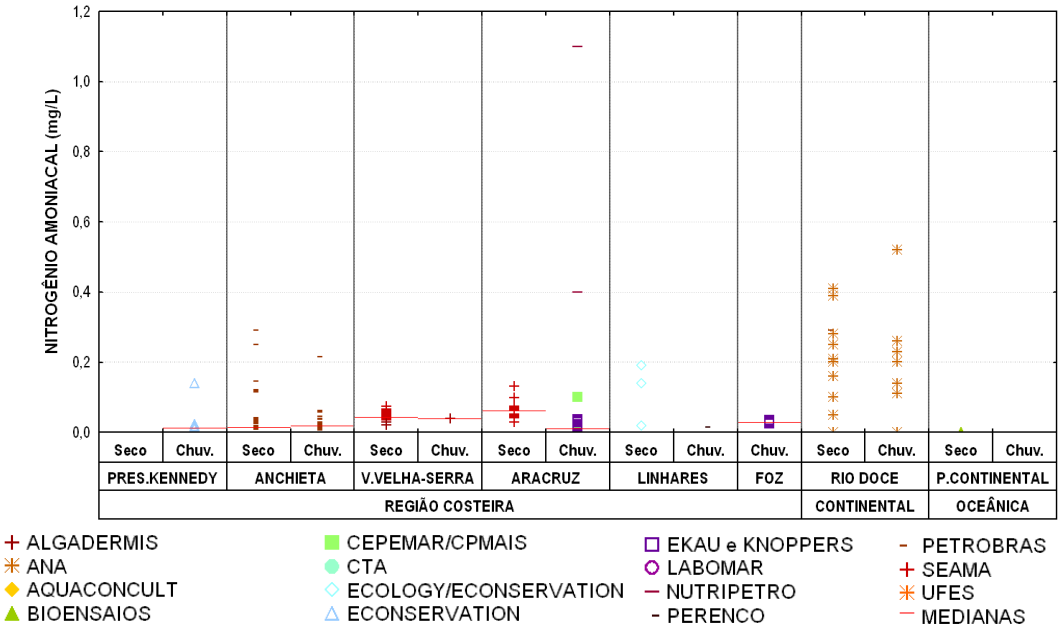
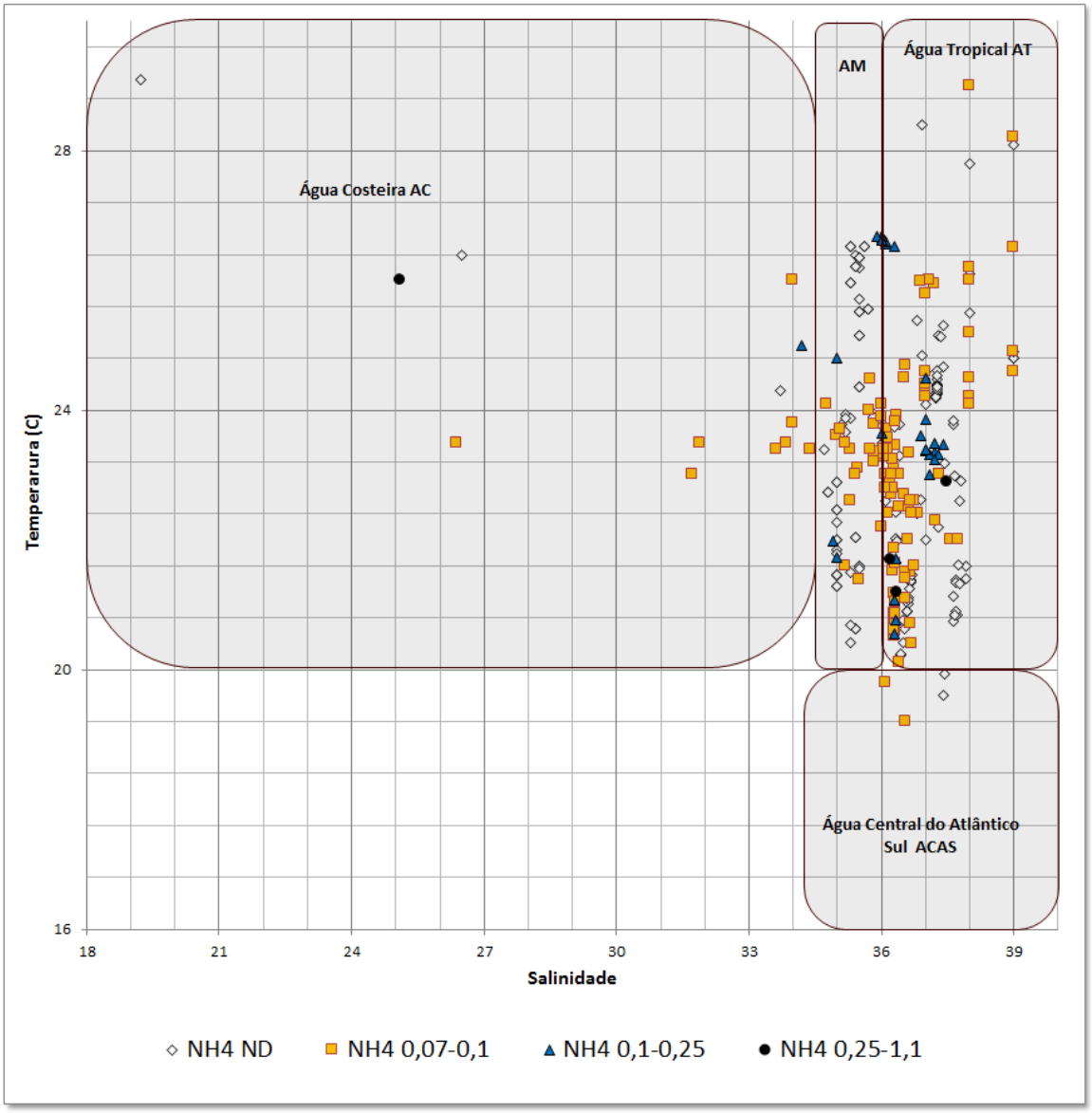


Figura 452 – Distribuição de 4 classes de resultados de nitrogênio amoniacal conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Para o nitrito, as concentrações observadas na região marinha do Espírito Santo variaram entre valores não detectáveis até 0,038 mg/L, verificado em Aracruz no período chuvoso, onde a concentração mediana foi de 0,01 mg/L. A região da foz do rio Doce não apresentou a mediana entre valores quantificáveis, onde a concentração máxima verificada foi de 0,0032 mg/L. Nas águas do rio Doce, as concentrações máximas de nitrito foram de 0,03 mg/L no período seco e 0,01 mg/L no período chuvoso, ocorrendo em ambos os períodos o predomínio de amostras com concentrações não detectáveis, motivo pelo qual as medianas não são apresentadas na Figura 453. As concentrações de nitrito são extremamente baixas em águas oceânicas e mais elevadas em regiões costeiras, seguindo o ciclo de utilização do nitrogênio pelo fitoplâncton (REZENDE et al., 2006).

Com relação às concentrações de nitrato, as concentrações verificadas no ambiente marinho variaram de concentrações não detectáveis a 2,7 mg/L (V. Velha-Serra). Todas as regiões apresentaram, porém, concentrações de nitrato predominantemente inferiores a 0,05 mg/L. Isso vale também para as amostras do rio Doce, onde predominaram valores não detectáveis, com concentração máxima de 0,98 mg/L no período seco (Figura 455). O nitrato é a forma oxidada mais estável do nitrogênio em solução aquosa, sendo regenerado por via bacteriana (nitrificação) a partir do nitrogênio orgânico. A regeneração, em geral, é menor que a assimilação, gerando baixas concentrações, principalmente no ambiente oceânico (BAUMGARTEN; ROCHA; NIENCHESKI, 1996).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite estabelecido de nitrito para águas salinas e salobras Classe 1 é de 0,07 mg/L e, para águas doces, 1 mg/L, de forma que todos os resultados levantados se mantiveram de acordo com o padrão estabelecido para essa classe, tanto no ambiente marinho quanto no rio Doce. Já para nitrato, cinco amostras da região costeira de V. Velha-Serra no período seco ultrapassaram não só o limite para águas salinas Classe 1 (0,4 mg/L) quanto para a Classe 2 (0,7 mg/L), ressaltando que nessa região, no período seco, a maioria dos resultados apresentou concentração inferior a 0,02 mg/L. No rio Doce, todas as amostras apresentaram concentrações inferiores a 1 mg/L.

Figura 453 – Valores de nitrito (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

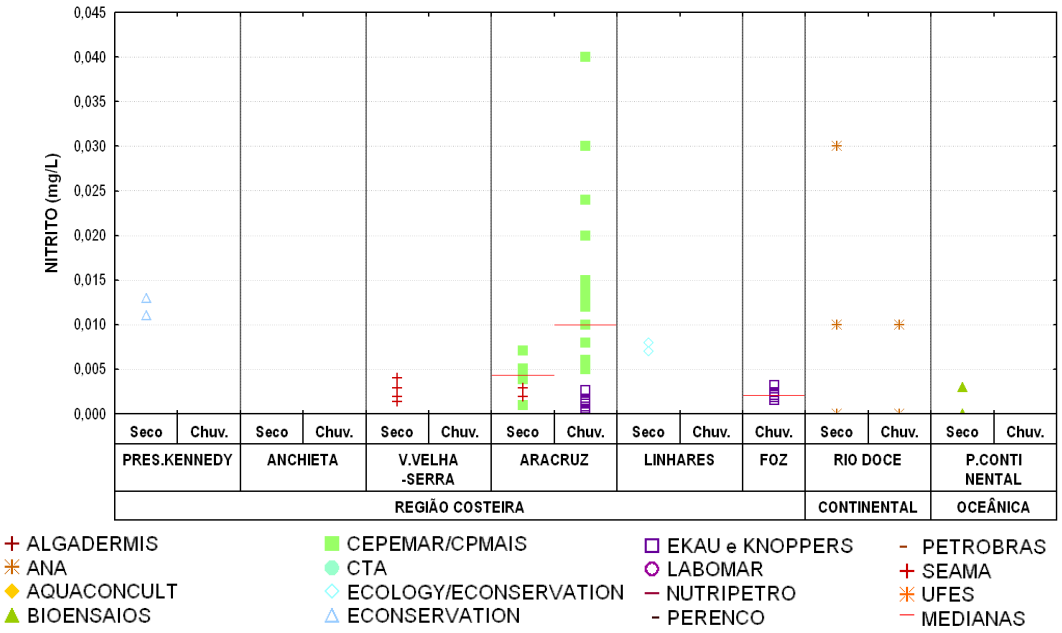
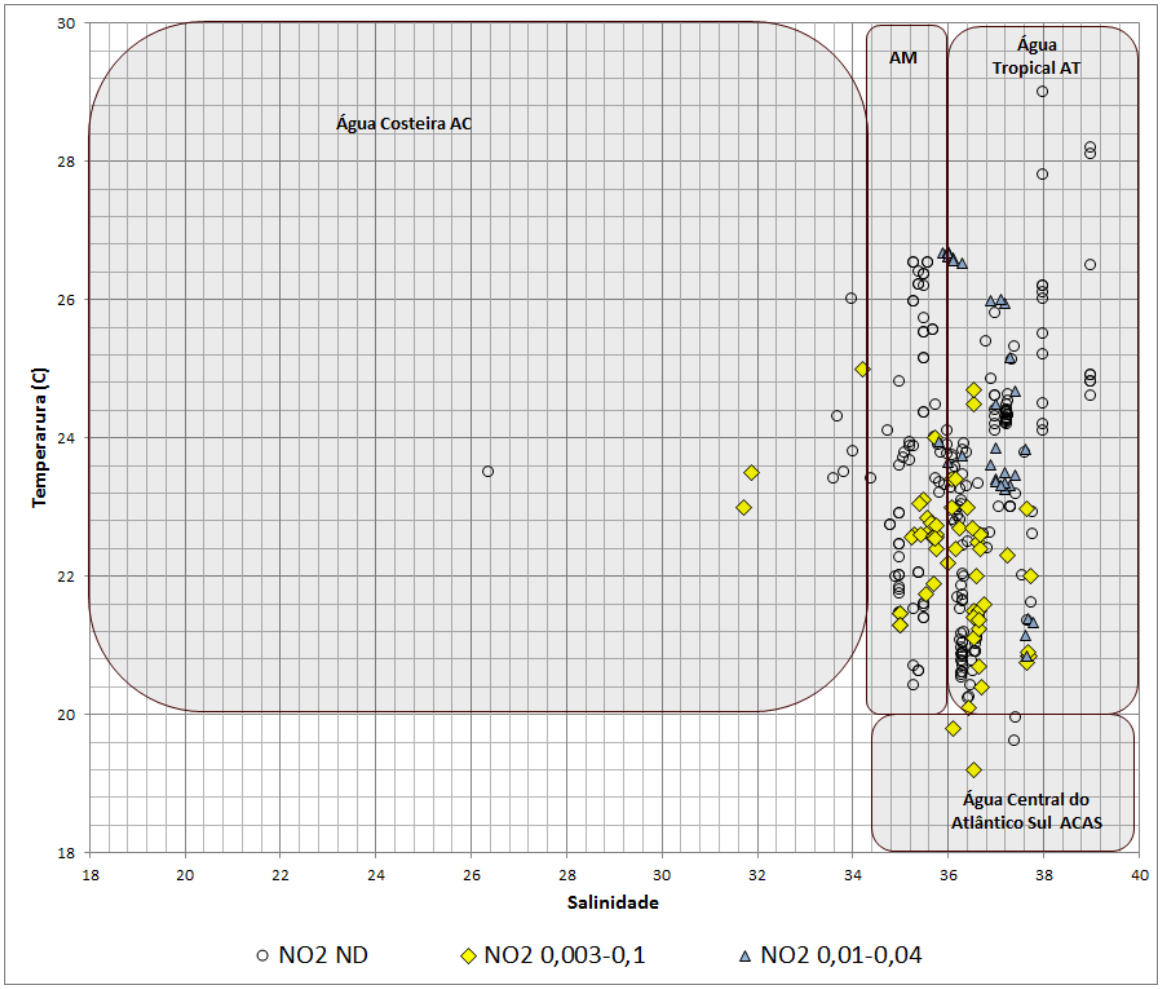


Figura 454 – Distribuição de 3 classes de resultados de nitritos conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Figura 455 – Valores de nitrato (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

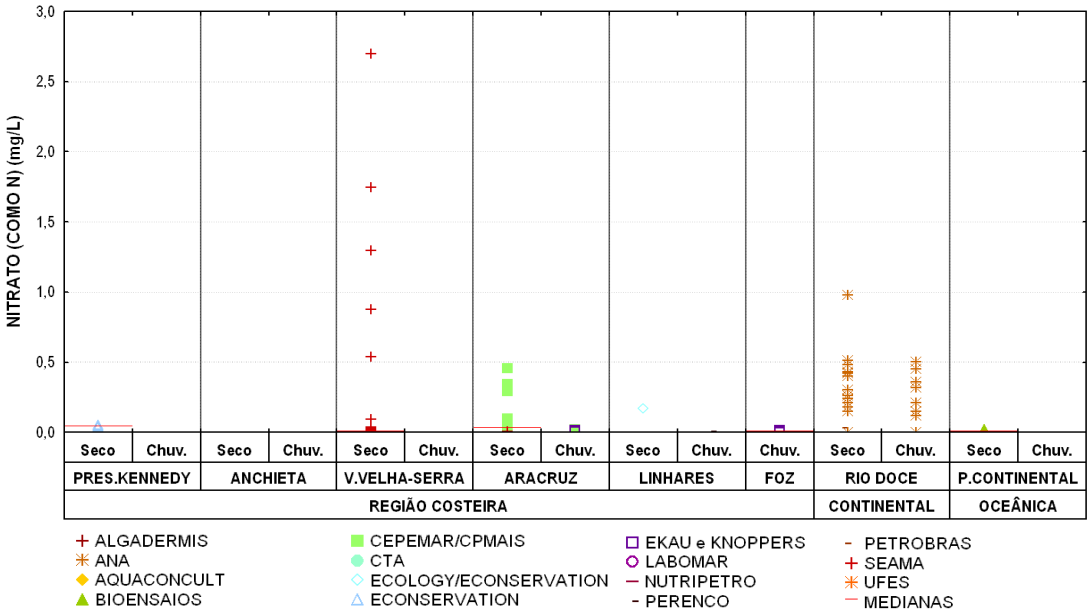
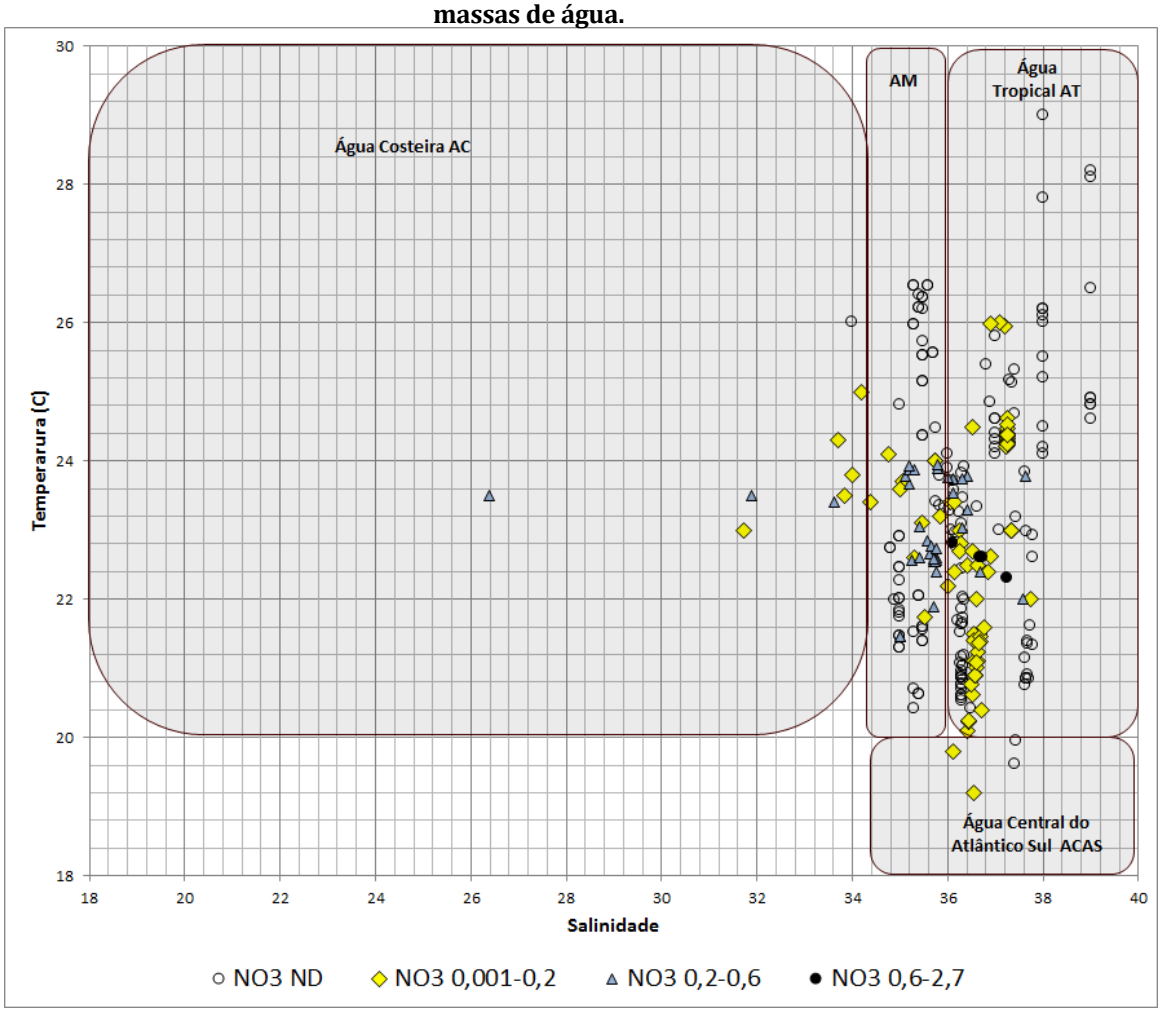


Figura 456 Distribuição de 4 classes de resultados de nitratos conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Em algumas regiões costeiras, a produção primária também pode ser limitada pelas concentrações de fósforo em alguns períodos do ano. A razão nitrogênio/fósforo em águas marinhas (aproximadamente 16:1) se aproxima da verificada no fitoplâncton, com a razão verificada em ambientes marinhos podendo apresentar uma ampla faixa de variação (KENNISH, 2000).

As concentrações de fosfato nas amostras de origem marinha variaram de valores não detectáveis a 0,088 mg/L, verificado na região de Aracruz no período chuvoso. A maior mediana em regiões costeiras foi de 0,03 mg/L, observada na região de Linhares no período seco, com o predomínio de concentrações não detectáveis na região oceânica e concentrações inferiores a 0,01 mg/L na foz do rio Doce. Nas águas do rio Doce, as amostras apresentaram concentrações predominantemente não detectáveis, com a concentração máxima (0,1 mg/L) sendo verificada no período seco (Figura 457). Concentrações inferiores a 0,03 mg/L caracterizam ambientes oceânicos oligotróficos, com concentrações mais elevadas associadas à ressurgência de águas profundas ou à proximidade de regiões estuarinas como do rio Doce, sendo o fosfato um parâmetro indicativo do enriquecimento de águas costeiras pelo aporte continental (REZENDE et al., 2006). As concentrações de fosfato foram predominantemente inferiores a 0,03 mg/L nas regiões costeiras, mantendo-se totalmente abaixo desse nível na região oceânica e nas amostras da foz do rio Doce.

Para fósforo total, os resultados obtidos no ambiente marinho variaram de concentrações não detectáveis a 0,82 mg/L em Aracruz no período chuvoso, com a maior mediana ocorrendo em Pres. Kennedy no período chuvoso (0,06 mg/L). Nenhuma amostra apresentou concentração detectável nas regiões de V. Velha-Serra, de Linhares, da foz do rio Doce e região oceânica. No rio Doce, as amostras de água alcançaram a concentração máxima de 0,4 mg/L no período seco (Figura 458). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite de 0,062 mg/L de fósforo total para águas salinas Classe 1, limite ultrapassado por apenas uma amostra de Aracruz. Para águas doces, o limite estabelecido para Classe 2 de ambientes lóticos é de 0,1 mg/L, nível ultrapassado por amostras dos períodos chuvoso e seco e pela mediana do período seco.

Figura 457 – Valores de fosfato (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

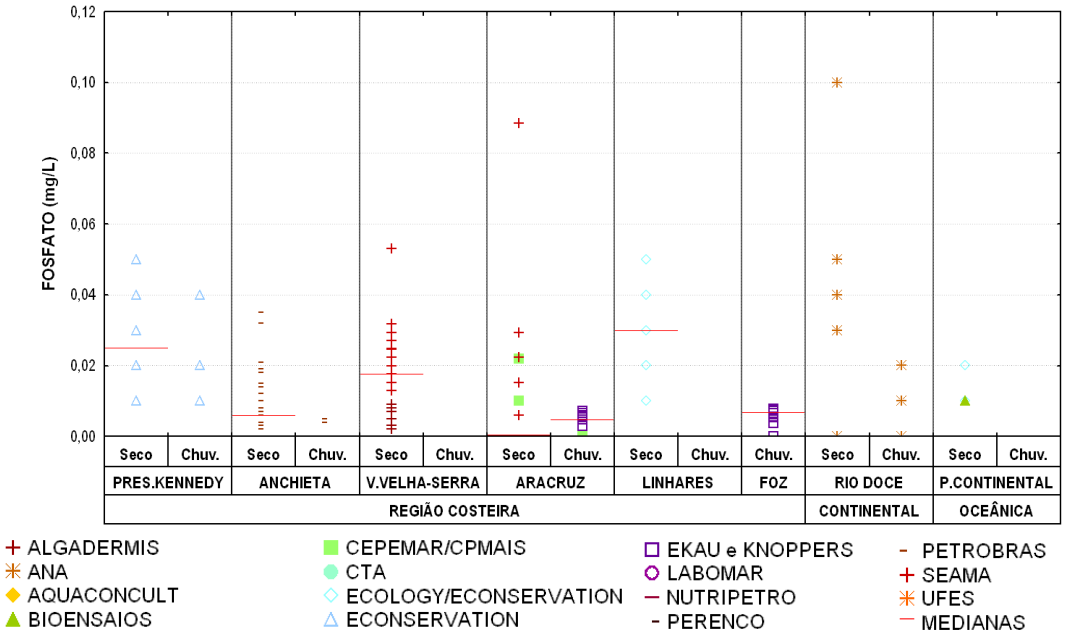
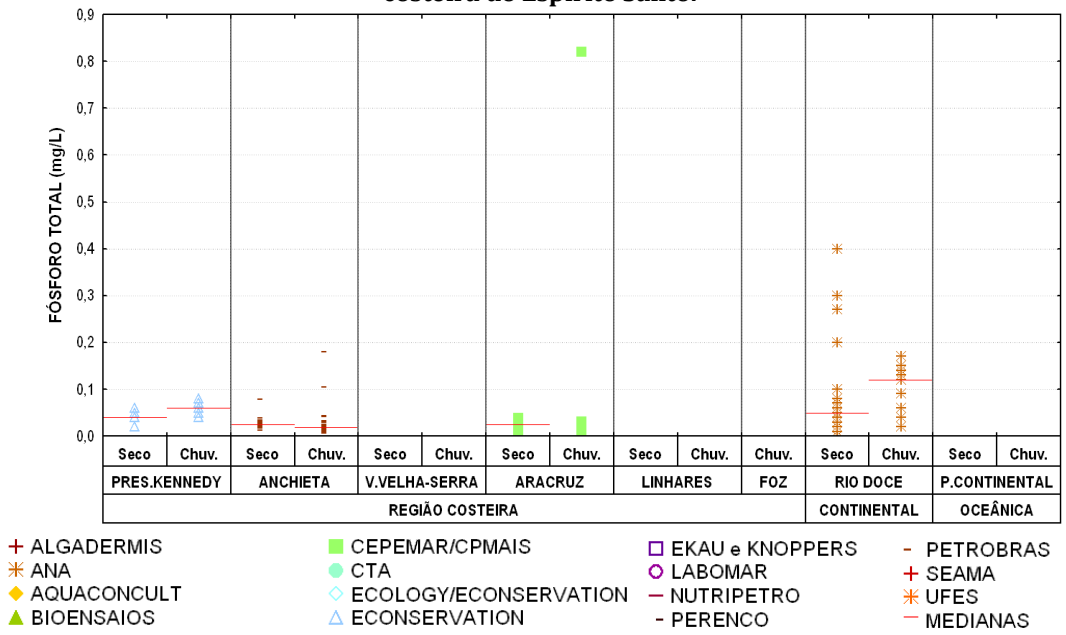


Figura 458 – Valores de fósforo total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.



A água do mar possui baixas concentrações de matéria orgânica (menos de 0,01% do total de sais), que consiste em uma ampla gama de compostos dissolvidos e particulados. A maior parte dos compostos orgânicos no ambiente marinho deriva da produção primária do fitoplâncton marinho. Outras fontes são o influxo de rios, a deposição atmosférica, a ressuspensão de matéria orgânica de fundo e a excreção de organismos marinhos (KENNISH, 2000).

As amostras do ambiente marinho apresentaram concentrações de carbono orgânico total (COT) entre concentrações não detectáveis e 4 mg/L, valor encontrado na região costeira de Linhares e região oceânica, ambas no período seco. Nessas duas regiões, verificou-se, porém, o predomínio de concentrações não detectáveis. Não foram encontrados resultados de COT para o rio Doce e sua foz (Figura 459). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os limites de 3 mg/L de COT para águas salinas/salobras Classe 1, 5 mg/L para a Classe 2 e 10 mg/L para a Classe 3. Os resultados obtidos indicam para o predomínio na região costeira e marinha de concentrações condizente com o padrão estabelecido para Classe 1 águas salinas, com a ocorrência de amostras de Anchieta, Linhares e da região oceânica que apresentaram resultados condizente com o padrão para Classe 2.

Figura 459 – Valores de carbono orgânico total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

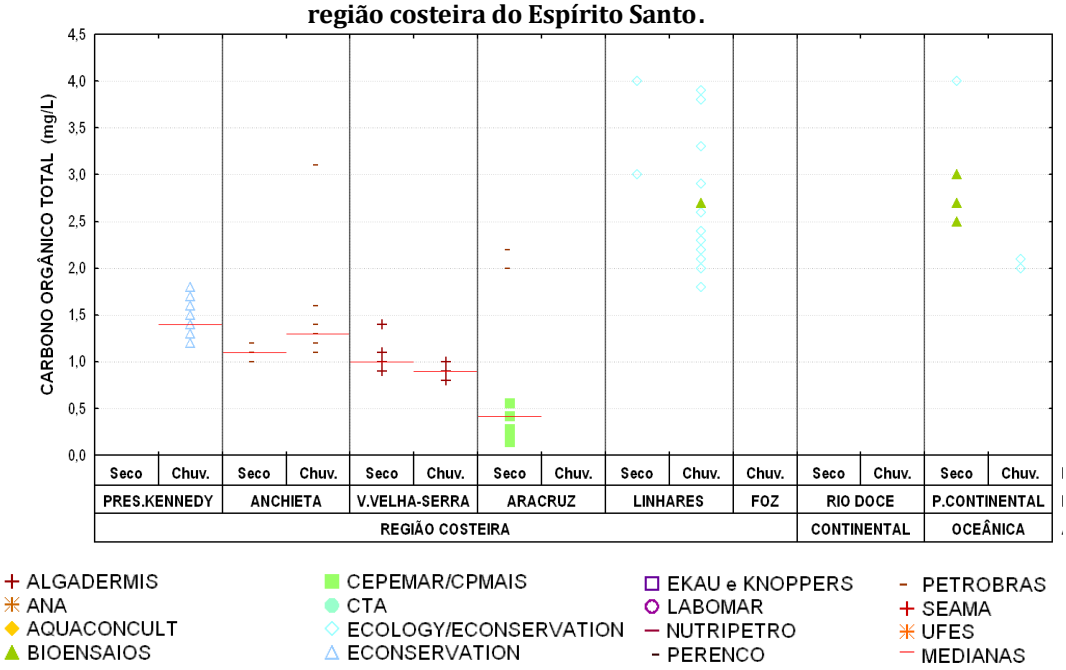
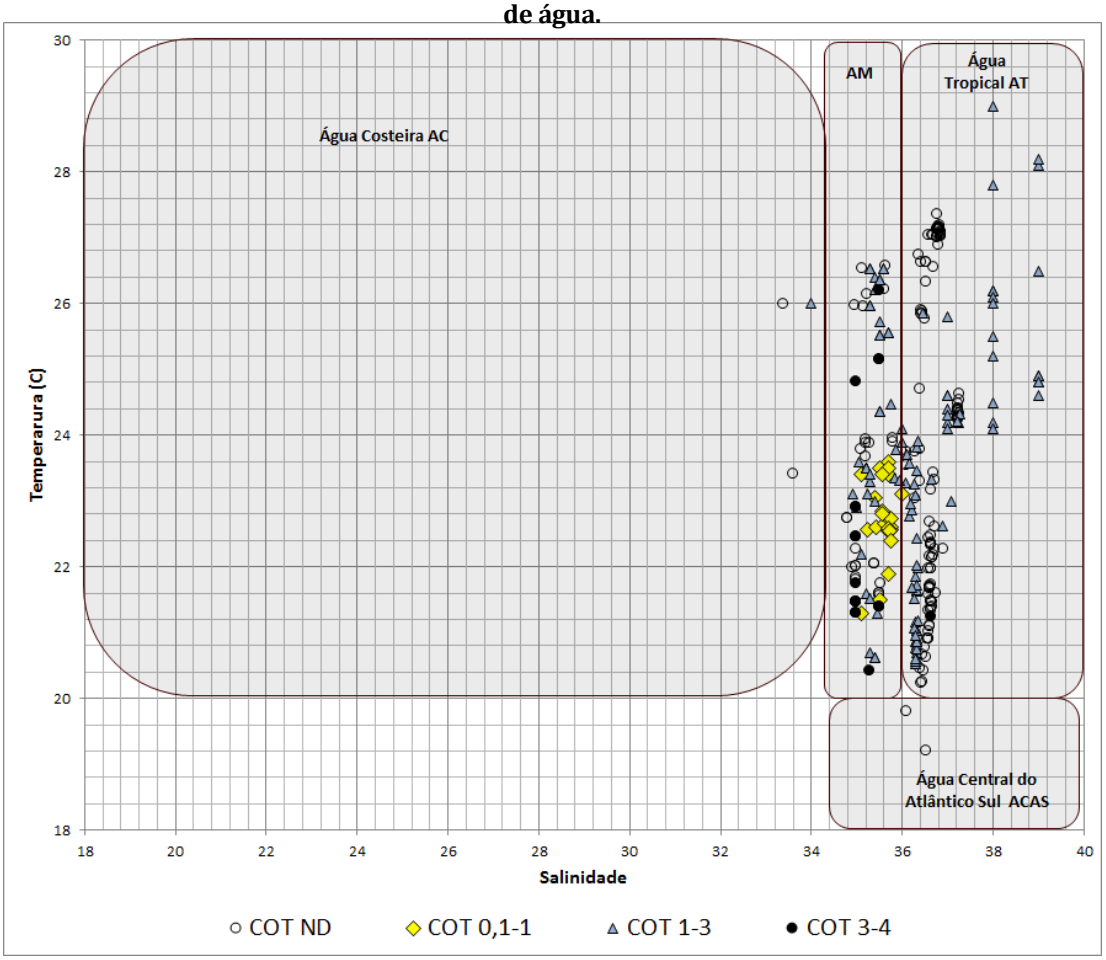


Figura 460 – Distribuição de 4 classes de resultados de COT conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Clorofila-a

Entre os pigmentos responsáveis pela captura da energia luminosa para a fotossíntese, a clorofila-a é o único que se encontra na maioria das células vegetais. Embora não seja um perfeito descritor da biomassa fitoplanctônica, a clorofila-a é amplamente utilizada, sendo inclusive acessada atualmente por imagens de satélite da cor do oceano. Concentrações inferiores a 2,8 µg/L são típicas de regiões oceânicas oligotróficas (CIOTTI et al, 2006).

As regiões de Pres. Kennedy e Linhares na região costeira, além da região oceânica e o rio Doce, no período chuvoso, não apresentaram dados de clorofila-a reportados. Para a região de Anchieta, todos os resultados obtidos foram abaixo do limite de quantificação. A maior concentração foi verificada em um ponto localizado a 1 km da costa de Vila Velha no período seco (12,99 µg/L), porém a maior mediana foi observada na região de Vila Velha-Serra no período chuvoso (3,5 µg/L), conforme mostra a Figura 461. De forma geral, a costa leste brasileira é caracterizada por ser uma região de baixa produtividade, no entanto, a porção mais ao sul da costa leste brasileira parece ser uma unidade funcional distinta em que a produção primária é sustentada em períodos específicos por fluxos de água doce oriundos

dos rios Doce e Paraíba do Sul e a ressurgência da ACAS em águas rasas (EKAU; KNOPPERS, 1999).

Figura 461 – Valores de clorofila-a (µg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

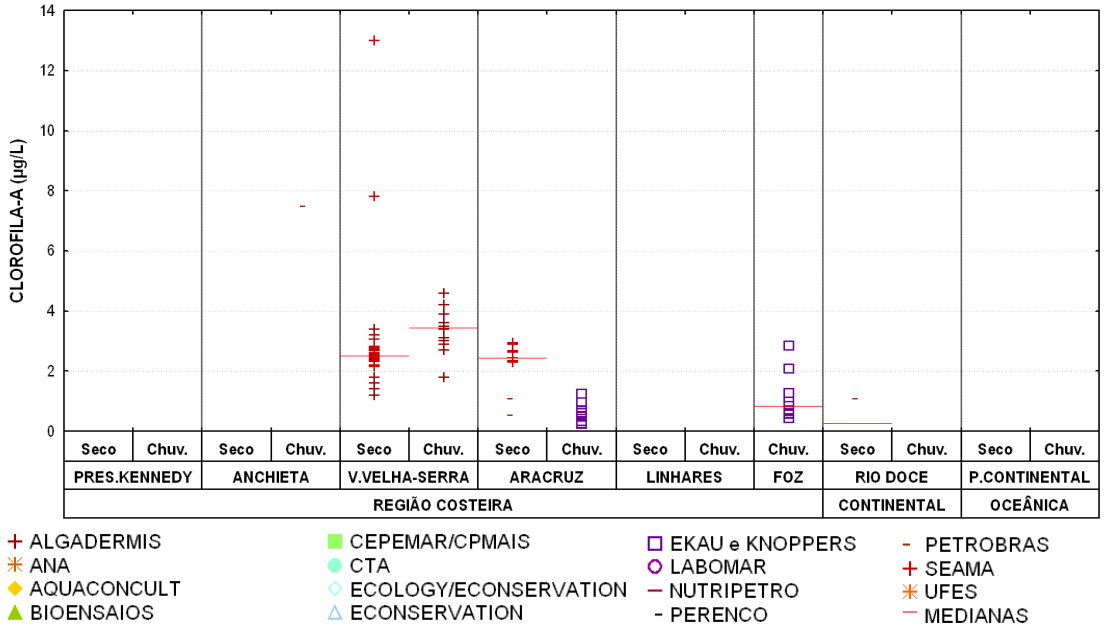
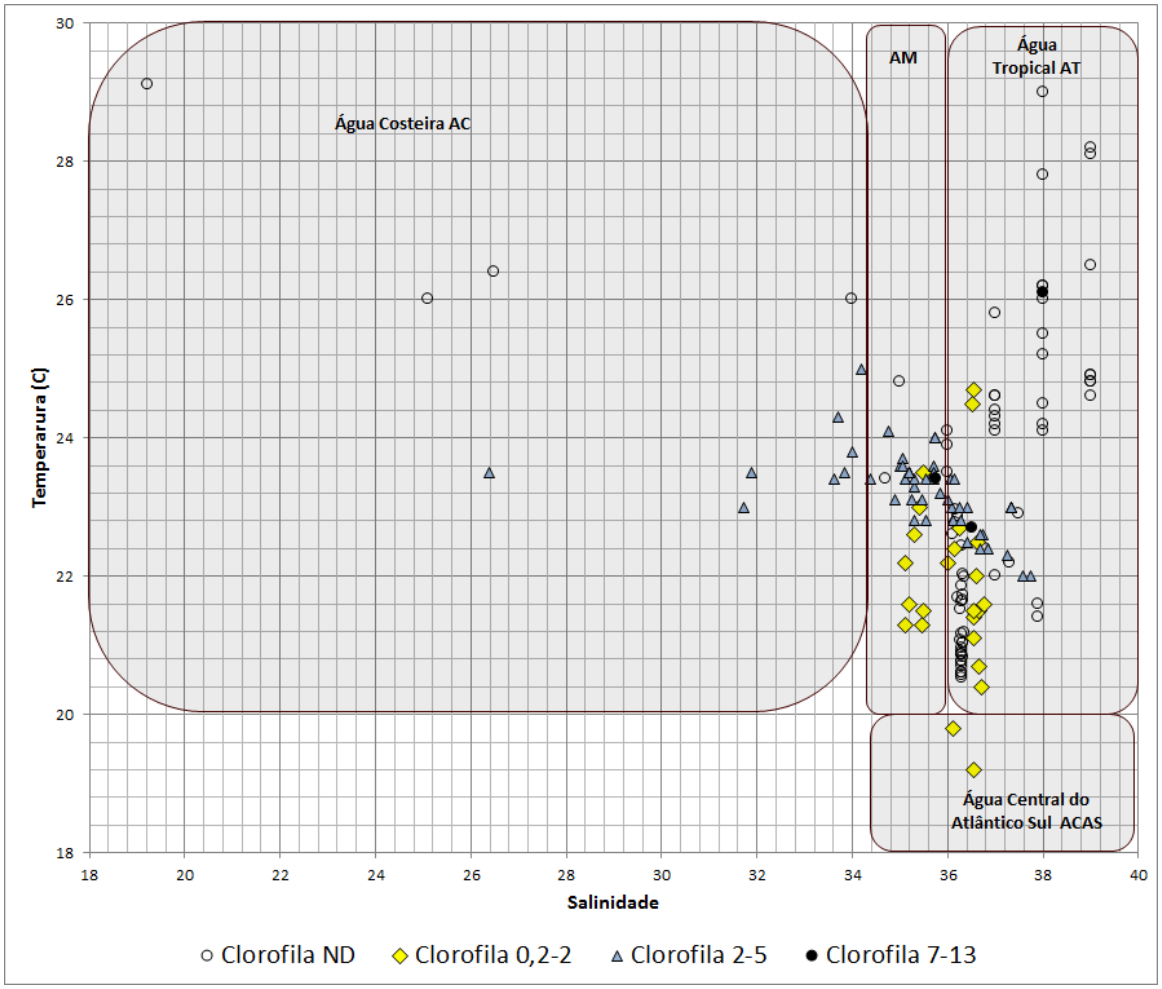


Figura 462 – Distribuição de classes de resultados de clorofila-a conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Metais

Embora presente em formas dissolvidas, coloidais e particuladas, os metais-traço no oceano ocorrem em concentrações muito baixas e variáveis. Elementos como cobre, ferro, manganês e zinco são essenciais para o funcionamento da flora marinha, enquanto que outros metais, como chumbo, cádmio e mercúrio, podem ser tóxicos mesmo em baixas concentrações (KENNISH, 2000). O aumento da salinidade na interface rio-oceano e o consequente aumento das concentrações dos principais cátions da água do mar levam à floculação e sedimentação dos metais ou à dessorção destes em partículas em suspensão, de modo que a concentração dissolvida de metais na água do mar tende a se manter baixa, mesmo com aportes de origem continental (BRULAND; LOHAN, 2003).

Entre os estudos verificados no estado do Espírito Santo, resultados de cobre total foram encontrados apenas para as regiões costeiras de Anchieta e Linhares, para regiões oceânicas e para o rio Doce, sendo que apenas em Anchieta verificou-se concentrações quantificáveis, com concentrações máximas de 0,0047 mg/L no período seco e de 0,0016

mg/L no período chuvoso. Em ambos os períodos, verificou-se o predomínio de concentrações abaixo do limite de quantificação. Para a foz do rio Doce, um estudo da UFES (2016), realizado 12 dias antes da chegada da pluma de sedimentos no oceano, apresentou a concentração de 0,032 mg/L de cobre total. Já para cobre dissolvido foram obtidos resultados para as regiões costeiras de Pres. Kennedy e Aracruz e rio Doce no período seco, sendo verificada a ocorrência de concentração quantificável apenas em uma amostra de Aracruz (0,0013 mg/L) e nas duas amostras do rio Doce (0,0027 e 0,0031 mg/L), ambas no período seco, sendo que na foz do rio Doce, 12 dias antes da chegada da pluma, a concentração verificada de cobre dissolvido foi de 0,0151 mg/L (Figura 463). O limite de cobre dissolvido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Classe 1) é de 0,005 mg/L para águas salinas e salobras, de forma que as concentrações quantificadas se mantiveram dentro do estabelecido pela legislação, exceto o valor encontrado na foz do rio Doce 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos na região.

Figura 463 – Valores de cobre total e cobre dissolvido (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

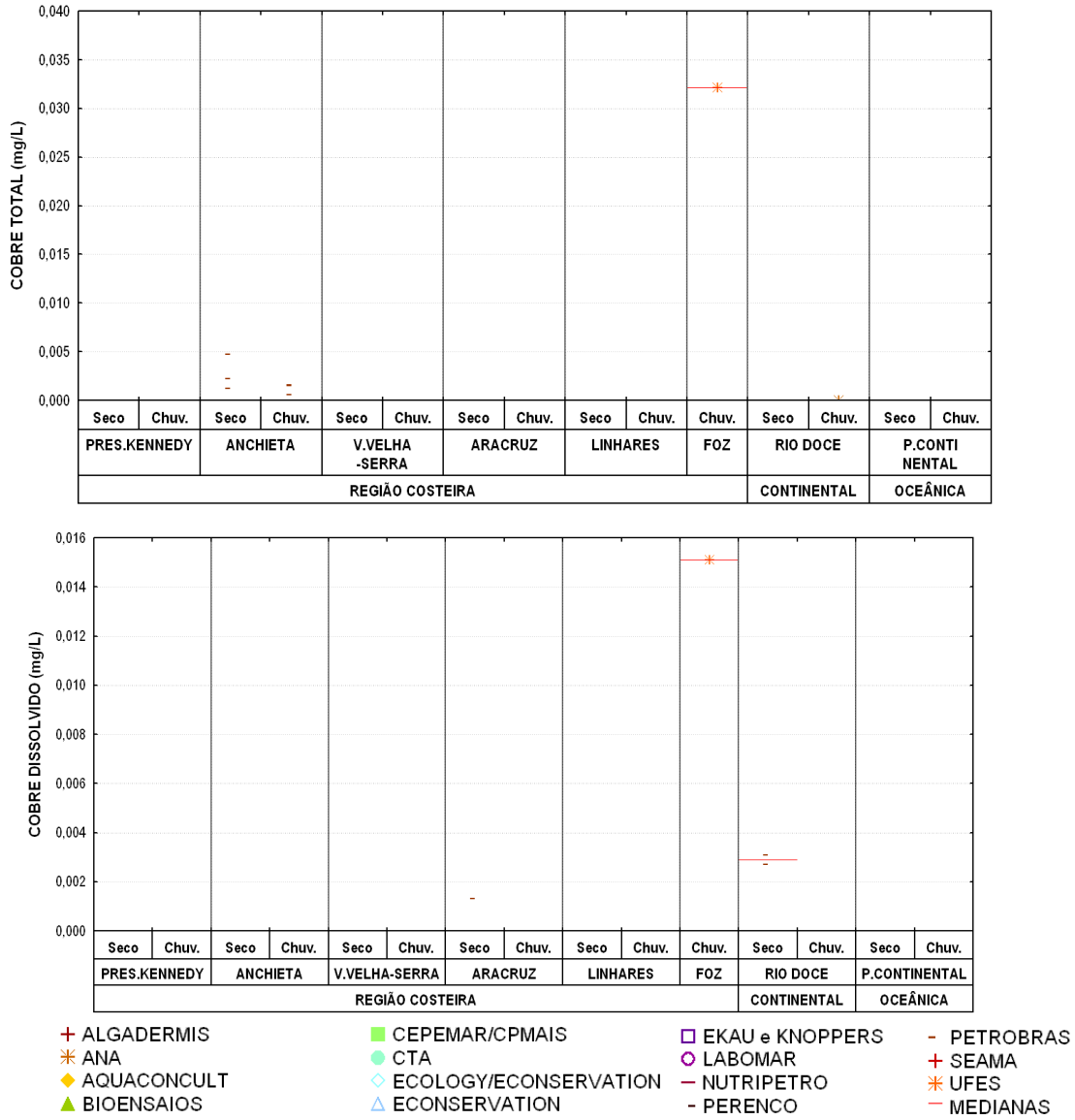
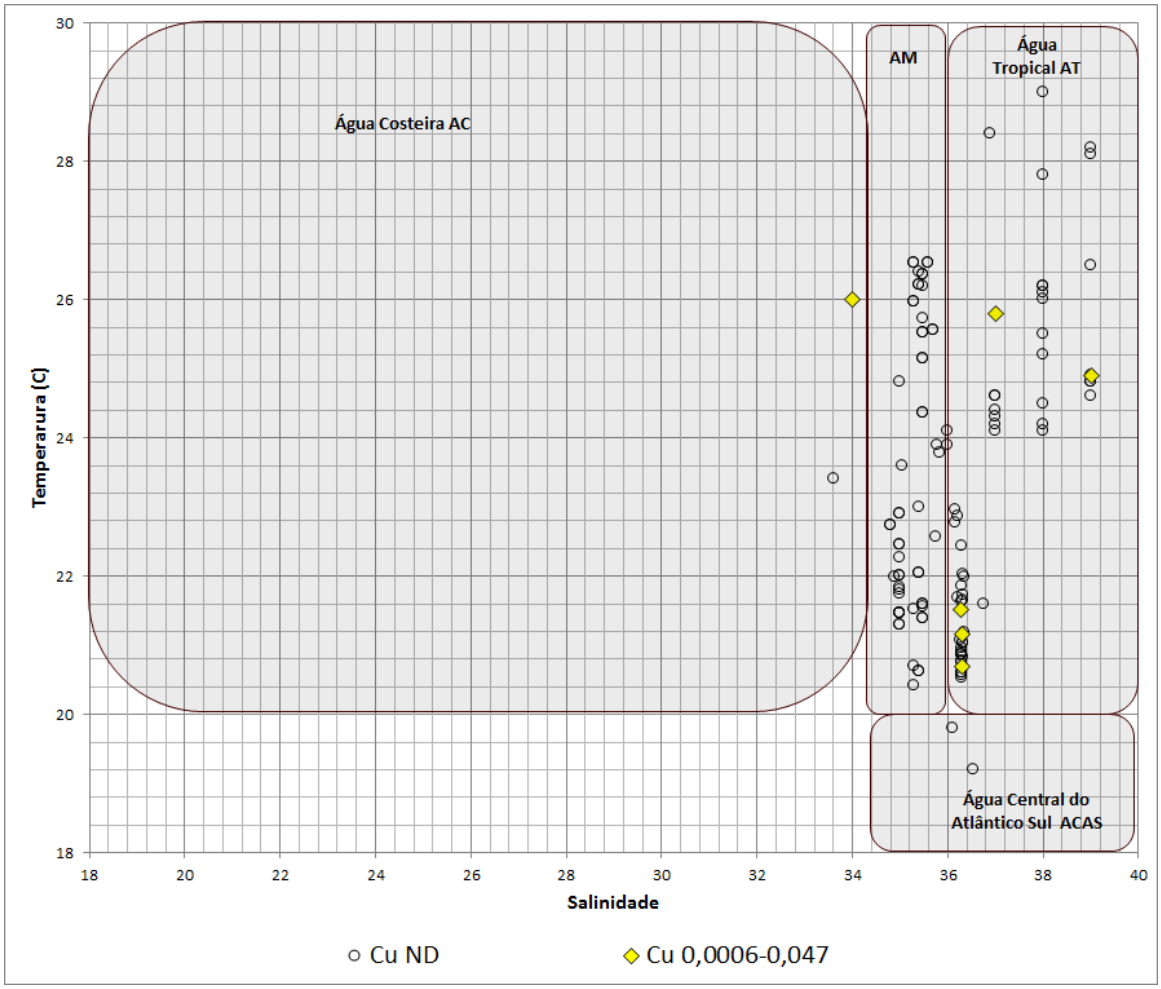


Figura 464 – Distribuição de 2 classes de resultados de cobre total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Para o ferro, concentrações totais foram verificadas nas regiões costeiras de Anchieta, Vila Velha-Serra (período seco) e Aracruz e para o rio Doce, com concentrações quantificáveis verificadas nas quatro regiões. As maiores concentrações do ambiente marinho foram verificadas em Aracruz no período seco (máximo de 4 mg/L), enquanto que nas amostras do rio Doce a maior concentração foi registrada no período chuvoso (21,5 mg/L), conforme mostra a Figura 465. Com relação à fração dissolvida, resultados foram obtidos apenas para as regiões costeiras de Pres. Kennedy, Linhares e ambiente oceânico, sendo todos os resultados inferiores aos limites de quantificação. Para a foz do rio Doce, um estudo da UFES (2016), realizado 12 dias antes da chegada da pluma de sedimentos no oceano, apresentou a concentração de 0,008 mg/L de ferro dissolvido. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a concentração de 0,3 mg/L de ferro dissolvido para águas salobras e salinas Classe 1 e águas doces de Classe 2.

Figura 465 – Valores de ferro total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

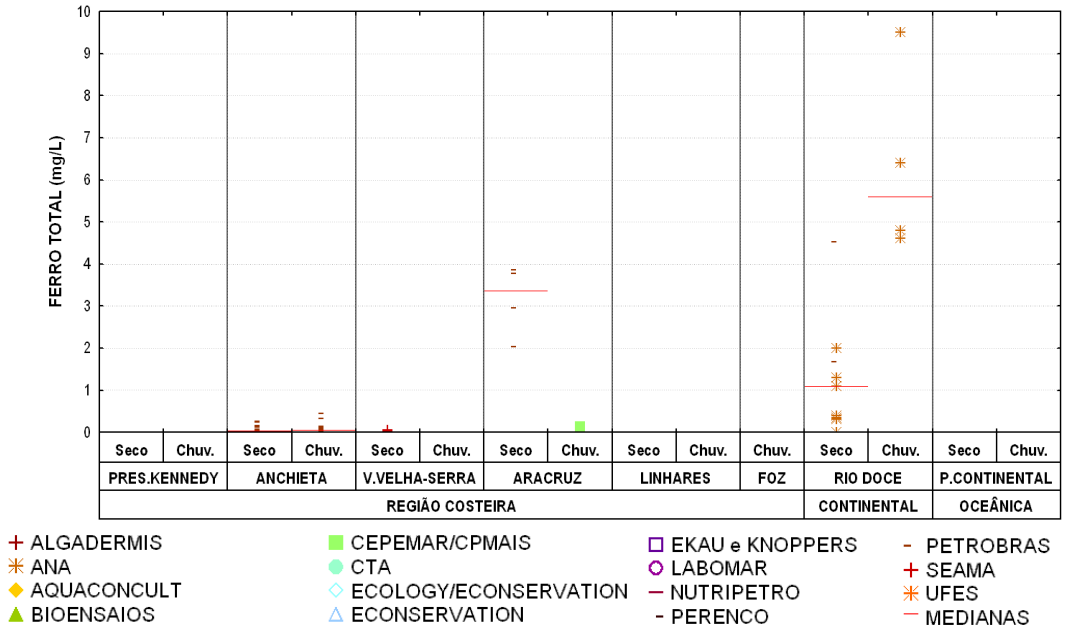
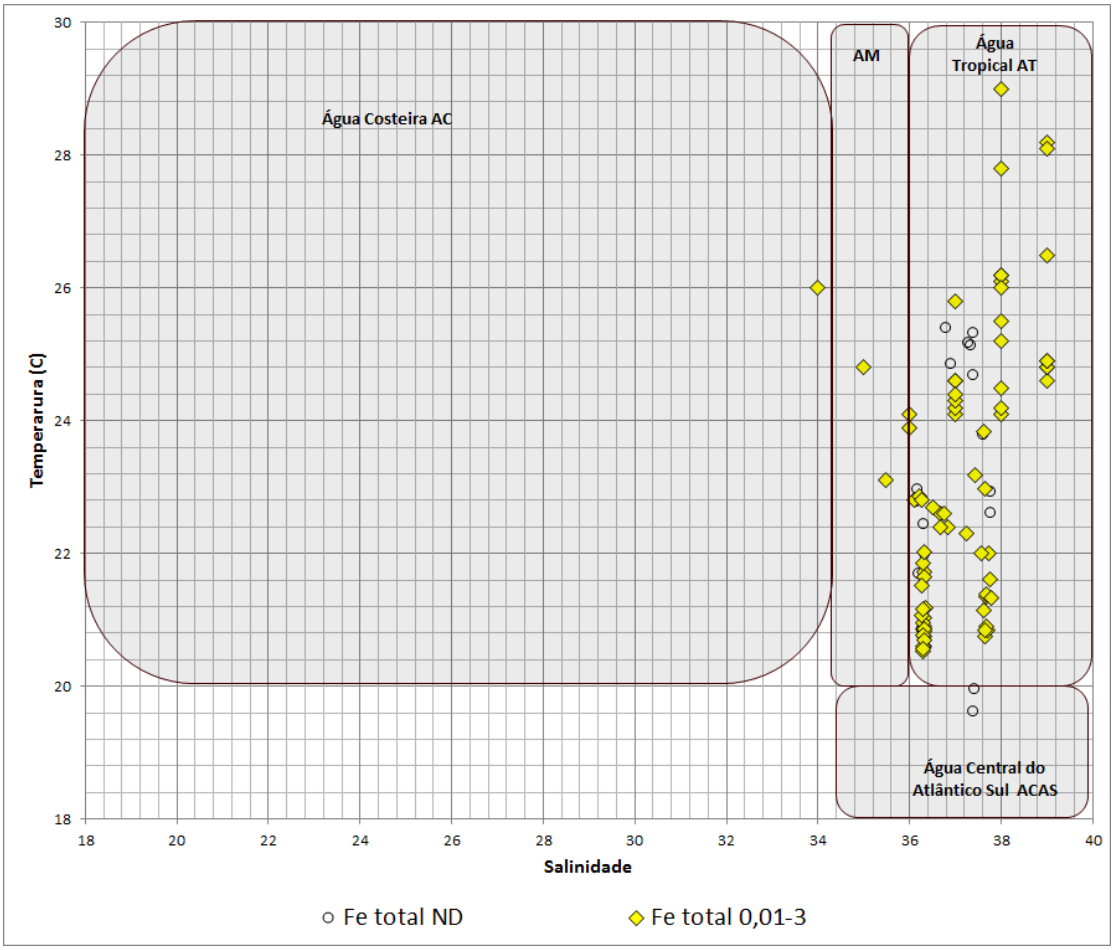
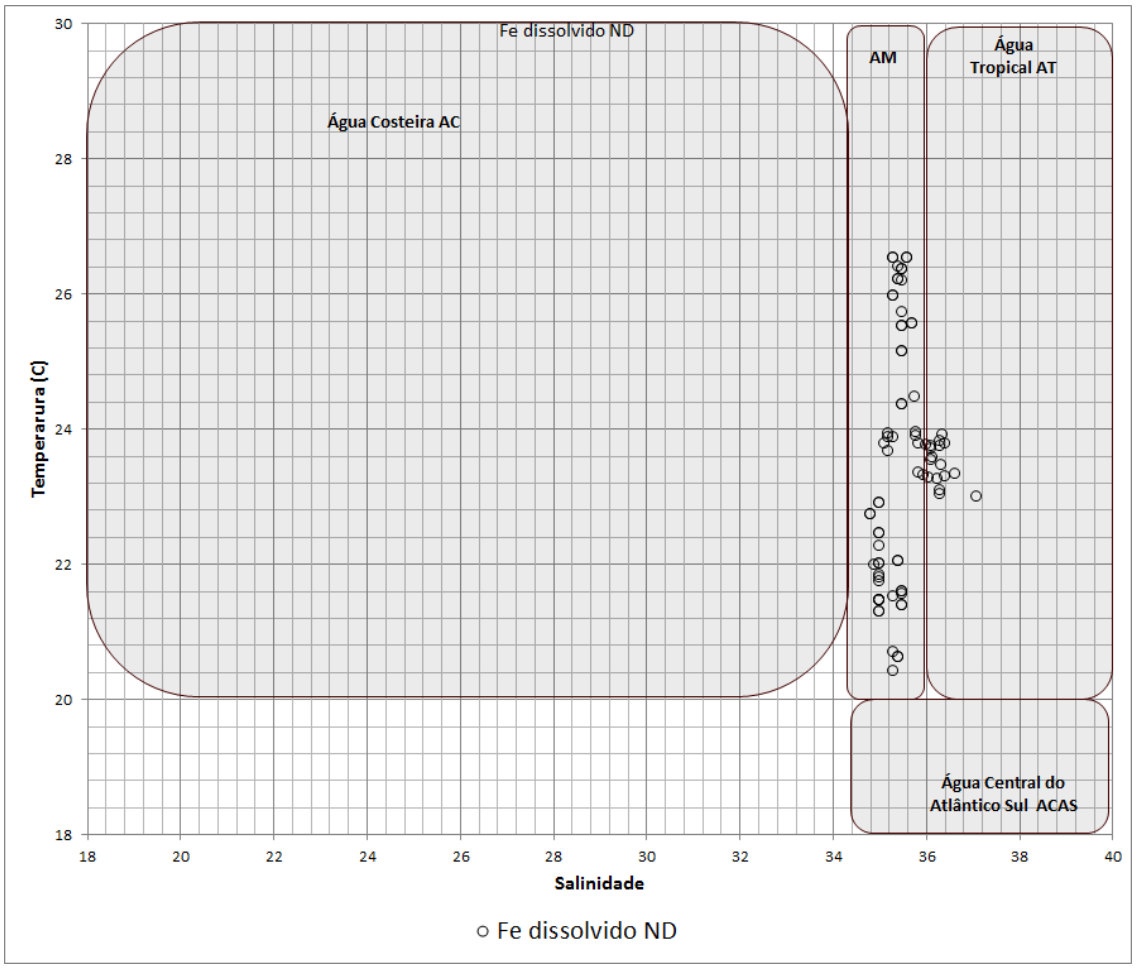


Figura 466 – Distribuição de 2 classes de resultados de ferro total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Figura 467 – Distribuição da única classe de resultados de ferro dissolvido conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Concentrações de manganês total foram verificadas para a maioria das regiões avaliadas, exceto Vila Velha-Serra. As maiores concentrações do ambiente costeiro foram observadas na região de Pres. Kennedy no período seco (0,11 mg/L), e para as regiões oceânica e rio Doce os maiores valores ocorreram no período chuvoso (máximo de 0,08 e 0,05 mg/L, respectivamente). Na região de Linhares e Anchieta, verificaram-se medianas mais elevadas no período chuvoso, sendo que, para o período seco de Anchieta, houve o predomínio de valores não detectados da mesma forma que observado para Aracruz nos períodos seco e chuvoso. Para a foz do rio Doce, um estudo da UFES (2016), realizado 12 dias antes da chegada da pluma de sedimentos no oceano, apresentou a concentração de 0,077 mg/L de manganês total (Figura 468). Não foram encontrados estudos com resultados de manganês na fração dissolvida, exceto para a foz do rio Doce, onde se observou a concentração de 0,077 mg/L 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os limites de manganês total de 0,1 mg/L para águas salinas e salobras Classe 1, limiar ultrapassado em Pres. Kennedy no período seco. As maiores concentrações de manganês total na região de Pres. Kennedy foram justificadas por Ecology Brasil (2013) como sendo decorrente da ressuspensão sedimentar no período de amostragem.

Figura 468 – Valores de manganês total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

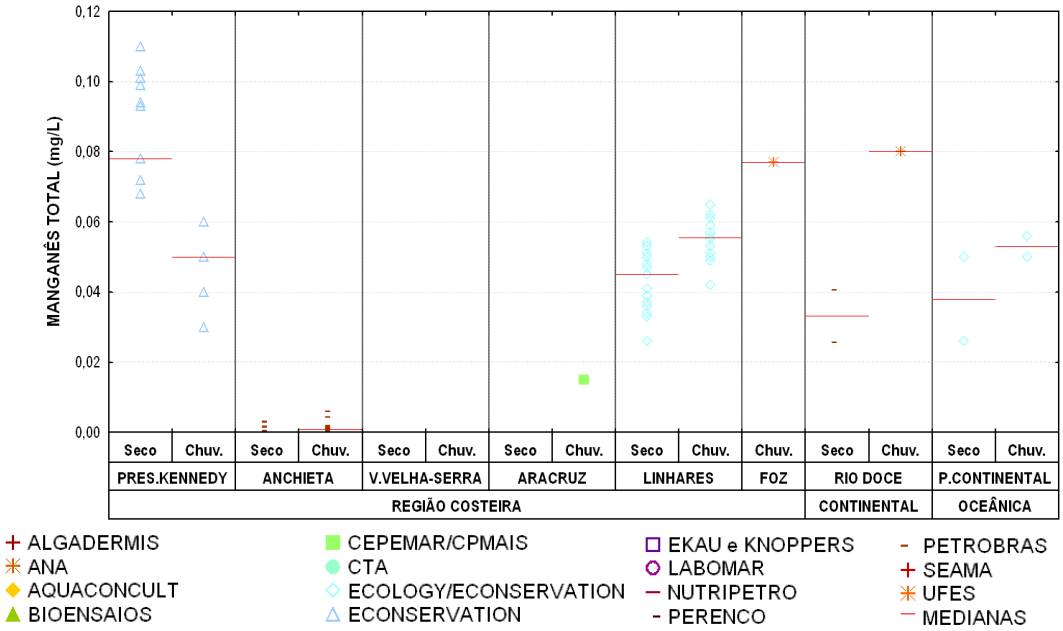
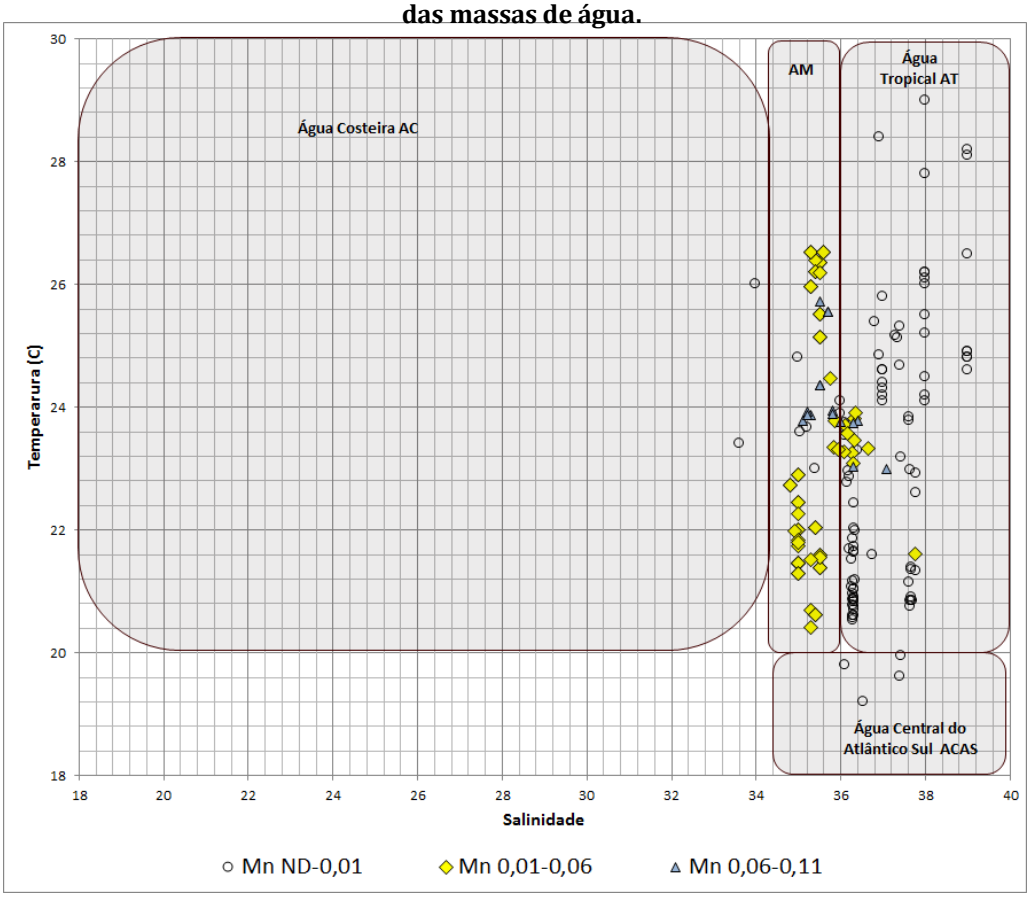


Figura 469 – Distribuição de 3 classes de resultados de manganês total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Para o zinco total, não foram encontrados resultados para as regiões de Vila Velha-Serra e para a foz do rio Doce. As maiores concentrações no ambiente marinho costeiro ocorreram em Anchieta e em Pres. Kennedy no período seco (0,19 e 0,159 mg/L, respectivamente), enquanto que a maior concentração no ambiente marinho foi de 0,033 mg/L (período chuvoso) e de 0,06 mg/L no rio Doce (período seco). Com exceção de Pres. Kennedy, as maiores medianas foram observadas no período chuvoso, não sendo verificada a ocorrência de concentrações detectáveis nas amostras de Aracruz, Linhares e oceânicas no período seco (Figura 470). Com relação ao zinco dissolvido, não foram encontrados resultados reportados para a região de estudo, exceto um valor obtido na foz do rio Doce 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos (0,02882 mg/L). O limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2 é de 0,18 mg/L de zinco total, de forma que todos os resultados obtidos no rio Doce se mantiveram de acordo com a legislação. Já para águas salinas e salobras, o limite estabelecido para a Classe 1 é de 0,09 mg/L e de 0,12 mg/L para a Classe 2, de forma que os valores máximos verificados em Pres. Kennedy no período chuvoso se mostraram condizentes com os limites da Classe 2 e o valor máximo de Anchieta e de Pres. Kennedy do período seco foram superiores ao estabelecido para a Classe 2. Nessas regiões, verificou-se, no entanto, o predomínio de valores de acordo com a Classe 1, com medianas em torno de 0,072 mg/L em Pres. Kennedy e entre 0,015 e 0,019 mg/L na região de Anchieta. Da mesma forma que verificado para o manganês, as maiores

concentrações de zinco total na região de Pres. Kennedy foram justificadas por Ecology Brasil (2013) como sendo decorrente da ressuspensão sedimentar no período de amostragem.

Figura 470 – Valores de zinco total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

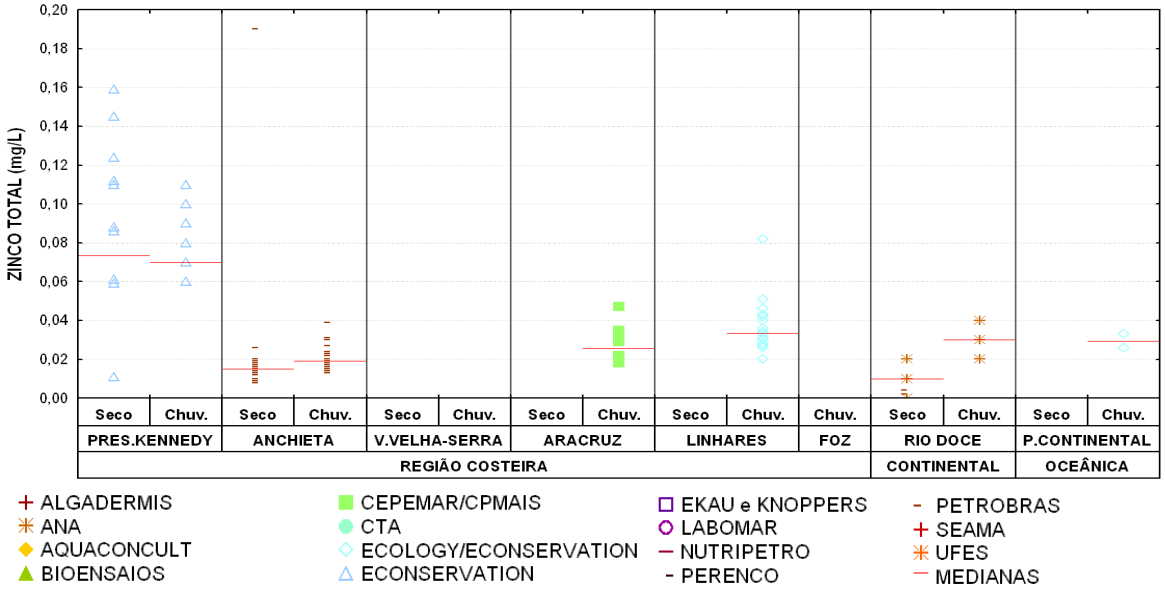
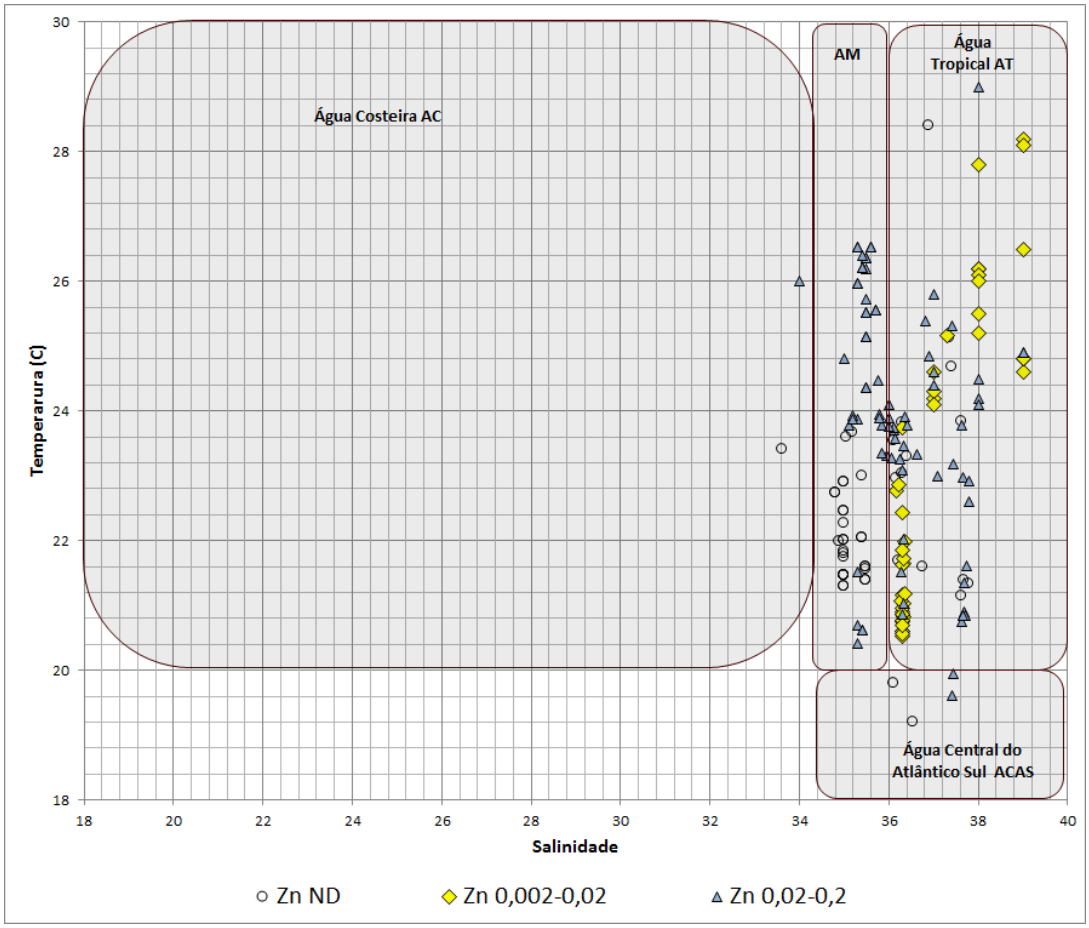


Figura 471 – Distribuição de 3 classes de resultados de zinco total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Para o chumbo total, não foram encontrados resultados para as regiões de Anchieta e Vila Velha-Serra e da foz do rio Doce. Na região marinha costeira, a maior concentração de chumbo total foi verificada em Linhares no período chuvoso (máximo de 0,017 mg/L), período onde os demais resultados estiveram abaixo do limite de detecção. Já na região oceânica, apenas uma amostra do período seco apresentou concentração quantificável, no valor de 0,006 mg/L, enquanto que na região do rio Doce, tanto no período seco quanto no chuvoso, todas as amostras apresentaram concentração de 0,02 mg/L (Figura 472). Não foram encontrados resultados reportados para chumbo dissolvido na região, exceto um valor obtido na foz do rio Doce 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos (0,025464 mg/L). Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite estabelecido de chumbo total para Classe 2 é de 0,01 mg/L, de forma que os valores verificados foram superiores a este para o rio Doce. Já para águas salinas/salobras, os limites são de 0,01 mg/L para a Classe 1 e de 0,21 mg/L para a Classe 2, de forma que as concentrações máximas verificadas em Linhares nos períodos seco e chuvoso foram superiores ao estabelecido para a Classe 1 e de acordo com a Classe 2.

Figura 472 – Valores de chumbo total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

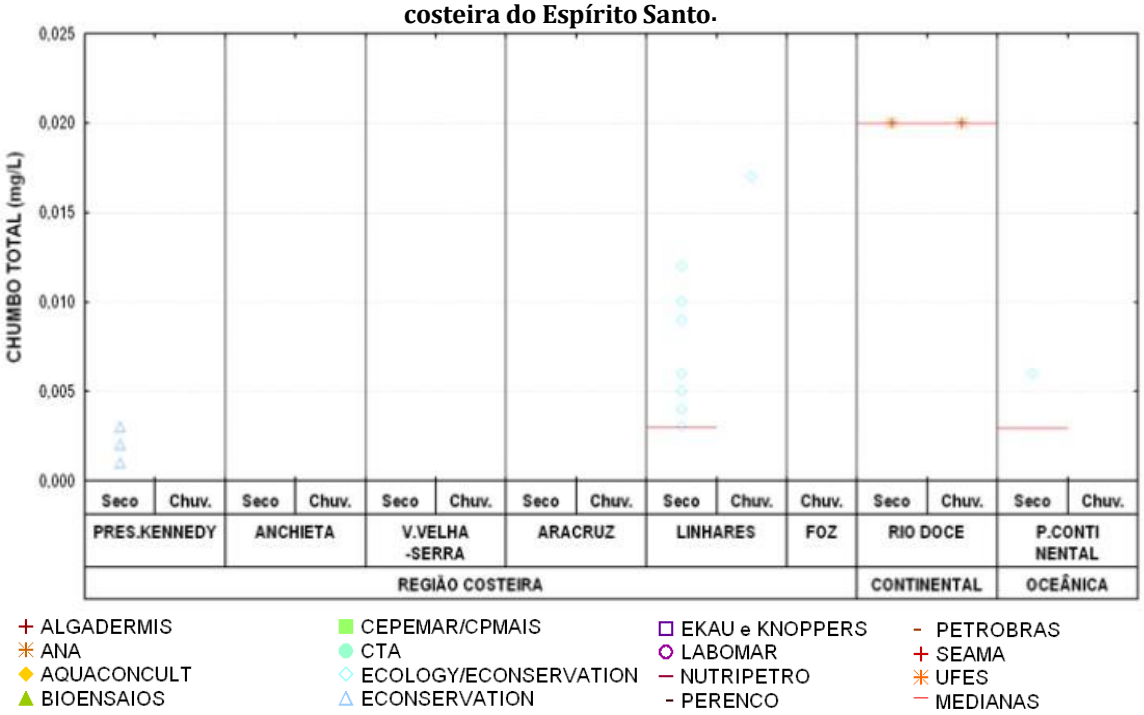
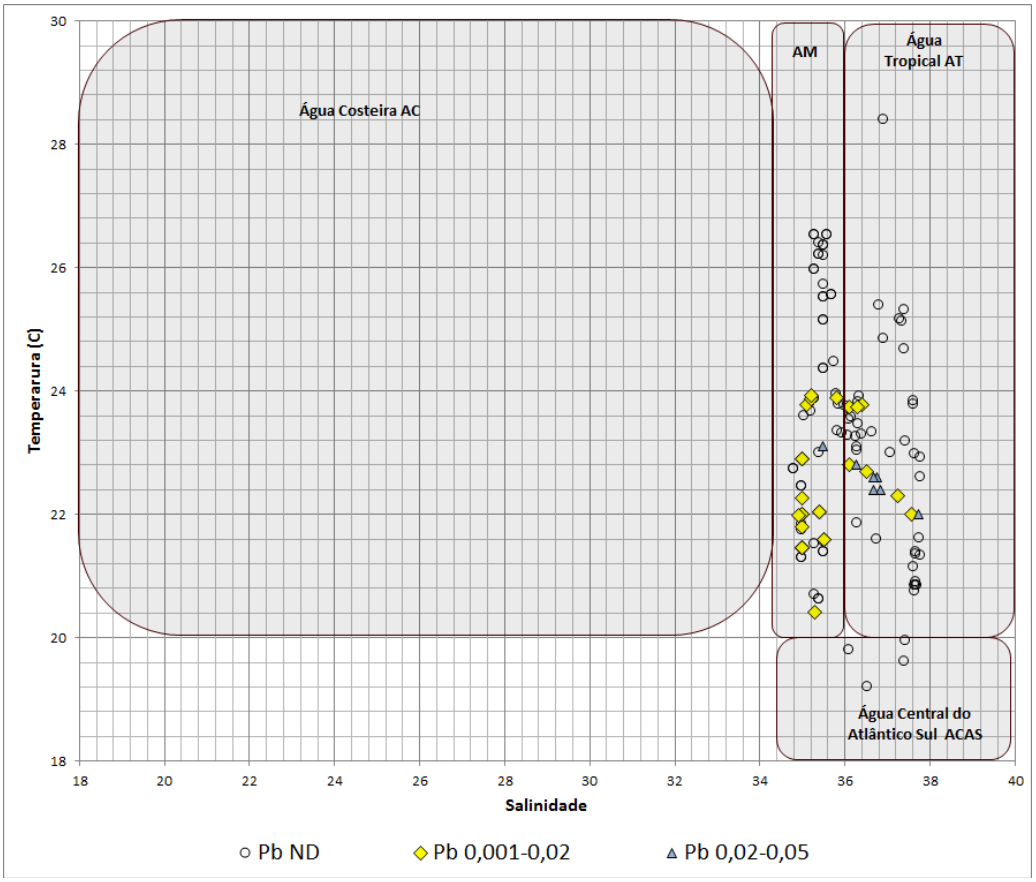


Figura 473 – Distribuição de 3 classes de resultados de chumbo total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

As regiões costeiras de Vila Velha-Serra e da foz do rio Doce não apresentaram resultados para cádmio total, sendo que apenas em amostras de Linhares e da região oceânica, ambos no período chuvoso, verificaram-se concentrações quantificáveis, com concentrações máximas de 0,011 e 0,0013 mg/L, respectivamente (Figura 474). Não foram encontrados resultados para cádmio dissolvido na região. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, os limites estabelecidos de cádmio total para águas salinas/salobras é de 0,005 mg/L para a Classe 1 e de 0,04 mg/L para a Classe 2, de forma que, com exceção do valor máximo verificado na região de Linhares, compatível com o estabelecido para Classe 2, todos os demais se mantiveram de acordo com o estabelecido para a Classe 1.

Figura 474 – Valores de cádmio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

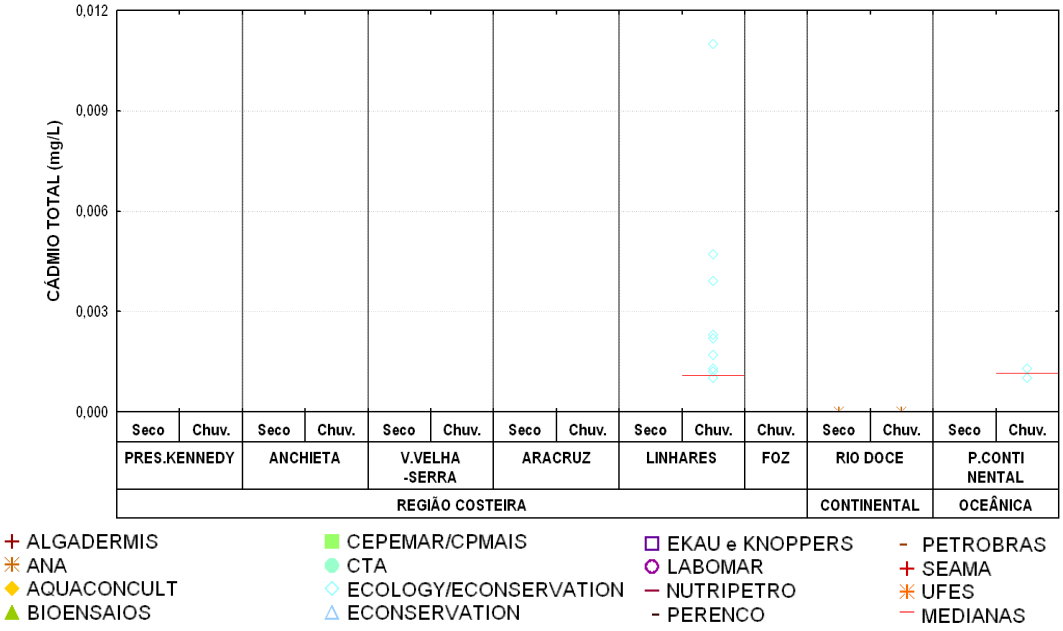
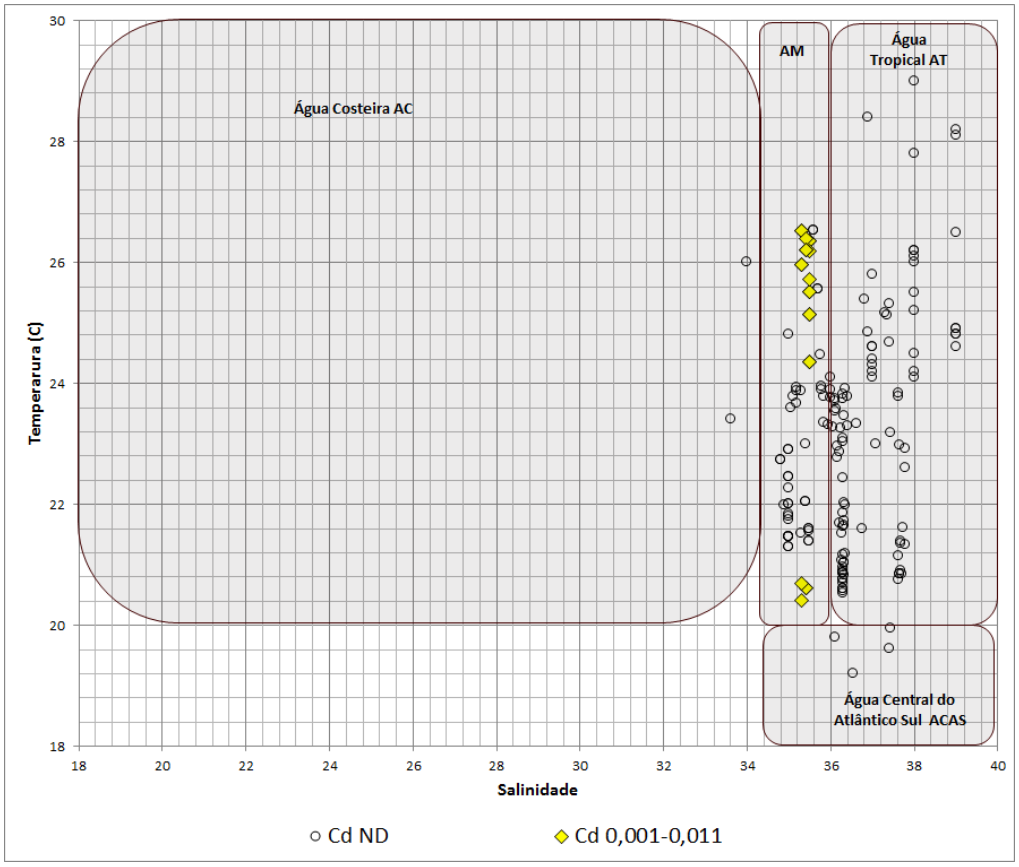


Figura 475 – Distribuição de 2 classes de resultados de cádmio total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Não foram encontrados resultados para a análise de mercúrio total para as regiões de Vila Velha-Serra e da foz do rio Doce. Entre as regiões avaliadas, apenas em Aracruz no período chuvoso verificou-se a ocorrência de concentrações quantificáveis de mercúrio total, com valores de 0,015 mg/L (duas amostras) e 0,016 mg/L (uma amostra), conforme a Figura 476. Não foram encontrados estudos com resultados de mercúrio dissolvido na região. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite estabelecido de mercúrio para águas salinas/salobras é de 0,0002 mg/L para a Classe 1 e de 0,0018 mg/L para a Classe 2, de forma que os resultados obtidos, embora elevados em comparação com a legislação, mostram-se atípicos, uma vez que a maioria dos resultados dessa região foi caracterizada por concentrações não detectáveis.

Figura 476 – Valores de mercúrio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

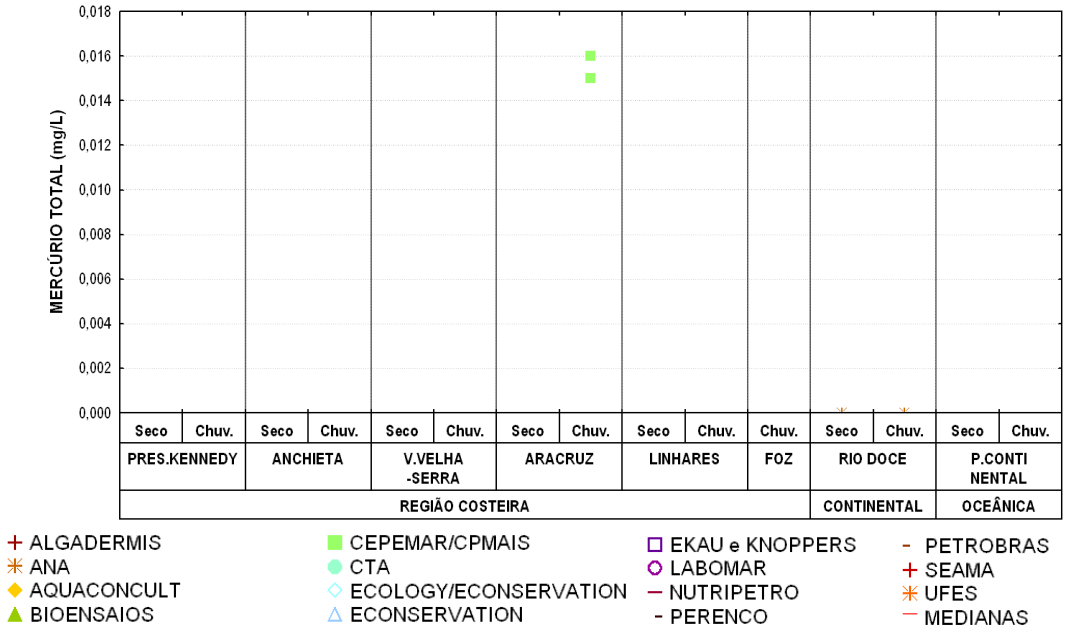
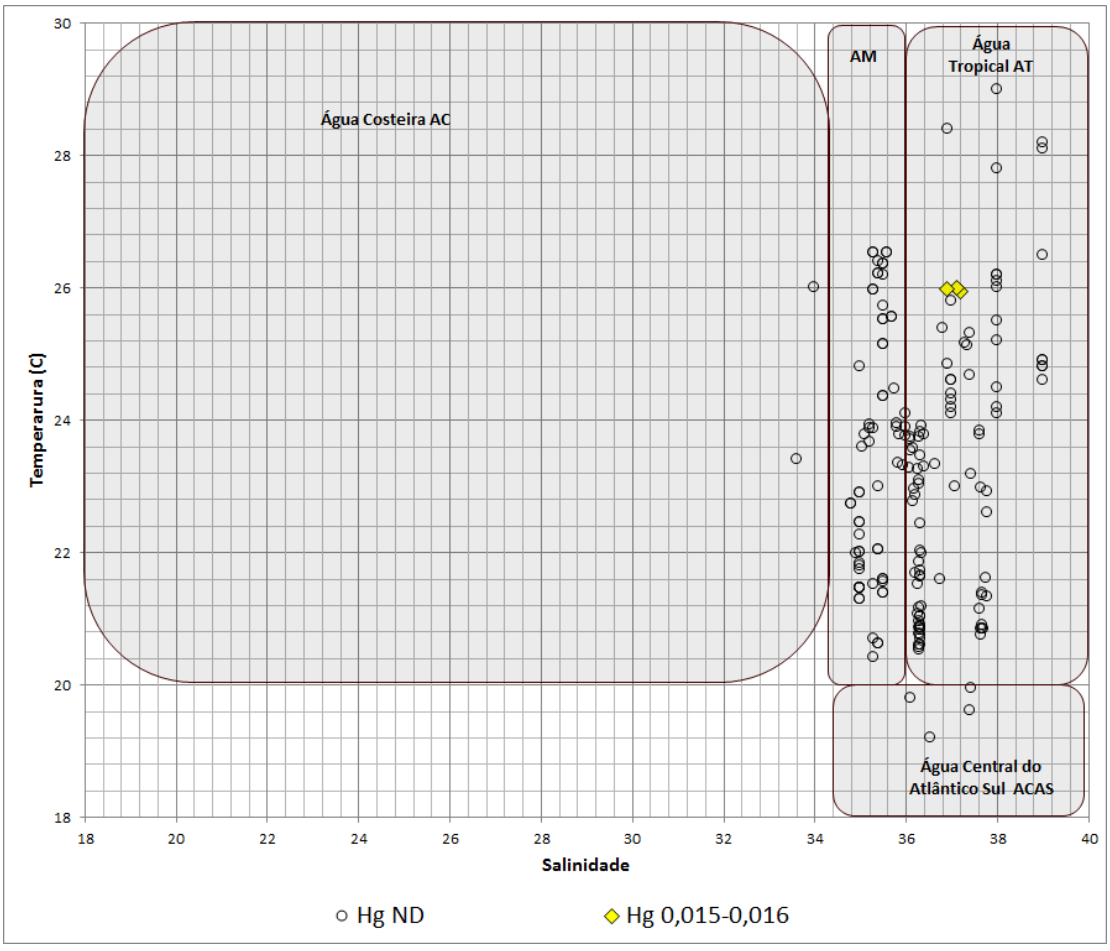


Figura 477 – Distribuição de 2 classes de resultados de mercúrio total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e

salinidade. (AM = água de mistura).

Concentrações de alumínio total foram verificadas apenas para a região costeira de Aracruz e para o rio Doce e sua foz, no período chuvoso, com concentrações alcançando 0,356 mg/L em Aracruz e 0,593 mg/L na foz do rio Doce, 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos na região (Figura 478).

Para a fração dissolvida, foram encontrados resultados para as regiões costeiras de Pres. Kennedy e Linhares e para o ambiente oceânico, bem como para a foz do rio Doce, sendo observadas concentrações acima do limite de quantificação apenas em Pres. Kennedy no período seco (máximo de 0,04 mg/L) e na foz do rio Doce (0,05 mg/L). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os limites de alumínio dissolvido de 1,5 mg/L para águas salinas e salobras Classe 1, limiar não ultrapassado pelos resultados obtidos.

Figura 478 – Valores de alumínio total e dissolvido (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

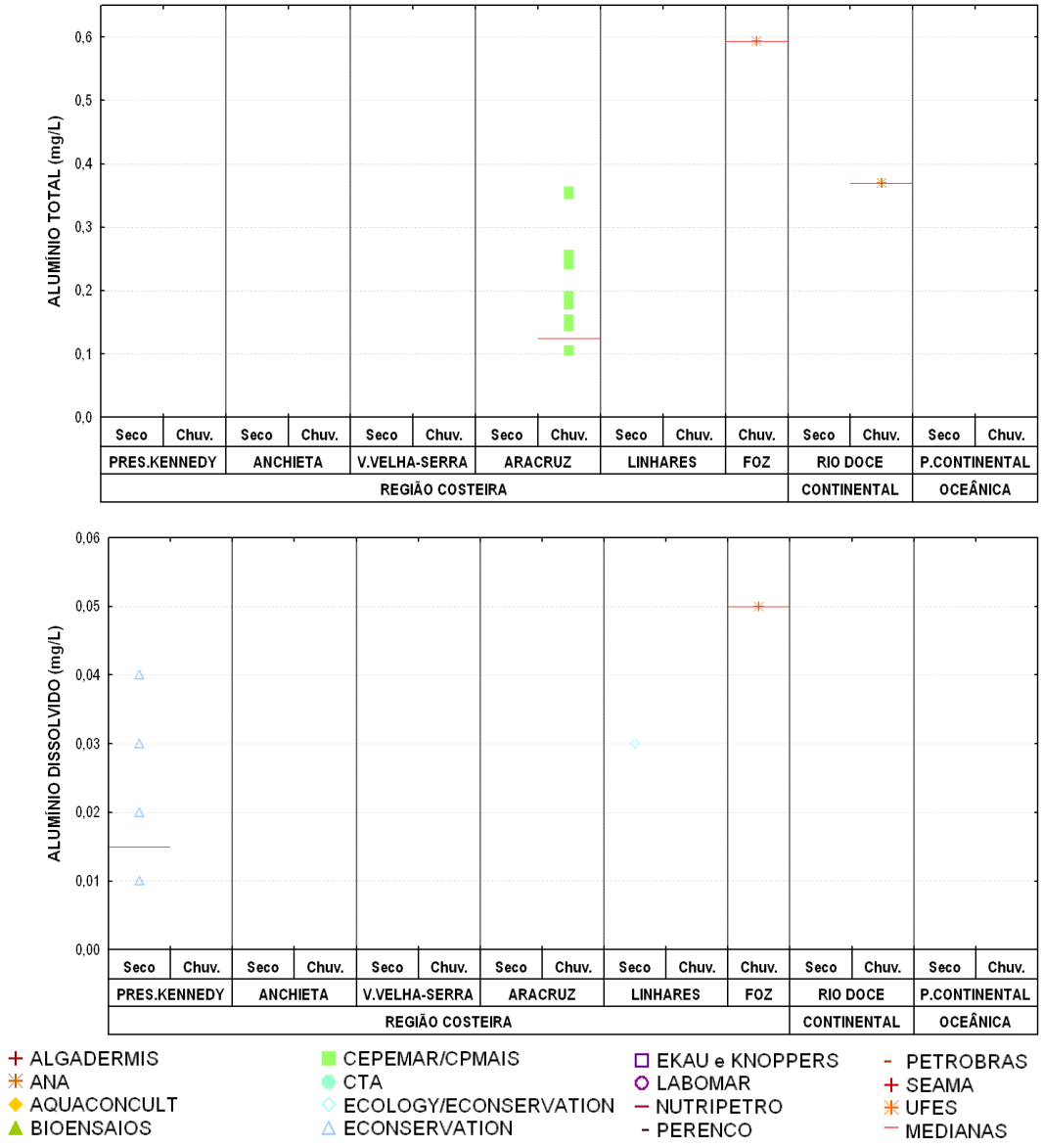
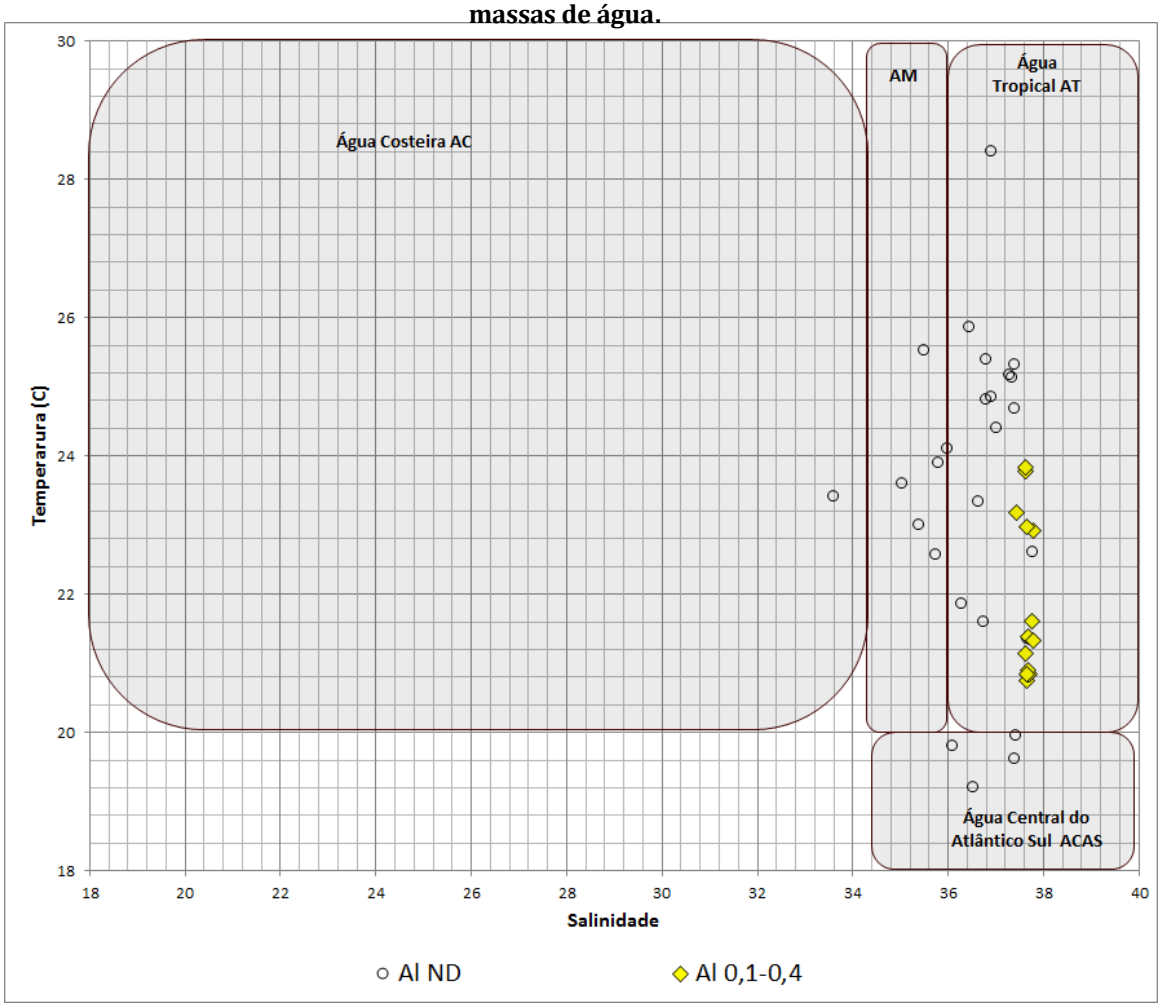


Figura 479 – Distribuição de 2 classes de resultados de alumínio total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Resultados de arsênio total foram encontrados para as regiões costeiras de Pres. Kennedy, Anchieta, Aracruz e Linhares, além do rio Doce e de sua foz e região oceânica, no entanto, valores acima do limite de quantificação foram verificados apenas em Pres. Kennedy e Linhares (períodos seco e chuvoso), no rio Doce e em sua foz (período chuvoso), com concentrações máximas de 0,003 mg/L em Pres. Kennedy (período chuvoso), 0,0035 mg/L em Linhares (período chuvoso) e 0,01 mg/L no rio Doce e 0,014645 mg/L na sua foz (Figura 480). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite de 0,01 mg/L de arsênio total para a Classe 1, para águas salinas e salobras, de forma que o resultado verificado na foz do rio Doce 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos apresentou valor acima do estabelecido. Não foram encontrados resultados de arsênio para sua fração dissolvida, exceto para a foz do rio Doce (0,0081 mg/L).

Figura 480 – Valores de arsênio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

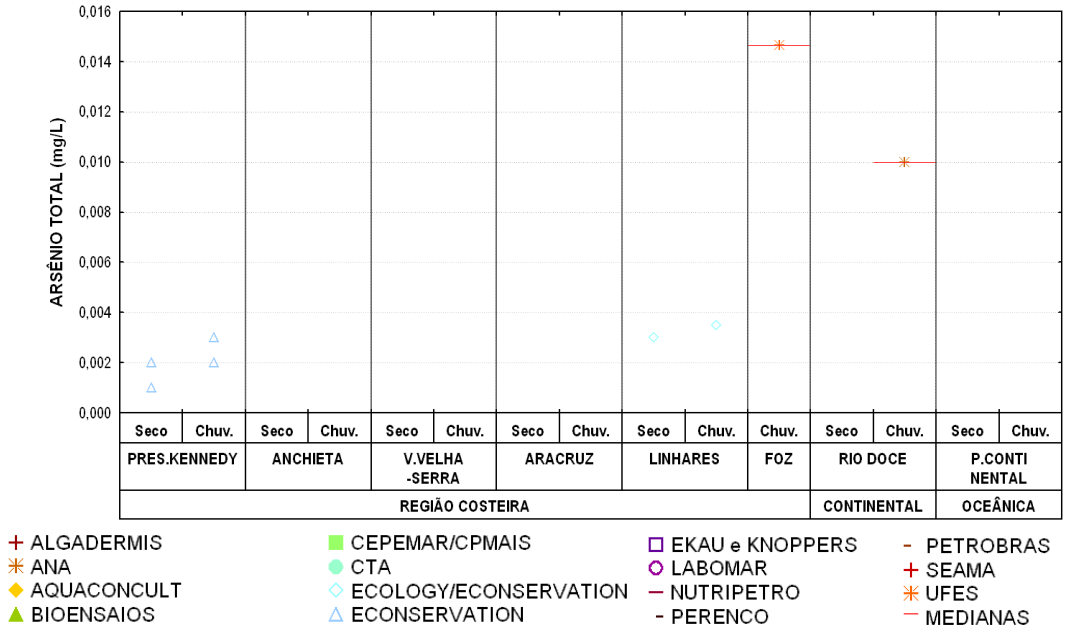
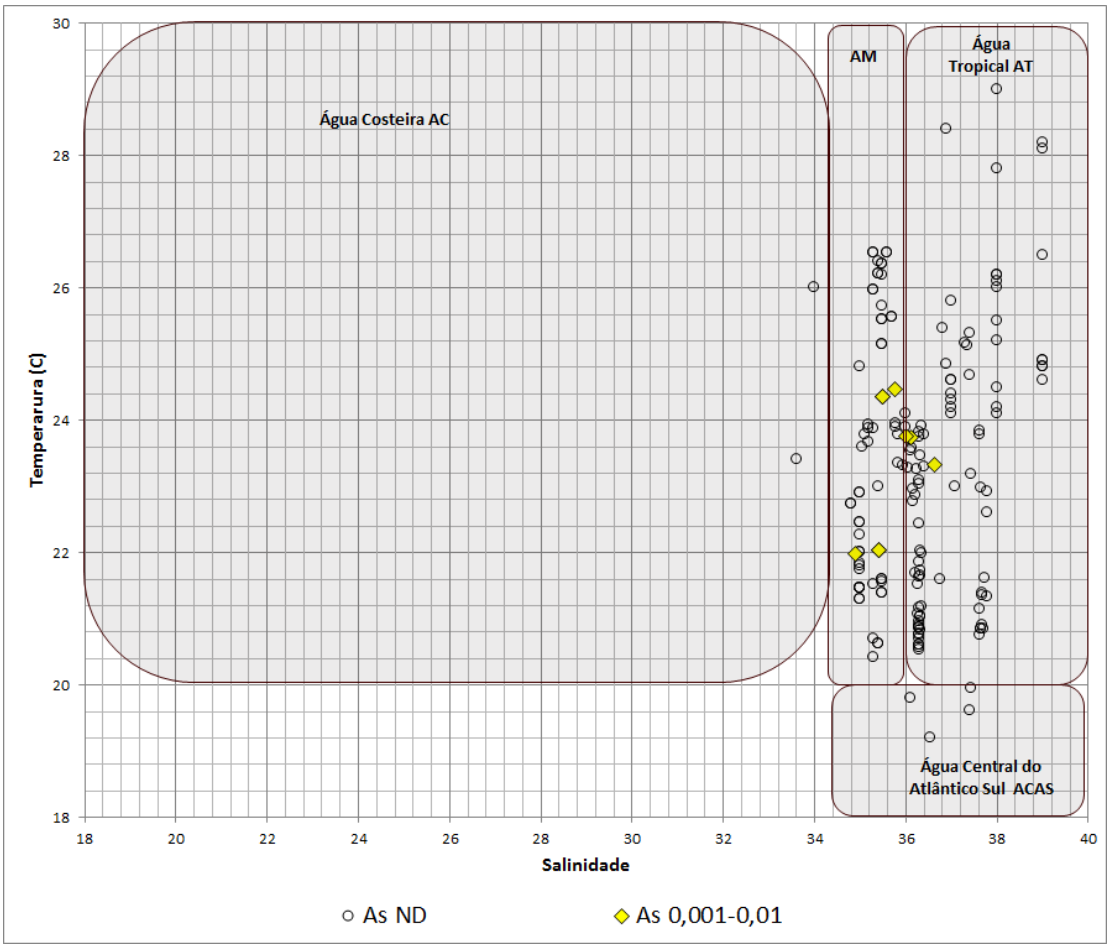


Figura 481 – Distribuição de 2 classes de resultados de arsênio total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e

salinidade. (AM = água de mistura).

Para o bário, resultados referentes à sua concentração total foram encontrados para as regiões costeiras de Pres. Kennedy e Linhares (períodos seco e chuvoso) e de Aracruz (período seco), além de amostras do rio Doce e da região oceânica. As maiores concentrações da região costeira ocorreram em Pres. Kennedy no período seco (máximo de 0,102 mg/L). Já no rio Doce, a concentração mais elevada ocorreu no período seco (0,053 mg/L), enquanto que na região oceânica a maior concentração foi verificada no período chuvoso (0,074 mg/L), conforme a Figura 482. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece as concentrações de 0,7 e 1 mg/L para águas doces de Classe 2 e salinas de Classe 1, respectivamente, de forma que todos os resultados obtidos se mantiveram compatíveis com os limites da legislação. Não foram encontrados resultados para a fração dissolvida.

Figura 482 – Valores de bário total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

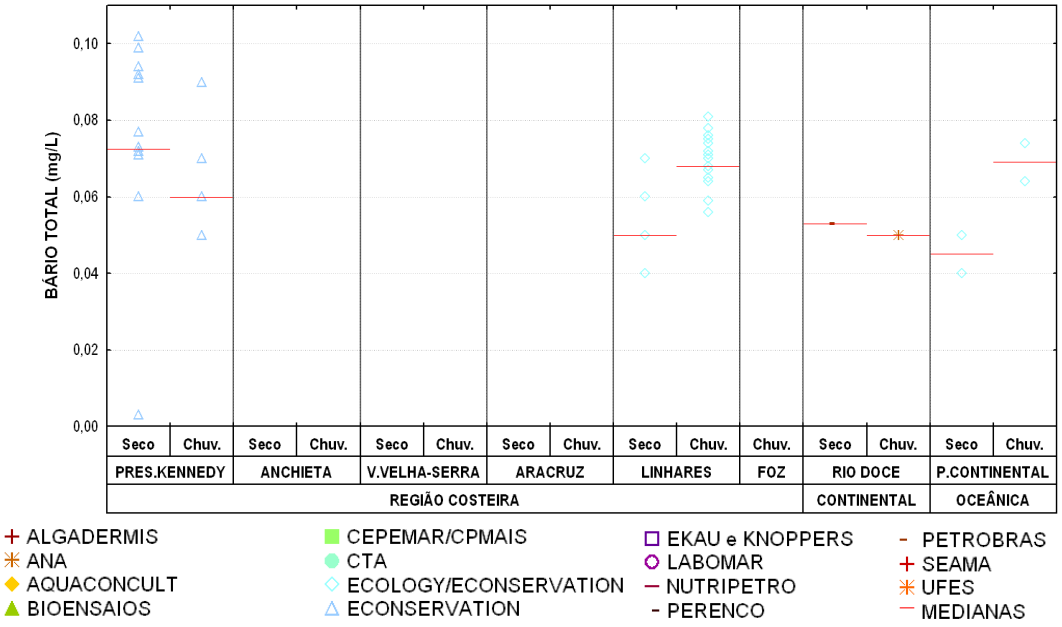
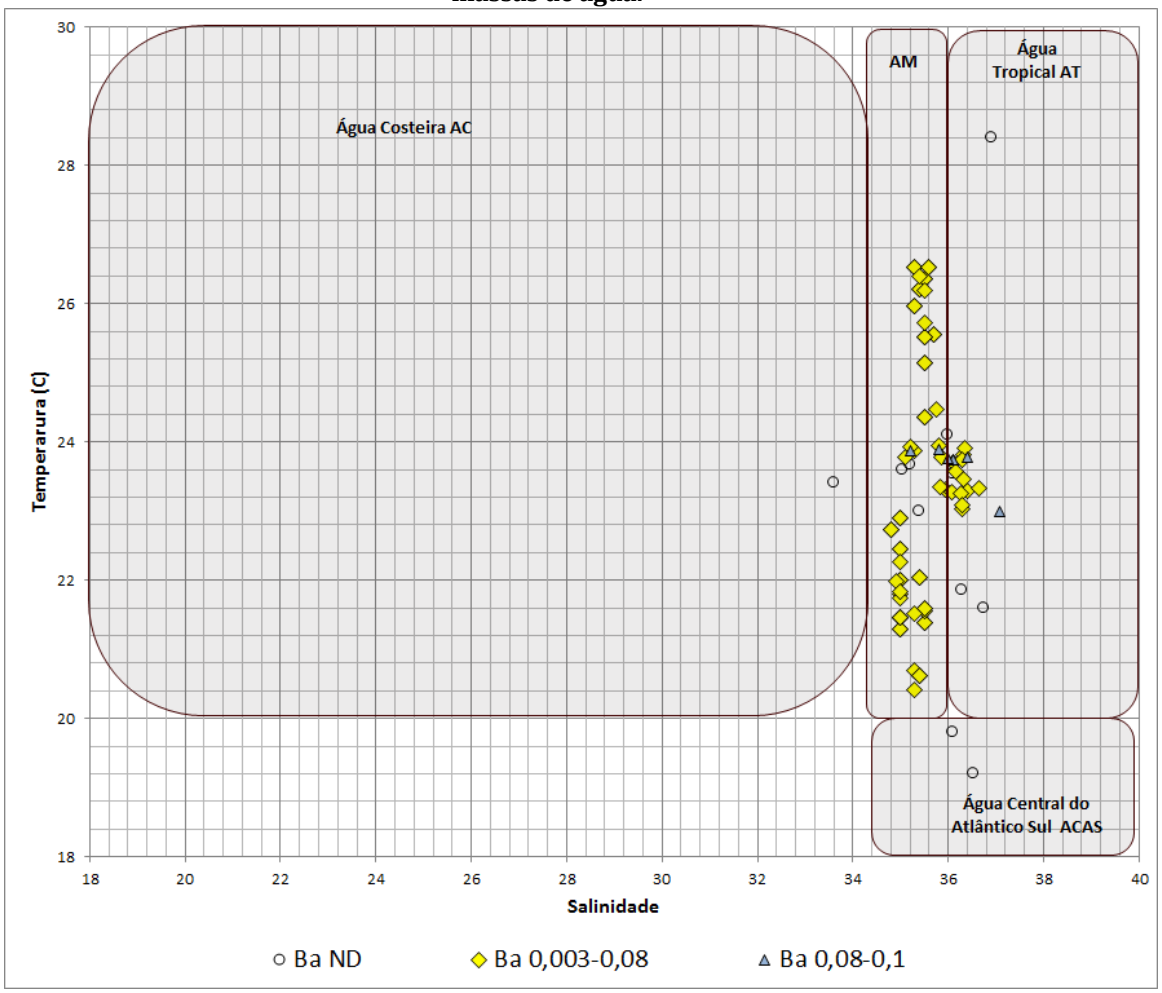


Figura 483 – Distribuição de 3 classes de resultados de bário total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Não foram encontrados resultados de cromo total para as regiões costeiras de Vila Velha-Serra, além do rio Doce no período chuvoso. Apenas em Anchieta (período chuvoso) foram verificadas concentrações de cromo acima do limite de quantificação, com valor máximo de 0,0007 mg/L, e na foz do rio Doce, na concentração de 0,129 mg/L (Figura 484). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite de 0,05 mg/L para cromo total para águas salinas Classe 1, nível mantido pelos resultados obtidos, exceto na foz do rio Doce. Não foram encontrados resultados de cromo para sua fração dissolvida, exceto para a foz do rio Doce 12 dias antes da chegada da pluma, na concentração de 0,0155 mg/L.

Figura 484 – Valores de cromo total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

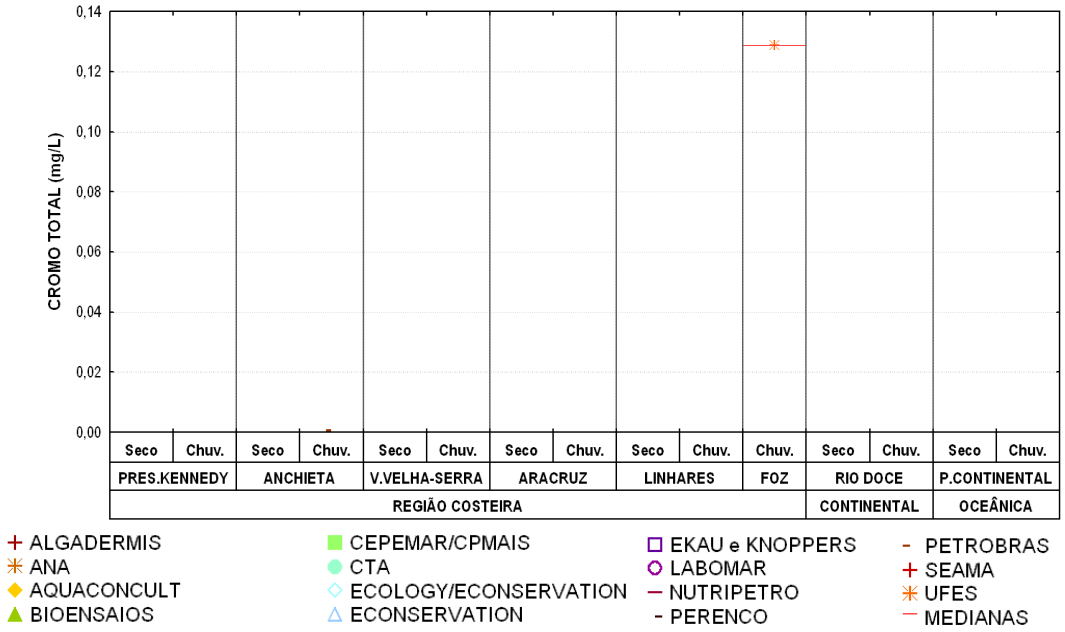
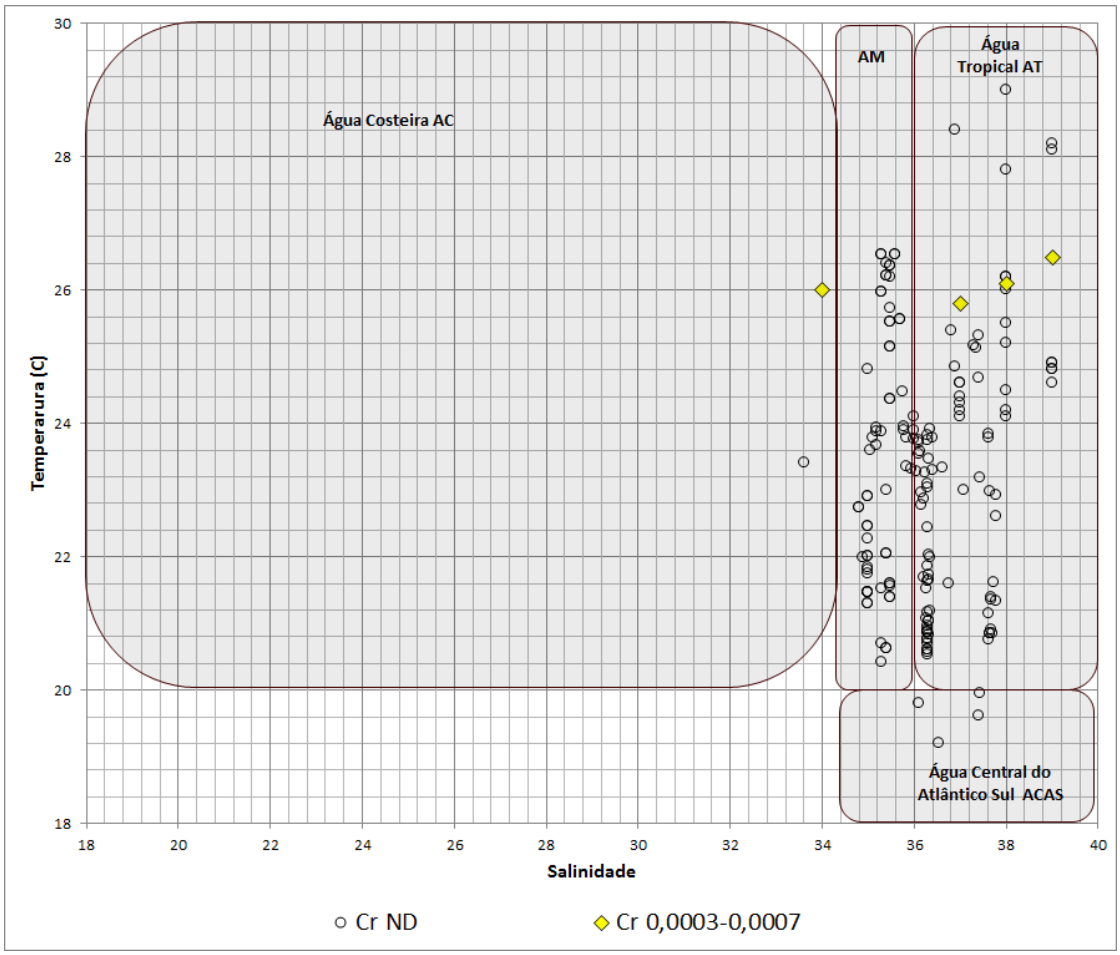


Figura 485 – Distribuição de 2 classes de resultados de cromo total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Não foram encontrados resultados de níquel total nas regiões costeiras de Vila Velha-Serra (períodos seco e chuvoso) e de Aracruz e foz do rio Doce (período chuvoso). Entre os resultados obtidos, foram encontradas concentrações quantificáveis apenas nas regiões de Pres. Kennedy e Linhares (período seco) e de Anchieta (período chuvoso), com a concentração máxima ocorrendo em Pres. Kennedy (0,005 mg/L), como mostra a Figura 486. Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração máxima de níquel total para águas salinas/salobras Classe 1 é de 0,025 mg/L, limiar não ultrapassado pelos resultados obtidos. Não foram encontrados resultados de níquel na sua fração dissolvida.

Figura 486 – Valores de níquel total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

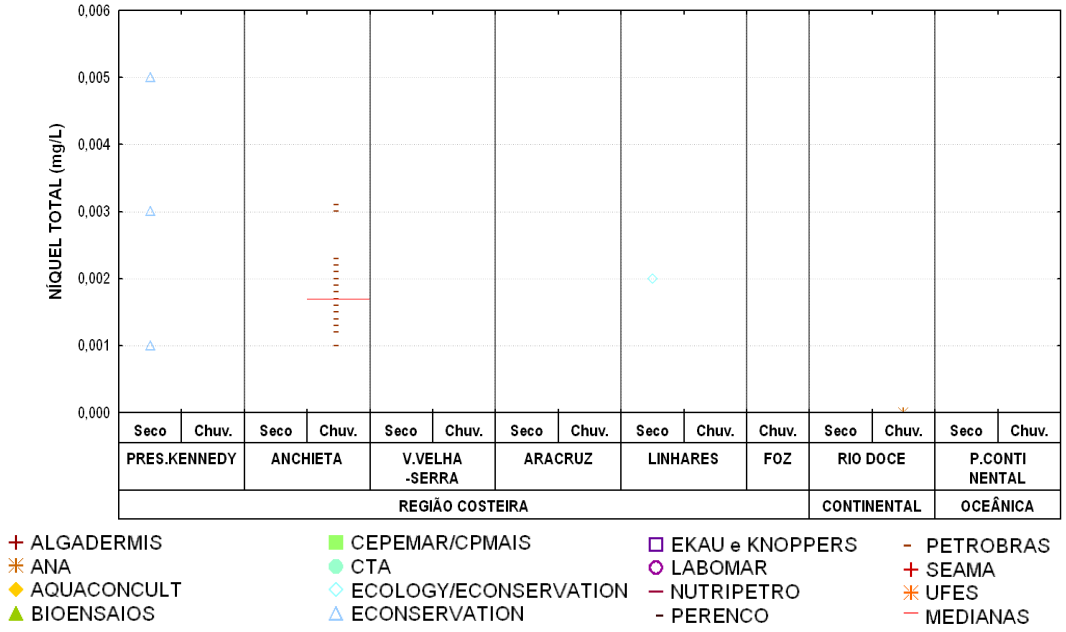
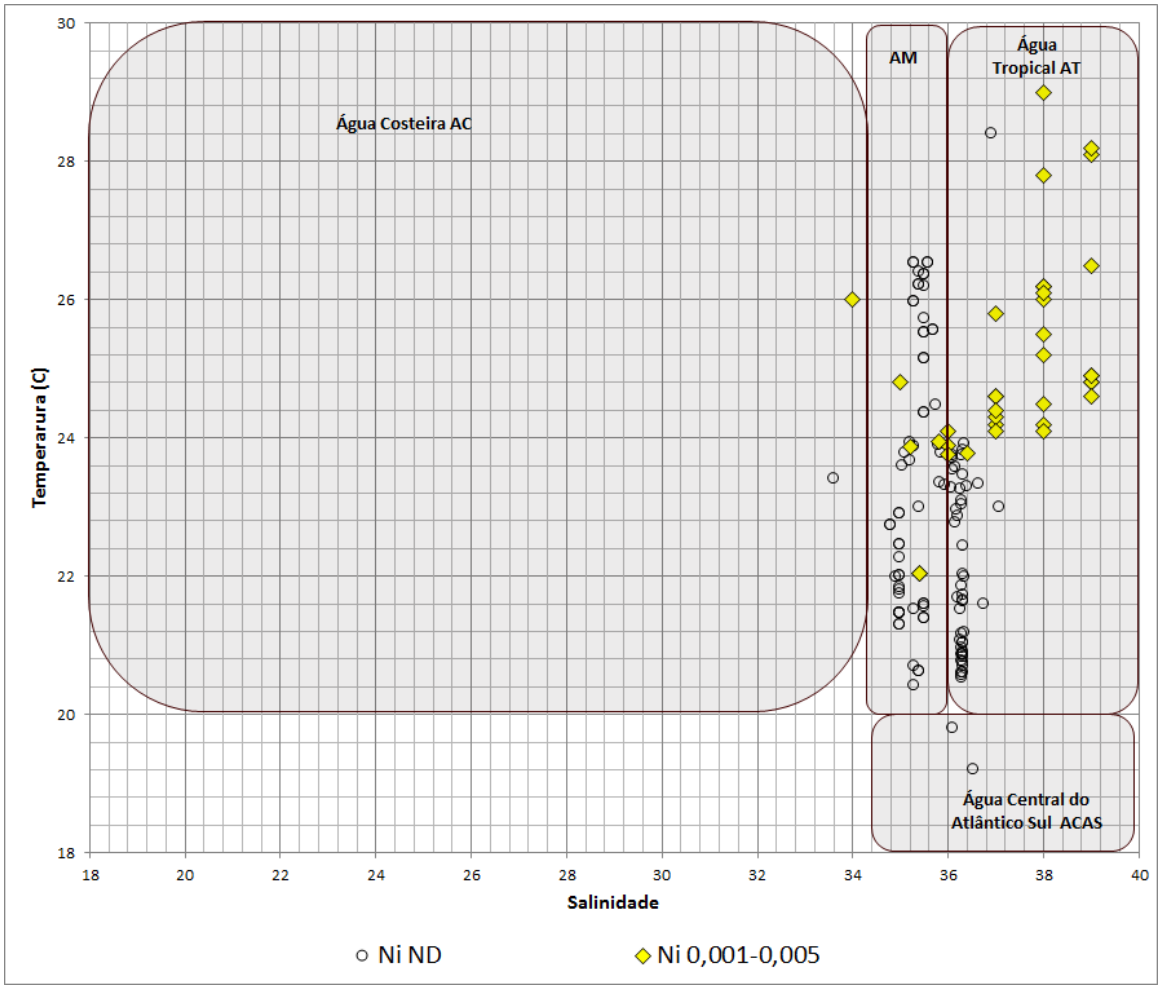


Figura 487 – Distribuição de 2 classes de resultados de níquel total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

Resultados de vanádio na concentração total foram encontrados apenas em estudos referentes ao município de Aracruz e ao rio Doce, ambos no período seco, com valores quantificáveis apenas no rio Doce, na concentração máxima de 0,0011 mg/L (Figura 488). O limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 é de 0,1 mg/L para águas doces Classe 2, nível mantido pelos resultados obtidos. Não foram encontrados resultados para vanádio na sua fração dissolvida.

Figura 488 – Valores de vanádio total (mg/L) verificados nos estudos realizados na região costeira do Espírito Santo.

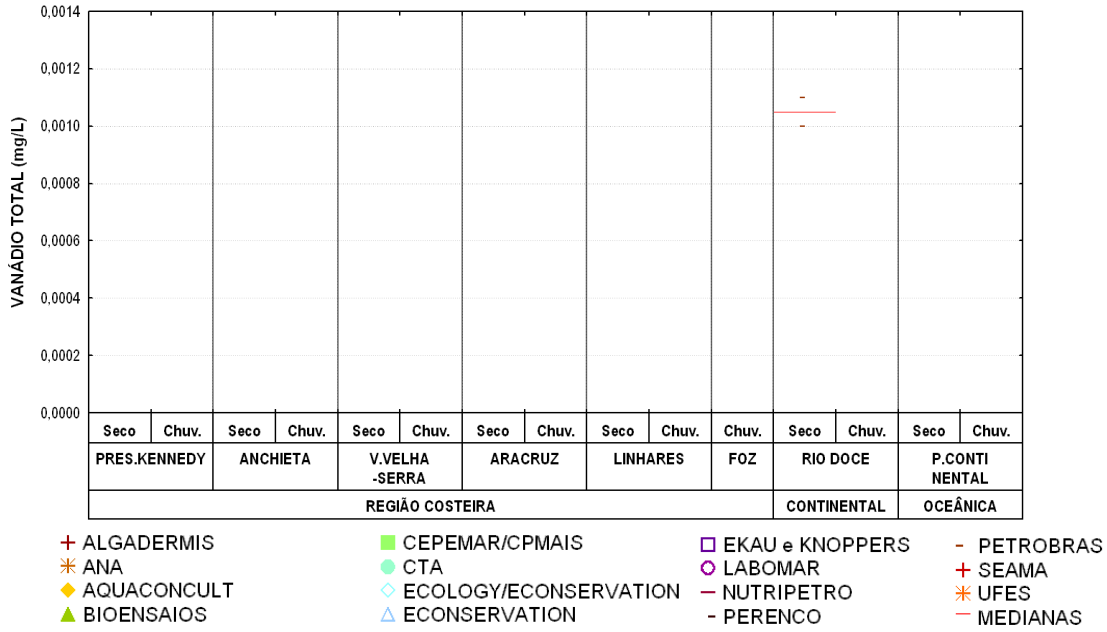
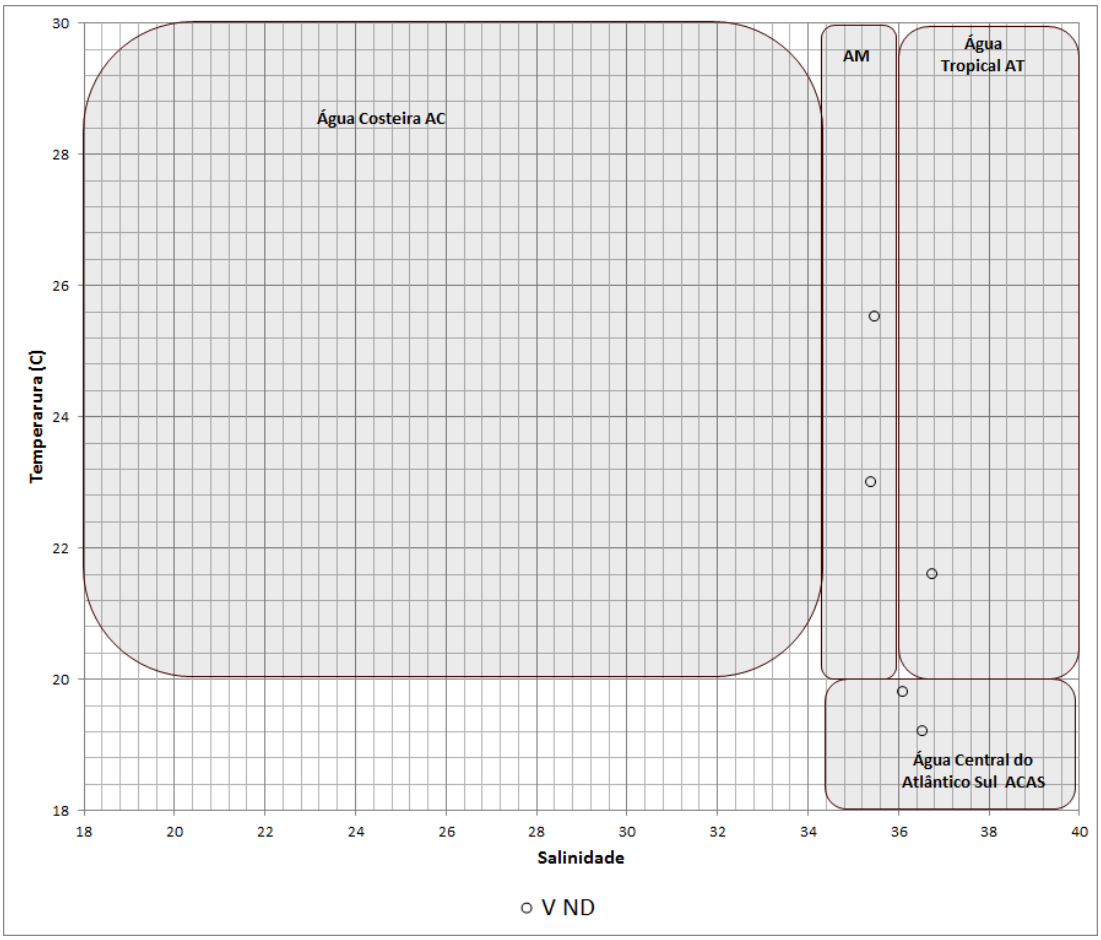


Figura 489 – Distribuição da única classe de resultados de vanádio total conforme a tipologia das massas de água.



Nota: Estão representadas apenas as amostras que apresentam correspondente resultado de temperatura e salinidade. (AM = água de mistura).

3.9.3.2 Resultados da avaliação da comunidade fitoplanctônica

O fitoplâncton marinho é composto por organismos fotossintetizantes, unicelulares e microscópicos (0,4 a 200 μm) que ocorrem em maior abundância nas áreas costeiras, especialmente nos 50 m superiores da coluna d'água (LANGLOIS; SMITH, 2001; SIMON et al., 2009). Diatomáceas, dinoflagelados e haptófitas são os principais componentes da comunidade fitoplanctônica marinha presente na plataforma continental (SIMON et al., 2009). As algas planctônicas são dependentes das correntes oceânicas para deslocamento para áreas adequadas à sua sobrevivência e crescimento (LANGLOIS; SMITH, 2001).

As microalgas desempenham importante papel na ecologia e no funcionamento dos ecossistemas, contribuindo com quase a metade da produção primária mundial e servindo de recurso alimentar para uma enorme variedade de organismos aquáticos (NOT et al., 2012).

Em resposta a certas condições de luz e nutrientes, algumas espécies do fitoplâncton podem ocorrer em elevado número celular (floração) e causar impactos econômicos, ambientais e à saúde humana. Esses eventos de floração podem danificar as brânquias ou obstruir os sistemas de filtração dos peixes, e ocasionar anóxia na coluna d'água devido à alta taxa de decomposição celular, levando à morte de organismos marinhos (LANGLOIS; SMITH, 2001; OLIVEIRA et al., 2010). No ambiente marinho, algumas espécies de diatomáceas (*Pseudo-nitzschia* H. Péragallo, *Nitzschia* Hassal e *Amphora* Ehrenberg ex Kützing), cianobactérias e dinoflagelados podem produzir toxinas quando em floração (HALLEGRAEFF, 1995). As ficotoxinas causam problemas gastrointestinais, respiratórios e neurológicos, e a morte de organismos dependendo da quantidade ingerida (OLIVEIRA et al., 2010).

O fitoplâncton na costa do estado do Espírito Santo

Após extensa pesquisa bibliográfica, não foram encontrados dados taxonômicos ou levantamentos florísticos sobre a comunidade fitoplanctônica da porção estuarina do rio Doce.

Entretanto, análises ecológicas sobre o fitoplâncton de estuários do estado do Espírito Santo foram realizadas por Pereira (1983), Figueiredo (2000) e Dias Júnior et al. (2002) na baía de Vitória, Resende (1992) para o litoral de Aracruz, Lucas (2002) para o canal de passagem/manguezal do Lameirão e Coradini (2003) para o estuário de Barra Nova. Cruz (2004), Cunha (2004) e Schaeffer (2005) realizaram a análise quali/quantitativa do fitoplâncton no trecho final dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, e constataram que as classes *Chlorophyceae*, *Bacillariophyceae*, *Cyanophyceae* e os fitoflagelados foram as mais representativas nas amostras. Os autores registraram até 174 táxons, determinados principalmente em nível genérico. A estrutura e a dinâmica do fitoplâncton da lagoa costeira Mãe-Bá foram analisadas por Machado (2006), Souza (2008) e Pereira (2012), e o potencial bioindicador de espécies fitoplanctônicas da lagoa costeira Jacuném foi estudado por Dias Júnior (1995).

Poucos estudos sobre o fitoplâncton marinho do estado do Espírito Santo foram realizados. Segundo a lista da Flora do Brasil (FLORA DO BRASIL, 2017), há 291 táxons de microalgas marinhas registrados para a costa do Espírito Santo, sendo 174 espécies e 5

variedades de dinoflagelados (classe *Dinophyceae*), 61 espécies de diatomáceas (classe *Bacillariphyceae*) e 50 espécies e uma variedade de cocolitoforídeos (classe *Coccolithophyceae*). A maior parte dessas espécies foi catalogada por Tenenbaum et al. (2006) e Tenenbaum, Gomes e Guimarães (2006) para a cadeia Vitória-Trindade como parte do Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (ReviZEE). Lubiana e Dias Júnior (2016) realizaram estudo sobre o fitoplâncton dessa região de montes submarinos, com base em amostras de arrasto vertical com rede (100 m de profundidade) coletadas na primavera de 2003, em 16 estações de amostragem. Um total de 175 táxons infragenéricos foram encontrados, sendo 131 de *Dinophyceae*, 36 de *Bacillariophyceae*, 2 de *Cyanophyceae* e 1 de *Dictyochophyceae*. Com este estudo, houve o registro de 35 novas ocorrências de espécies para o estado (Tabela 158) e 12 novas citações para o Brasil. A estação mais próxima à desembocadura do rio Doce (estação 26) apresentou 39 táxons de microalgas.

Considerando as informações contidas na lista da Flora do Brasil (FLORA DO BRASIL, 2017) e as espécies encontradas por Lubiana & Dias Júnior (2016), foram registrados 379 táxons infragenéricos para a costa do Espírito Santo (Tabela 158).

Tabela 158 – Listagem de espécies de microalgas marinhas encontradas no Estado do espírito Santo.

Bacillariophyceae	*Actinocyclus senarius*	*Actinocyclus splendens*
Asterionellopsis glacialis	*Asterolampra marylandica**	*Asteromphalus flabellatus**
Asteromphalus hepactis	*Asteromphalus stellatus**	*Bacillaria paxillifera*
Bacteriastrum cf. *hyalinum*	*Biddulphia alternans*	*Biddulphia antediluviana*
Biddulphia biddulphiana	*Campylodiscus fastuosus*	*Cerataulina pelágica*
Ceratoneis closterium	*Chaetoceros affinis*	*Chaetocerus atlanticus*
Chaetocerus borealis	*Chaetocerus brevis*	*Chaetocerus coartatus*
Chaetocerus cf. *concavicornis**	*Chaetocerus costatus*	*Chaetocerus curvisetus*
Chaetocerus decipiens	*Chaetocerus eibenii*	*Chaetocerus lorenzianus*
*Chaetocerus mitra**	*Chaetocerus peruvianus*	*Chaetocerus subtilis*
Chaetocerus tortissimus	*Climacosphenia moniligera*	*Corethron criophilum*
Coscinodiscus cf. *centralis*	*Coscinodiscus granii*	*Coscinodiscus jonesianus*
Coscinodiscus radiatus	*Coscinodiscus* sp.1	*Coscinodiscus* sp.2
Cylindroteca closterium	*Diploneis bombus*	*Ditylum brightwellii*
Grammatophora marina	*Guinardia delicatula*	*Guinardia flaccida*
Guinardia striata	*Gyrosigma balticum*	*Gyrosigma fascíola*
Hemiaulus hauckii	*Hemiaulus indicus*	*Hemiaulus cuneiformes*
*Hemiaulus membranaceus**	*Istmia enervis*	*Lauderia annulata*
*Lampriscus shadboltianum**	*Leptocylindrus danicus*	*Lyrella lyra*
Melosira moniliformis	*Neocalyptrella robusta*	*Palmeria hardmaniana*
Paralia sulcata	*Petrodictyon gemma*	*Pleurosigma* sp.1
Proboscia alata	*Pseudonitzschia seriata*	*Rhabdonema adriaticum*
*Rhizosolenia castracanei**	*Rhizosolenia hebetata*	*Rhizosolenia imbricata*
Rhizosolenia setigera	*Rhizosolenia styliformis*	*Skeletonema costatum*
Stellarima stellaris	*Surirella fastuosa*	*Thalassionema frauenfeldii*
Thalassionema nitzschioides	*Thalassiosira decipiens*	*Thalassiosira leptopus**
Thalassiosira sp.1	*Thalassiosira* sp.2	*Triceratium favus*
Trieres mobiliensis	*Trieres regina*	*Trigonium formosum**
Bacillariales sp.1	Bacillariales sp.2	Bacillariales sp.3
Bacillariales sp.4	**Coccolithophyceae**	*Acanthoica monospina*
Acanthoica quattrospina	*Algirosphaera oryza*	*Algirosphaera robusta*

Anophosolenia brasiliensis	*Calciopappus caudatus*	*Calciosolenia murray*
Calyptrolithina multipora	*Calyptrosphaera oblonga*	*Calyptrosphaera sphaeroidea*
Caneosphaera molischii	*Ceratolithus cristatus*	*Coronosphaera binodata*
Coronosphaera mediterrânea	*Discosphaera tubifera*	*Emiliania huxleyi*
Flosculosphaera calceolariopsis	*Gephyrocapsa ericsonii*	*Gephyrocapsa oceanica*
Gladiolithus flabellatus	*Halopappus adriaticus*	*Hayaster perplexus*
Helicosphaera carteri	*Helladosphaera cornifera*	*Homozygosphaera triarcha*
Michaelsarsia elegans	*Oolitholus antillarum*	*Pappophaera lepida*
Periphyllophora mirabilis	*Polycrater galapagensis*	*Pontosphaera discopora*
Poricayiptra aurisinae	*Poricayiptra isselii*	*Poricayiptra magnaghii*
Poritectolithus maximus	*Reticulofenestra sessilis*	*Rhabdosphaera clavigera*
Rhabdosphaera clavigera var. *stylifera*	*Scyphosphaera apsteinii*	*Syracolithus catilliferus*
Syracosphaera histrica	*Syracosphaera lamina*	*Syracosphaera molischii*
Syracosphaera nodosa	*Syracosphaera pirus*	*Syracosphaera pulchra*
Umbellosphaera irregulares	*Umbellosphaera tenuis*	*Umbilicosphaera hulburtiana*
Umbilicosphaera sibogae	*Zygosphaera hellenica*	**Cyanophyceae**
Trichodesmium thiebautii	*Trichodesmium erythraeum*	**Dictyochophyceae**
*Dictyocha fibula**	**Dinophyceae**	*Akashivo sanguinea*
Amphisolenia bidentata	*Amphisolenia bifurcata**	*Amphisolenia globifera*
*Amphisolenia schauinslandii**	*Amphisolenia schroederi**	*Amphisolenia thrinax*
Archaeperidinium minutum	*Brachidinium capitatum*	*Ceratium geniculatum*
Ceratium gibberum	*Ceratium horridum*	*Ceratium longirostrum*
Ceratium massiliense	*Ceratium pentagonum* var. *tenerum*	*Ceratium setigerum*
Ceratium tenue	*Ceratium teres*	*Ceratium trichocerus*
Ceratium tripos	*Caratocorys armata*	*Ceratocorys gourretii*
Ceratocorys horrida	*Citharistes apsteinii*	*Citharistes regius**
Cladopyxis brachiolata	*Cladopyxis hemibrachiata**	*Corythodinium constrictum*
Corythodinium diploconus	*Corythodinium tesselatum*	*Corythodinium* sp.1
Dinophysis acuminata	*Dinophysis argus*	*Dinophysis caudata**
*Dinophysis fortii**	*Dinophysis exigua*	*Dinophysis hastata*
Dinophysis odiosa	*Dinophysis operculoides*	*Dinophysis ovum*
Dinophysis parvula	*Dinophysis pulchella*	*Dinophysis punctate*
*Dinophysis pusilla**	*Dinophysis schilleri*	*Dinophysis schuettii*
Dinophysis tripos	*Dinophysis uracantha*	*Dinophysis* sp.1
Dinophysis sp.2	*Dinophysis* sp.3	*Goniodoma polyedricum*
Goniodoma sp.	*Goniaulax birostris*	*Gonyaulax grindleyi*
*Gonyaulax milneri**	*Goniaulax polygramma*	*Gonyaulax* sp.
Gymnodinium sp.	*Gyrodinium falcatum*	*Heterodinium díspar**
Heterodinium sp.1	*Heterodinium* sp.2	*Histioneis cymbalaria*
Histioneis depressa	*Histioneis elongata*	*Histioneis garrettii**
Histioneis highleyi	*Histioneis joergensenii**	*Histioneis inclinata*
Histioneis megalocopa	*Histioneis milneri*	*Histioneis mitchellana*
Histioneis panaria	*Histioneis para*	*Histioneis striata*
*Kofoidinium velleloides**	*Metaphalacroma skogsbergii**	*Micracanthodinium setiferum*
Noctiluca scintillans	*Ornithocercus cristatus**	*Ornithocercus heteroporus*
Ornithocercus magnificus	*Ornithocercus quadratus*	*Ornithocercus quadratus* var. *simplex*
Ornithocercus steinii	*Ornithocercus thumii*	*Oxyphysis oxytoxoides*
Oxytoxum caudatum	*Oxytoxum constrictum*	*Oxytoxum crassum*
Oxytoxum curvatum	*Oxytoxum elegans*	*Oxytoxum gladiosus*
Oxytoxum laticeps	*Oxytoxum milneri*	*Oxytoxum mitra*
Oxytoxum obliquum	*Oxytoxum ovale*	*Oxytoxum parvum*

Oxytoxum robustum	*Oxytoxum sceptrum*	*Oxytoxum scolopax*
Oxytoxum sphaeroideum	*Oxytoxum tesselatum*	*Oxytoxum turbo*
Phalacroma circumcinctum	*Phalacroma cuneus*	*Phalacroma doryphorum*
Phalacroma favus	*Phalacroma hindmarchii*	*Phalacroma mitra*
Phalacroma parvulum	*Phalacroma rapa*	*Phalacroma rotundatum*
Podolampas bipes	*Podolampas elegans*	*Podolampas palmipes*
Podolampas spinifera	*Pronoctiluca pelagica*	*Prorocentrum arcuatum*
Prorocentrum cf. *aculeatum*	*Prorocentrum balticum*	*Prorocentrum compressum*
Prorocentrum cordatum	*Prorocentrum gracile*	*Prorocentrum lima*
Prorocentrum micans	*Prorocentrum rostratum*	*Prorocentrum scutellum*
Protoceratium spinulosum	*Protoperidinium avellana*	*Protoperidinium claudicans*
Protoperidinium conicum	*Protoperidinium depressum*	*Protoperidinium divergens*
*Protoperidinium elegans**	*Protoperidinium excentricum*	*Protoperidinium grande*
Protoperidinium granii	*Protoperidinium hirobis*	*Protoperidinium oceanicum**
Protoperidinium ovatum	*Protoperidinium pellucidum*	*Protoderidinium pentagonum**
Protoperidinium pyriforme	*Protoperidinium quarnerense*	*Protoperidinium roseum*
Protoperidinium sphaeroideum	*Protoperidinium steinii*	*Protoperidinium tuba*
Protoperidinium variegatum	*Protoperidinium wiesneri*	*Protoperidinium* sp.1
Protoperidinium sp.2	*Protoperidinium* sp.3	*Protoperidinium* sp.4
Pyrocystis fusiformis	*Pyrocystis gerbaultii*	*Pyrocystis hamulus* var. *semicircularis**
Pyrocystis linula	*Pyrocystis noctiluca*	*Pyrocystis obtusa*
Pyrocystis pseudonoctiluca	*Pyrocystis robusta*	*Pyrophacus horologicum*
Pyrophacus steinii	*Scrippsiella trochoidea*	*Spiraulax kofoidii**
Thoracosphaera heimii	*Triadinium polyedricum*	*Tripos arietinus*
Tripos azoricum	*Tripos belone*	*Tripos bigelowii*
Tripos brevis	*Tripos candelabrus*	*Tripos carriensis*
*Tripos cephalotus**	*Tripos concilians*	*Tripos contortus*
Tripos contortus var. *karstenii*	*Tripos contractus*	*Tripos contrarius*
Tripos declinatus	*Tripos digitatus*	*Tripos euarcuatus*
Tripos extensus	*Tripos falcatus*	*Tripos furca*
Tripos furca var. *hircus*	*Tripos fusus*	*Tripos fusus* var. *seta*
Tripos gibberus	*Tripos geniculatus*	*Tripos gravidus*
Tripos hexacanthus	*Tripos hircus*	*Tripos horridus*
Tripos horridus var. *molle**	*Tripos humile*	*Tripos incisum*
Tripos inflatus	*Tripos karstenii*	*Tripos kofoidii*
Tripos lanceolatus	*Tripos limulus*	*Tripos lineatus*
*Tripos longinus**	*Tripos longirostrus*	*Tripos longissimus*
Tripos lunula	*Tripos macroceros*	*Tripos macroceros* var. *gallicum**
Tripos massiliensis	*Tripos massiliensis* var. *armatum**	*Tripos minutum*
Tripos muelleri	*Tripos paradoxoides*	*Tripos pentagonus*
Tripos praelongus	*Tripos pulchellus*	*Tripos pulchellus* f. *tripodioides**
*Tripos ranipes**	*Tripos reflexus*	*Tripos schroeterii*
Tripos setaceum	*Tripos subrobustum*	*Tripos sumatranus*
*Tripos symmetricus**	*Tripos teres*	*Tripos tricoceros*
Tripos vultur	*Tripos cultur* var. *japonicum**	*Triposolenia bicornis*
Dinophyceae sp.1	Dinophyceae sp.2	Dinophyceae sp.3

Nota: *Citações pioneiras registradas por Lubiana e Dias Júnior (2016).

Antes da chegada da lama na costa do estado, os pesquisadores da UFES registraram 50 a 70 espécies de algas planctônicas (FIORAVANTI, 2016), entretanto, a relação dos táxons não foi encontrada. Com base nos dados de caracterização ambiental obtidos no inverno de 2013 (julho-agosto) e outono de 2014 (março-abril) em ponto em frente à foz do rio Doce,

sabe-se que os valores de densidade fitoplanctônica eram baixos, não ultrapassando 189 ind.L^{-1} na superfície e 130 ind.L^{-1} no fundo; e que os valores de clorofila-a estavam abaixo de 1 µg.L^{-1} (PETROBRAS, 2015 apud UFES, 2017, p. 225).

3.9.3.3 Resultados da avaliação da comunidade zooplanctônica

O zooplâncton marinho é um grupo de organismos encontrados na coluna da água, bastante heterogêneo, possuindo representantes de quase todos os filos animais (RUPERT; BARNES, 1996; TAIT; DIPPER, 1998). A maior parte dos organismos é microscópica, mas alguns organismos gelatinosos, como as águas-vivas, podem atingir de centímetro a metros de comprimento (ALCARAZ; CALBET, 2003).

A comunidade zooplanctônica pode ser divida em: holoplâncton – organismos que vivem toda sua vida no plâncton, engloba alguns protistas, celenterados, moluscos e crustáceos, cordados e organismos da classe Appendicularia; e meroplâncton – organismos que tem apenas um estágio planctônico, como ovos e larvas de diversos organismos sésseis (TAIT; DIPPER, 1998).

Os crustáceos estão entre os organismos mais representativos do zooplâncton marinho devido à sua abundância e importante papel na cadeia trófica, podendo contribuir em 70% ou mais de toda a biomassa (TAIT; DIPPER, 1998; BOLTOVSKOY, 1999). Entre eles, os copépodes são considerados os metazoários mais abundantes do planeta, além de poderem servir como bioindicadores, como no caso do gênero *Paracalanus* (CAMPELO, 2010). Próximo aos copépodes em importância está o grupo Euphausiacea, mais conhecidos como *krill*. Esses organismos são a principal ligação entre a produção primária e os grandes carnívoros, comobaleias, pinguins, entre outros (ALCARAZ; CALBET, 2003). Os decápodes são o maior e maisvariado grupo de crustáceos, sendo que muitos deles apresentam a fase larval planctônica (BOLTOVSKOY, 1999). Já os cladóceros apresentam apenas sete espécies, menos diversos que os representantes de água doce, porém podem atingir grandes densidades. Os ostracodes apresentam pequena abundância, e são mais comuns em grandes profundidades (RUPERT;BARNES, 1996; ALCARAZ; CALBET, 2003).

O zooplâncton na costa do estado do Espírito Santo

A compilação de todas as informações sobre o zooplâncton da região litorânea do Espírito Santo resultou em 451 táxons, sendo que o menor nível taxonômico disponível foi considerado (Tabela 159) (VALENTIN; MONTEIRO-RIBAS, 1993; MAGRIS, 2005; STERZA; FERNANDES, 2006; DIAS; BONECKER, 2007; DIAS; BONECKER, 2008; ARRUDA; ÁVILA; BONECKER, 2010; CAMPELO, 2010; NUNES, 2010; BONECKER et al., 2014; DIAS et al., 2015).

Tabela 159 – Lista de espécies do zooplâncton marinho na região litorânea do Espírito Santo.

Táxon				Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
1	ARTHROPODA	CRUSTACEA, Copepoda, Calanoida	*Acartia danae*	x			x
2			*Acartia lilljeborgi*	x	x	x	x
3			*Acartia longiremis*	x			x
4			*Acartia* sp.	x		x	x
5			*Acartia tonsa*	x	x	x	
6			*Acrocalanus gracilis*	x			x
7			*Acrocalanus longicornis*	x			x
8			*Acrocalanus* sp.				x
9			*Aetideus giesbrechti*	x			
10			*Amallothrix dentipes*	x			x
11			*Arietellus plumifer*	x			x
12			*Bestiolina* sp.	x	x		
13			*Calacalanus pavoninus*	x	x		x
14			*Calanoides carinatus*	x		x	x
15			*Calanopia americana*	x	x	x	x
16			*Calanus tenuicornis*	x			x
17			*Calocalanus contractus*	x			x
18			*Calocalanus contractus*				x
19			*Calocalanus pavo*				x
20			*Calocalanus pavo*	x			x
21			*Calocalanus* sp.			x	
22			*Candacia bipinnata*	x			x
23			*Candacia bispinosa*	x			
24			*Candacia curta*	x			
25			*Candacia ethiopica*	x			x
26			*Candacia longimana*	x			
27			*Candacia pachydactyla*	x			x
28			*Candacia simplex*	x			x
29			*Candacia* sp.				x
30			*Candacia tenuimana*	x			
31			*Centropages furcatus*	x	x		x
32			*centropages* sp.	x			x
33			*Centropages velificatus*	x	x	x	x
34			*Centropages violaceus*	x			x
35			*Chiridiella atlantica*	x			x
36			*Chiridius gracilis*	x			
37			*Chirundina streetsii*	x			
38			*Clausocalanus arcuicornis*	x			x
39			*Clausocalanus brevipes*	x			x
40			*Clausocalanus furcatus*	x	x	x	
41			*Clausocalanus mastigophorus*	x			
42			*Ctenocalanus citer*	x		x	x
43			*Ctenocalanus vanus*	x			x

Táxon				Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
44			*Delibus sewelli*	x			
45			*Euaetideos giesbrechti*	x			
46			*Euaugaptilus facilis*	x			x
47			*Euaugaptilus hecticus*	x			
48			*Euaugaptilus* sp.				x
49			*Eucalanus crassus*	x			
50			*Eucalanus hyalinus*	x			
51			*Eucalanus monachus*	x			
52			*Eucalanus subcrassus*	x			
53			*Euchaeta marina*	x			x
54			*Euchaeta media*	x			
55			*Euchirella curticauda*	x			
56			*Euchirella messinensis*	x			
57			*Euchirella pulchra*	x			
58			*Gaetanus kruppi*	x			
59			*Gaetanus miles*	x			
60			*Gaetanus minor*	x			
61			*Gaetanus pileatus*	x			x
62			*Gaetanus tenuispinus*	x			
63			*Haloptilus austini*	x			
64			*Haloptilus longicirrus*	x			x
65			*Haloptilus longicornis*	x			x
66			*Heterorhabdus austrinus*	x			
67			*Heterorhabdus papilliger*	x			x
68			*Heterorhabdus* sp.				x
69			*Heterorhabdus spinifrons*	x			x
70			*Labidocera acutifrons*	x			x
71			*Labidocera fluviatilis*			x	
72			*Labidocera* sp.	x			x
73			*Lophothrix frontalis*	x			x
74			*Lophothrix latipes*	x			
75			*Lophothrix quadrispinosa*	x			x
76			*Lucicutia clausii*	x			
77			*Lucicutia flavicornis*	x	x		x
78			*Lucicutia gaussae*	x			
79			*Lucicutia longicornis*	x			
80			*Lucicutia magna*	x			
81			*Lucicutia ovalis*	x			
82			*Lucicutia* sp.				x
83			*Lucicutia wolfendeni*	x			
84			*Mecynocera clausi*	x			x
85			*Metridia brevicauda*	x			
86			*Metridia princeps*	x			
87			*Nannocalanus minor*	x		x	x
88			*Neocalanus gracilis*	x			x
89			*Neocalanus robuster*	x			
90			*Neocalanus robustior*	x		x	x
91			*Nullosetigera helgae*	x			
92			*Paracalanus aculeatus*	x		x	x
93			*Paracalanus crassirostris*	x			
94			*Paracalanus nanus*	x			
95			*Paracalanus parvus*	x	x	x	x
96			*Paracalanus quasimodo*	x	x	x	x
97			*Paraeucalanus sewelli*	x			
98			*Paraeuchaeta sarsi*	x			
99			*Paraheterorhabdus vipera*	x			
100			*Parvocalanus crassirostris*	x	x	x	
101			*Pleuromamma abdominalis*	x			x
102			*Pleuromamma gracilis*	x			

Táxon				Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
103			*Pleuromamma piseki*	x			x
104			*Pleuromamma* sp.				x
105			*Pleuromamma xiphias*	x			x
106			*Pontellina plumata*	x			x
107			*Pontellopsis brevis*	x			
108			*Pontellopsis villosa*	x			x
109			*Pseudocalanus* sp.	x			x
110			*Pseudodiaptomus acutus*	x	x	x	
111			*Pseudodiaptomus marshi*	x	x		
112			*Pseudodiaptomus richardi*	x	x		
113			*Racovitzanus levis*	x			x
114			*Rhincalanus cornutus*				x
115			*Rhincalanus nasutus*	x			
116			*Scaphocalanus brevicornis*	x			
117			*Scaphocalanus curtus*	x			
118			*Scaphocalanus echinatus*	x			
119			*Scaphocalanus elongatus*	x			
120			*Scaphocalanus magnus*	x			
121			*Scaphocalanus subbrevicornis*	x			
122			*Scolecithricella dentata*	x			
123			*Scolecithricella minor*	x			x
124			*Scolecithricella ovata*	x			
125			*Scolecithricella profunda*	x			
126			*Scolecithricella tenuiserrata*	x			x
127			*Scolecithrix danae*	x			x
128			*Scolecitrix bradyi*	x			
129			*Scottocalanus securifrons*	x			
130			*Spinocalanus* sp.				x
131			*Subeucalanus crassus*	x			x
132			*Subeucalanus longiceps*	x			
133			*Subeucalanus pileatus*	x	x	x	x
134			*Subeucalanus* sp.	x		x	
135			*Subeucalanus subtenuis*	x	x	x	
136			*Temora stylifera*	x	x	x	x
137			*Temora turbinata*	x	x		x
138			*Temoropia mayumbaensis*	x			
139			*Tharybis asymmetrica*	x			x
140			*Undinula cf. vulgaris*	x			x
141			*Undinula Undinula*	x			
142			*Undinula vulgaris*	x			x
143			*Xanthocalanus marlyae*	x			
144		Copepoda, Phaennidae					x
145		Copepoda, Poecilostomatoida	*Conaea rapax*	x			
146			*Copilia mirabilis*	x		x	x
147			*Coryaceus* sp.	x			x
148			*Corycaeus amazonicus*	x	x		
149			*Corycaeus dubius*	x			
150			*Corycaeus flaccus*	x			x
151			*Corycaeus giesbrechti*	x	x	x	x
152			*Corycaeus latus*	x			
153			*Corycaeus lautus*	x			x
154			*Corycaeus limbatus*	x			x
155			*Corycaeus ovalis*	x			
156			*Corycaeus speciosus*	x	x	x	x
157			*Corycaeus typicus*	x			x

Táxon				Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
158			*Corycella gracilis*	x			
159			*Corycella rostrata*	x			
160			*Farranula gracilis*	x	x	x	x
161			*Farranula rostrata*	x			
162			*Hemicyclops thalassius*	x	x	x	
163			*Lubbockia aculeata*	x			
164			*Lubbockia* sp.				x
165			*Lubbockia squillimana*	x			x
166			*Oncaea atlântica*	x			x
167			*Oncaea cf. media*	x			
168			*Oncaea conifera*	x			
169			*Oncaea curta*		x	x	
170			*Oncaea curvata*	x			
171			*Oncaea media*	x	x	x	x
172			*Oncaea mediterranea*	x			x
173			*Oncaea* sp.				x
174			*Oncaea venusta*	x	x	x	x
175			*Saphirina scarlata*	x			
176			*Sapphirina angusta*	x			
177			*Sapphirina gemma*	x			
178			*Sapphirina nigromaculata*	x		x	x
179			*Sapphirina* sp.	x	x		
180			*Triconia cf. conifera*	x			
181			*Triconia conifera*				x
182			*Undeuchaeta major*	x			
183			*Undeuchaeta plumosa*	x			
184		Copepoda, Harpacticoida	*Aegisthus mucronatus*	x			
185			*Cletocamptus deitersi*		x		
186			*Clytemnestra gracilis*	x			
187			*Clytemnestra rostrata*		x		
188			*Clytemnestra scutellata*	x	x		x
189			*Clytemnestra* sp.	x			x
190			*Euterpina acutifrons*	x	x	x	x
191			*Harpacticus sp.*	x			
192			*Longipedia minor*	x			
193			*Macrosetella gracilis*	x		x	x
194			*Mesochra lilljeborgi*		x		
195			*Mesochra* sp.	x			
196			*Microsetella norvergica*	x	x		
197			*Microsetella rosea*	x	x		x
198			*Microsetella* sp.	x			x
199			*Miracia efferata*	x			
200			*Tigriopus* sp.		x		
201		Copepoda, Cyclopoida	*Microcyclops anceps*		x		
202			*Oithona hebes*	x	x	x	
203			*Oithona nana*	x	x		
204			*Oithona oculata*	x	x	x	
205			*Oithona oswaldocruzi*	x			x
206			*Oithona plumifera*	x	x	x	x
207			*Oithona rigida*	x			
208			*Oithona robusta*	x			
209			*Oithona setigera*	x	x	x	x
210			*Oithona similis*	x	x	x	x
211			*Oithona* sp.	x		x	x
212			*Oithona tenuis*	x			
213			*Paracyclops fimbriatus*		x		
214			*Thermocyclops minutus*		x		

Táxon				Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
215		Copepoda, Siphonostomatoida	*Caligus* sp.	x	x		
216		Copepoda, Monstrilloida	*Cymbasoma gracilis*		x		
217			*Cymbasoma rigidum*		x		
218			*Cymbasoma cf. longispinosum*				
219			*Cymbasoma cf. rigidum*				
220			*Cymbasoma gracilis*				
221			*Cymbasoma quadridens*				
222			*Cymbasoma rochai*				
223			*Monstrilla bahiana*				
224			*Monstrilla brasiliensis*				
225			*Monstrilla careli*				
226			*Monstrilla grandis*				
227			*Monstrillopsis dubia*				
228			*Monstrillopsis fosshageni*				
229		CIRRIPEDIA		x	x	x	
230		DECAPODA	*Aratus pisonii*		x		
231			*Armases rubripes*		x		
232			*Bentheuphausia amblyops*	x			
233			*Chasmagnatus granulata*		x		
234			*Clibanarius* sp.		x		
235			*Cyclograpsus integer*		x		
236			*Eurytium limosum*		x		
237			*Goniopsis cruentata*		x		
238			*Hexapanopeus angustifrons*		x		
239			*Hexapanopeus paulensis*		x		
240			*Hexapanopeus schmitti*		x		
241			*Janicella spinicauda*	x			
242			*Leander tenuicornis*	x			
243			*Lucifer faxoni*	x	x		
244			*Megalobrachium* sp.		x		
245			*Pachycheles monilifer*		x		
246			*Pachygrapsus transversus*		x		
247			*Paguristes* sp.		x		
248			*Pagurus* sp.	x	x		
249			*Panopeus americanus*		x		
250			*Panopeus bermudensis*		x		
251			*Periclimenes longicaudatus*	x			
252			*Persephona mediterranea*		x		
253			*Petrolisthes armatus*		x		
254			*Pinnixa chaeptorana*		x		
255			*Portunus spinicarpus*		x		
256			*Sesarma rectum*		x		
257			*Sicyonia* sp.		x		
258			*Stenopus hispidus*	x			
259			*Uca burgersi*		x		
260			*Uca mordax*		x		
261			*Uca* sp.		x		
262			*Uca thayeri*		x		
263			*Uca vocator*		x		
264			*Ucides cordatus*		x		
265			*Ucides* sp.		x		
266		DECAPODA, Anomura		x			
267		DECAPODA, Paneidae		x			

	Táxon			Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
268		DECAPODA, Sergestidae		x			
269		EUPHAUSIACEA	*Euphausia americana*	x			
270			*Euphausia brevis*	x			
271			*Euphausia pseudogibba*	x			
272			*Euphausia recurva*	x			
273			*Euphausia tenera*	x			
274			*Euphausia similis*	x			
275			*Nematobrachion flexipes*	x			
276			*Nematobrachion sexspinosus*	x			
277			*Nematoscelis atlantica*	x			
278			*Nematoscelis microps*	x			
279			*Nematoscelis tenella*	x			
280			*Stylocheiron abbreviatum*	x			
281			*Stylocheiron affine*	x			
282			*Stylocheiron carinatum*	x			
283			*Stylocheiron elongatum*	x			
284			*Stylocheiron longicorne*	x			
285			*Stylocheiron suhmii*	x			
286			*Thysanopoda aequalis*	x			
287			*Thysanopoda aequalis*	x			
288			*Thysanopoda obtusifrons*	x			
289			*Thysanopoda tricuspidata*	x			
290		AMPHIPODA	*Synopia* sp.		x		
291		AMPHIPODA, Hyperiidae		x			x
292		ISOPODA	*Liriope tetraphyla*	x	x		
293		MYSIDACEA	*Mysidopsis sp*	x			
294			*Promysis atlântica*	x	x		
295		CUMACEA		x	x		
296		HOPLOCARIDA		x	x		
297		DIPLOSTRACA		x			
298		CLADOCERA	*Evadne spinifera*	x			
299			*Evadne tergestina*	x			
300			*Moina micrura*		x		
301			*Penilia avirostris*	x	x		x
302			*Pleopis schmackeri*	x			
303			*Pleopsis polyphemoides*	x	x		
304			*Podon polyphemoides*	x			
305			*Podon* sp.	x			x
306			*Pseudevadne tergestina*	x			
307		OSTRACODA		x			
308		OSTRACODA, Tanaidacea		x			
309		CHELICERATA, Arachnida, Acari			x		
310	MOLLUSCA	BIVALVIA		x			
311		GASTROPODA	*Creseis acicula*	x			
312			*peraclis apicifulva*	x			
313		GASTROPODA, Opisthobranchia		x			
314	CHAETOGNATHA		*Caecosagitta macrocephala*	x			
315			*Decipisagitta decipiens*	x			
316			*Decipisagitta sibogae*	x			
317			*Eukrohnia bathypelagica*	x			
318			*Ferosagitta hispida*	x			
319			*Flaccisagitta enflata*	x			
320			*Flaccisagitta hexaptera*	x			

	Táxon			Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
321			*Krohnitta mutabbii*	x			
322			*Krohnitta subtilis*	x			
323			*Mesosagitta mínima*	x			
324			*Parasagitta friderici*	x			
325			*Paraspadella nana*				
326			*Pseudosagitta lyra*	x			
327			*Pterosagitta draco*	x			
328			*Sagitta bipunctata*	x			
329			*Sagitta decipiens*		x		
330			*Sagitta enflata*	x	x		
331			*Sagitta friderici*	x	x		
332			*Sagitta helenae*	x			
333			*Sagitta hispida*		x		
334			*Sagitta mínima*		x		
335			*Sagitta* sp.	x	x		
336			*Serratosagitta serratodentata*	x			
337	CNIDARA	HYDROZOA	*Abylopsis eschscholtzi*	x			
338			*Abylopsis tetragona*	x			
339			*Agalma okeni*	x			
340			*Aglaura hemistoma*	x			
341			*Amphogona apicata*	x			
342			*Bassia bassensis*	x			
343			*Bougainvillia niobe*	x			
344			*Ceratocymba leuckartii*	x			
345			*Ceratocymba sagittata*	x			
346			*Chelophyes appendiculata*	x			
347			*Chuniphyes multidentata*	x			
348			*Clytia simplex*	x			
349			*Corymorpha gracilis*	x			
350			*Cunina frugifera*	x			
351			*Dimophyes arctica*	x			
352			*Diphyes bojani*	x			
353			*Diphyes dispar*	x			
354			*Ectopleura dumortieri*	x			
355			*Enneagonum hyalinum*	x			
356			*Eucheilota duodecimalis*	x			
357			*Eucheilota paradoxica*	x			
358			*Eucheilota* sp.	x			
359			*Eucheilota ventricularis*	x			
360			*Eudoxoides mitra*	x			
361			*Eudoxoides spiralis*	x			
362			*Eutima gracilis*	x			
363			*Halistemma rubrum*	x			
364			*Hippopodius hippopus*	x			
365			*Laodicea indica*	x			
366			*Lensia achilles*	x			
367			*Lensia campanella*	x			
368			*Lensia challengeri*	x			
369			*Lensia conoidea*	x			
370			*Lensia cossack*	x			
371			*Lensia fowleri*	x			
372			*Lensia grimaldi*	x			
373			*Lensia havock*	x			
374			*Lensia hotspur*	x			
375			*Lensia hunter*	x			
376			*Lensia meteori*	x			
377			*Lensia multicristata*	x			
378			*Lensia subtilis*	x			

	Táxon			Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
379			*Lensia subtiloides*	x			
380			*Lychnagalma utricularia*	x			
381			*Merga violacea*	x			
382			*Muggiaea kochi*	x			
383			*Nanomia bijuga*	x			
384			*Obelia* sp.	x			
385			*Proboscidactyla ornata*	x			
386			*Rhopalonema velatum*	x			
387			*Sarsia eximia*	x			
388			*Sminthea eurygaster*	x			
389			*Solmundella bitentaculata*	x			
390			*Sulculeolaria chuni*	x			
391			*Sulculeolaria quadrivalvis*	x			
392			*Sulculeolaria turgida*	x			
393			*Tetraplatia volitans*	x			
394			*Turritopsis nutricula*	x			
395			*Vogtia glabra*	x			
396			*Vogtia serrata*	x			
397			*Zanclea medusopolypata*	x			
398			*Zanclea medusopolypata*	x			
399		SYPHOZOA, Anthomedusae		x			
400	CHORDATA	TUNICATA	*Ascidia* sp.	x	x		
401			*Brooksia rostrata*	x			
402			*Dolioletta gegenbauri*	x			
403			*Doliolina mülleri*	x			
404			*Doliolum nationalis*	x			
405			*Fritillaria formica*	x			
406			*Fritillaria haplostoma*	x			
407			*Fritillaria pellucida*	x			
408			*Fritillaria sargassi*	x			
409			*Fritillaria* sp.	x			
410			*Fritillaria tenella*	x			
411			*Iasis zonaria*	x			
412			*Oikopleura albicans*	x			
413			*Oikopleura cophocerca*	x			
414			*Oikopleura cornutogastra*	x			
415			*Oikopleura dioica*	x	x		
416			*Oikopleura fusiformis*	x	x		
417			*Oikopleura gracilis*	x			
418			*Oikopleura intermedia*	x			
419			*Oikopleura longicauda*	x	x		
420			*Oikopleura rufescens*	x	x		
421			*Oikopleura* sp.	x	x		
422			*Ritteriella retracta*	x			
423			*Salpa fusiformis*	x			
424			*Thalia cicar*	x			
425			*Thalia democratica*	x			
426			*Weelia cylindrica*	x			
427		VERTEBRATA		x	x		
428		UROCHORDATA		x			
429	CTENOPHORA		*Beroe ovata*				
430			*Hormiphora plumosa*	x			
431	PHORONIDA				x		
432	BRYOZOA			x	x		
433	FORAMINIFERA			x			
434	ECHINODERMATA				x		
435		ASTEROIDEA		x			

Táxon				Região Costeira	Estuário	Baía	Região Oceânica
436		HOLOTHUROIDEA		x			
437	ANELIDAE			x			
438	ROTIFERA			x			
439	NEMATODA			x			
440	PROTOZOA			x			
441		RADIOLARIA		x			
442	MYZOZOA			x			
443	CILIOPHORA		*Codonellopsis schabi*	x			x
444			*Codonellopsis* sp.	x			x
445			*Dadayiella ganymedes*	x			x
446			*Dictyocysta* sp.	x			x
447			*Eutintinus* sp.	x			x
448			*Salpingella cf. acuminatoides*	x			x
449			*Salpingella* sp.	x			x
450			*Tintinopsis campanula*	x			x
451			*Xystonellopsis gaussi*	x			x

Entre 1993 e 1997, Dias e Bonecker (2008) realizaram estudo com o grupo Copepoda na baía Espírito Santo, em Vitória. Os copépodes foram o grupo mais abundante, representando mais de 85% de todo o zooplâncton. Ao todo, foram identificados 46 táxons de copépodes, sendo 25 da Ordem Calanoida, e espécie *Acartia lilljeborgi* a mais abundante e commaior variabilidade sazonal. Essa espécie é indicativa de águas costeiras, e é comumentedominante em áreas mais quentes e estuários com elevada salinidade. No estudo, foram encontrados dois grupos bem definidos, sendo o primeiro mais ao interior da baía, e osegundo fora dela. O predomínio foi de espécies estuarinas e estuarino-oceânicas. Adensidade variou de 68 a 70.406 ind/m^3. Os picos de densidades foram maiores no verão e no outono entre 1993 e 1995, e em 1996 e 1997 esse pico foi observado no inverno.

Ainda em Vitória, na região da baía Vitória, Sterza e Fernandes (2006) encontraram um total de 64 táxons, sendo 49 de copépodes e dominância do holoplâncton. Os picos de densidade também foram encontrados no verão e outono, e *A. lilljeborgi* foi a espécie mais abundante. Foram encontradas espécies de água doce, estuário e costeiras e oceânicas. Na mesma região, Sterza, Ovalle e Loureiro Fernandes (2008) encontraram as maiores abundâncias para Copepoda, Cirripedia, Appendicularia, Pteropoda e Decapoda (larva), variando de 423 a 30.451 ind/m^3, sendo a maior abundância encontrada no verão e a menor na primavera. O zooplâncton apresentou uma variação sazonal, com predomínio de *Acartia lilljeborgi* e *A. tonsa* no verão e no inverno, e formas jovens de *Pseudodiaptomus* spp. na primavera. Os autores descrevem ainda dois principais grupos na baía: um grupo com predomínio de espécies estuarinas e costeiras, na área com maior influência da salinidade do oceano; e outro grupo na área de maior influência das descargas de água doce, com espécies típicas desses ambientes.

Nunes (2010), em estudo entre 2008 e 2009, identificou 64 táxons no estuário dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, em Aracruz (ES), também com predominância de copépodes. Das 22 espécies de copépodes identificadas, sete foram as mais abundantes, representando 63%: *Acartia lilljeborgi, Temora turbinata, Parvocalanus crassirostris, Oithona oswaldocruzi, Oithona oculata, Euterpina acutifrons e Paracalanus parvus.* A predominância foi do holoplâncton, porém com grande contribuição do meroplâncton no período chuvoso.

Segundo a autora, a riqueza nesse estuário é grande se comparada a outros estuários estudados no Brasil, e são encontradas espécies de diferentes *habitats*, desde água doce até oceânicas. Magris (2005), em estudo anterior na mesma região, entre 1993 e 1994, havia encontrado 32 táxons apenas para Decapoda, sendo encontrada a espécie com importância comercial *Ucides cordatus* (caranguejo-uçá). Para Decapoda, o fator de maior influência é a sazonalidade, sendo no verão a liberação do maior número de larvas. Apesar disso, segundo o autor, algumas espécies se reproduzem durante todas as estações do ano, como o gênero *Uca*, por exemplo. Ainda, o estudo identificou a região como importante sítio de reprodução, crescimento e alimentação para esses animais.

Segundo Seterza e Fernandes (2006) e Nunes (2010) nos trabalhos descritos anteriormente, regiões estuarinas permitem a ocorrência de grande diversidade de espécies, típicas de diferentes *habitats*: água doce - *Thermocyclops minutus, Paracyclops fimbriatus, Halocyclops sp, Microcyclops anceps* e *Cletocamptus deitersi*; estuarinos - *Pseudodiaptomus acutus* e *P. richardi*; Estuarino-costeiros - *Acartia lillgeborgi, A. tonsa, Euterpina acutifrons, Oithona hebes, O. nana, O. oculata, O. oswaldocruzi, Pleopis polyphemoides, Lucifer faxoni, Sagitta friderici* e *Oikopleura dioica*; costeiros - *Paracalanus parvus, P. quasimodo* e *Parvocalanus crassirostris*; neríticos - *Penilia avirostris, Calanopia americana, Clytia simplex, Ectopleura dumortieri, Eutima gracilis, Muggiaea kochi* e *Sarsia eximia*; costeiro-oceânicos - *Pleopis sckmacheri, Pseudevadne tergestina, Centropages furcatus, Oithona plumifera, Temora turbinata*; e oceânicos - *Calanoides carinatus, Calocalanus pavoninus, Subeucalanus pileatus, Subeucalanus subtenuis, Corycaeus giesbrechti, Oncaea media, Clausocalanus furcatus, Corycaeus giesbrechti* e *Sagitta enflata.*

Segundo Amaral, Ferreira e Loureiro Fernandes (2007), em estudo realizado anteriormente a 2007 no recife artificial VICTORY-8B, em Guarapari (ES), os copepoditos de *Paracalanus* sp. foram os organismos mais abundantes no zooplâncton seguidos por copepoditos de *Temora* sp. e *Oithona nana*. Thaliacea, Cladocera, Gastropoda, Bivalvia, Siphonophora, Appendicularia, Polychaeta e *Saggita* sp. também se destacaram numericamente. Gastropoda, Bivalvia, nauplio de Cirripedia, Ostracoda e Cladocera foram mais abundantes nas amostras de fundo.

Gualandi (2007) realizou uma avaliação da distribuição da comunidade de copépodes temporal e espacialmente durante 12 meses, entre 2005 e 2006, também no recife artificial VICTORY-8B. Foram encontradas 36 espécies, 25 gêneros, 19 famílias e 5 ordens, no total de 81 táxons. *Paracalanus* sp., copepoditos de *Temora* sp., náuplius, *Oithona nana* e *Paracalanus parvus* foram os organismos mais abundantes. Os copépodes apresentam reprodução durante todo o ano. O autor também descreve grandes variações entre amostras de superfície e fundo, sendo na grande maioria das vezes a abundância maior na superfície.

Campelo (2010) estudou o zooplâncton da região costeira do Espírito Santo, próximo a Vitória, em área sob influência de efluente industrial aquecido, entre 1998 e 2007. Foram identificados 155 táxons. Os copépodes foram os mais abundantes, com 89,6%, sendo que 85,36% do total representados pelos gêneros *Paracalanus* (62,8%), *Temora* (11,3%) e *Acartia* (11,26%).

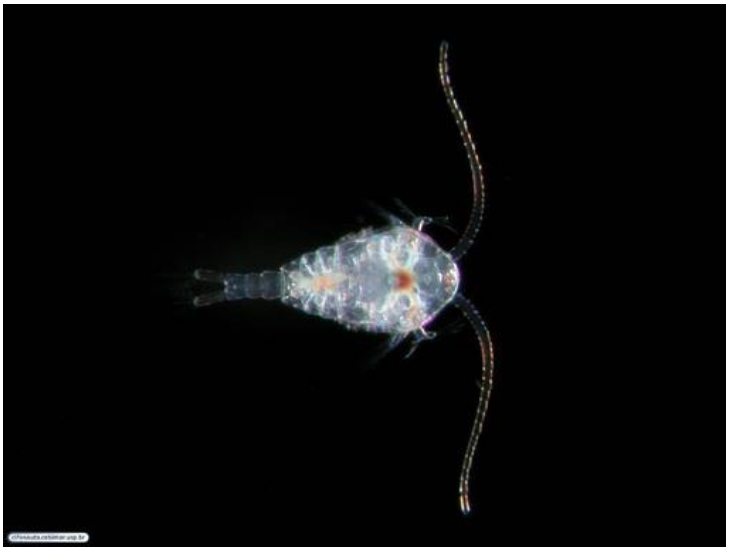
Na região da plataforma continental brasileira, entre Abrolhos e Cabo Frio, um estudo realizado com amostras coletadas em 1978 em cruzeiro identificou os copépodes como o grupo mais abundante, representando mais de 50% do total das amostras, sendo as espécies

predominantes: *Oithona setigera*, *Corycaeus giesbrechti*, *Paracalanus parvus*, *Temora stylifera*, *Oncaea venusta*, *Clausocalanus furcatus*, *Paracalanus aculaeatus.* O mesmo estudo identificou a região de Abrolhos como tipicamente tropical, com baixa biomassa e alta diversidade de espécies (VALENTIN; MONTEIRO-RIBAS, 1993).

Na região do estuário do rio Caravelas, Dias, Araujo e Bonecker (2005) também verificaram a predominância de crustáceos copépodes, representando, no mínimo, 87% do total. As espécies predominantes foram: verão - *Paracalanus quasimodo* (74%); inverno - *Temora turbinata* (55%); primavera - *Parvocalanus crassirostris* (20%), *Temora turbinata* (19%) e *Paracalanus quasimodo* (16%). Segundo o mesmo estudo, as espécies podem ser agrupadas de acordo com as massas de água que influenciam a região (Tropical-AT e Costeira-AC): comunidade estuarina-costeira (*Acartia lilljeborgi, Paracalanus quasimodo, Parvocalanus crassirostris, Pseudodiaptomus acutus, Calanopia americana, Oithona hebes, Hemicyclops thalassius, Euterpina acutifrons*); costeiro-tropical (*Centropages furcatus, Temora stylifera, Temora turbinata, Subeucalanus pileatus, Corycaeus giesbrechti*); e tropical (*Undinula vulgaris, Paracalanus aculeatus*, *Pontellopsis regalis*).

Entre as espécies identificadas nos estudos na região, está *Temora turbinata* (Figura 490), um copépode exótico invasor e que se apresentou como uma das mais abundantes. A espécie é amplamente distribuída e considerada uma das espécies mais abundantes nos estuários e na plataforma continental do sul e sudeste do Brasil, e há indicativos de que a espécie invasora apresente vantagem sobre a nativa *T. stylifera* no comportamento reprodutivo e na utilização dos recursos alimentares (CUNHA, 2008).

Figura 490 – *Temora turbinata*, espécie exótica invasora.



Fonte: Imagem de Alvaro Migotto (CIFONAUTA, 2017).

No tocante a informações ecotoxicológicas acerca da comunidade zooplanctônica, observou-se escassez de estudos na região da costa do Espírito Santo. Dias (1999) identificou, assim como demais estudos na região, que *A. lilljeborgi* é a espécie mais abundante na baía do Espírito Santo e, entre todas as espécies de copépodes identificadas, esta foi a única a apresentar anormalidades morfológicas: prolapso intestinal e ruptura da quitina. As anormalidades ocorreram em maior número em organismos mais jovens, pois estes são mais

sensíveis que os adultos. Segundo a autora, essas más-formações se devem, provavelmente, à poluição, uma vez que a área de estudo é um local poluído com lixo industrial e doméstico. Ainda, devido à ocorrência constante da espécie em regiões contaminadas, a autora afirma que esta pode servir como indicadora de ambientes poluídos.

O zooplâncton na bacia de Campos

Dias et al. (2010) estudaram os copépodes na bacia de Campos, em amostras coletadas em cruzeiros oceanográficos em 2002 e 2003, em profundidades de 2.500 m. A maior densidade média encontrada foi de aproximadamente 555 ind/m^3, sendo as maiores abundâncias na superfície. Foram identificadas 70 espécies de copépodes. Já Dias et al. (2015) analisaram os copépodes em amostras de zooplâncton coletadas previamente em cruzeiros oceânicos na mesma região em 2009, em diferentes profundidades até 2.300 m, e encontraram 101 espécies. Verificaram que *Paracalanus quasimodo* foi a espécie dominante. Segundo os autores, os copépodes na região formam quatro grupos: plataforma continental – período chuvoso; plataforma continental – período seco; Talude continental – período chuvoso; e talude continental – período seco. Para o período chuvoso, Temoridae, *Undinula vulgaris* e *P. quasimodo* foram dominantes, já no período seco, predominaram *Calanoides carinatus*, *Calanopia americana*, Clausocalanidae, Temoridae, Paracalanidae e Subeucalanidae. Os autores verificaram ainda uma maior diversidade de espécies na região oceânica quando comparada à área costeira, na qual a diversidade é mais baixa, porém a abundância é mais elevada.

Bonecker et al. (2014) estudaram as mesmas amostras de Dias et al. (2015). Foram identificadas 262 espécies pertencentes a 10 grupos zooplanctônicos. Copepoda foi o grupo com a maior riqueza e o mais abundante, contribuindo em mais de 90% do zooplâncton, seguido de Siphonophorae (34), Euphausiacea (22), Hydrozoa (18), Chaetognatha (16), Appendicularia (14), Thaliacea (10), Decapoda (4), Branchiopoda (5) e Ctenophora (1). Os resultados mostraram que, conforme o esperado, o aumento da profundidade está correlacionado com a redução de espécies do zooplâncton. As maiores riquezas foram observadas nos primeiros 250 m, decaindo com o aumento da profundidade possivelmente devido à queda de temperatura e de produtividade. Segundo os autores, a riqueza de espécies do zooplâncton na região está subestimada devido à escassez de estudos.

3.9.4 Considerações finais

Os resultados encontrados em relatórios técnicos e publicações científicas sobre a qualidade da água marinha na costa do Espírito Santo, anteriormente ao rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, foram reunidos e apresentados analiticamente segundo os locais/regiões de amostragem, o regime climático e a massa de água oceanográfica predominante no momento da amostragem. Foram descritos parâmetros para caracterização e avaliação da qualidade ambiental tais como temperatura, salinidade, pH, OD e nutrientes e parâmetros para avaliação da influência de rios no ambiente marinho: salinidade, pH, SSTs e turbidez, fósforo total, ferro total, alumínio total, arsênio total, chumbo total. O conjunto de

informações levantadas representa uma fonte de referência comparativa para trabalhos futuros que visem avaliar a influência do aporte da lama de rejeito através do rio Doce na qualidade da água marinha daquela região.

Entre as principais características levantadas para a área de estudo, pode ser citado:

- As massas de água que ocorrem no Espírito Santo são: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Costeira (AC) e Água de Mistura (AM).
- Grande parte das amostras deste levantamento apresentaram resultados classificados como águas salinas.
- Nos resultados de OD da foz do rio Doce, os valores foram predominantemente superiores a 6 mg/L, atingindo máximo de 9,99 mg/L e mínimo de 4,81 mg/L.
- Para o fósforo dissolvido, a porção marinha relativa ao rio Doce apresentou concentrações predominantemente não detectáveis, com a concentração máxima de 0,1 mg/L para o período seco; já o fósforo total teve a concentração máxima de 0,4 mg/L no período seco.
- As concentrações de metais na última estação antes da foz do rio Doce variaram em concentração e por período (seco ou chuvoso). Relação direta dos processos carreamento pela chuva, sedimentação e diluição, e decorrentes dos aportes de substâncias continentais naturais e de atividades antropogênicas.
- No ambiente marinho, as concentrações de metais se mostraram baixas de modo geral, resultantes da precipitação dos metais quando em contato com os sais presentes nas águas marinhas, bem como devido a efeitos de diluição e sedimentação dos sólidos que podem ter metais adsorvidos.

Quanto à caracterização da qualidade das águas da zona estuarina do rio Doce, não foram encontrados dados suficientes que permitiram a caracterização das águas dessa zona. Foram avaliados dados de qualidade obtidos pela UFES (2015) antes da chegada da onda de cheias à foz do rio Doce, entretanto uma coleta específica não se mostrou suficiente para estabelecimento de concentrações de referência para posterior comparação com dados gerados pós-desastre.

Vale ainda ressaltar que a variabilidade espacial e temporal das amostras avaliadas é limitante para definições mais assertivas quanto ao comportamento natural da qualidade das águas costeiras próximas à foz do rio Doce. Entretanto, a similaridade entre as águas costeiras dos estuários avaliados neste estudo indicou a possibilidade de avaliação comparativa do monitoramento da qualidade da água na região costeira do Espírito Santo.

No tocante à diversidade e à densidade do fitoplâncton de áreas estuarinas e marinhas próximas à desembocadura do rio Doce, bem como do estado do Espírito Santo, estas são pouco conhecidas. A maior parte das pesquisas desenvolvidas com microalgas marinhas apresentou enfoque ecológico e poucas indicaram a relação das espécies encontradas. Os dados obtidos para ambientes salobros fazem parte de estudos não efetivamente publicados e que trazem lista de táxons não determinados ou identificados apenas em nível genérico.

Para a comunidade zooplanctônica, Copepoda foi o grupo mais abundante na região de estudo, chegando a representar mais de 90% do total. Esta é uma característica do zooplâncton marinho, no qual os crustáceos, e em especial os copépodes, são os organismos mais representativos. A espécie *Arcatia lilljeborgi* aparece como predominante em diferentes

ambientes, e pode ser utilizada como bioindicadora. As maiores abundâncias ocorreram normalmente no verão. Houve predomínio do holoplâncton, porém com grande contribuição do meroplâncton no período chuvoso. A composição de espécies do zooplâncton marinho na região apresentou grande variação de acordo com o gradiente latitudinal e longitudinal, devido à ocorrência de diferentes *habitats* e influência de diferentes massas de água. A comunidade zooplanctônica difere se comparada às regiões de Abrolhos e da bacia de Campos, existem comunidades típicas de ambientes oceânicos, de ambientes costeiros, de estuários e baías/água doce, sendo que, à medida que se afasta da costa para o oceano, a diversidade de espécies aumenta e a abundância diminui. Ainda, há variação nas diferentes profundidades, sendo que nas superfícies encontram-se as maiores riquezas. Há indicativos de que a riqueza de espécies seja grande na região, mesmo nos locais mais impactados, porém seriam necessários mais dados para essa avaliação.

Referências

ABSALÃO, R. S. Padrões distributivos e zoogeografia dos moluscos da plataforma continental brasileira. Parte III. Comissão Oceanográfica Espírito Santo I. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 4, p. 1-6, 1989.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório técnico**. Ocorrência de cianobactérias na bacia hidrográfica do rio Doce. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.cbhsuacui.org.br/wp-content/uploads/2014/01/Relat%C3%B3rio-Cianobact%C3%A9rias.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2017.

_____. **Base hidrográfica ottocodificada da bacia hidrográfica do Doce**. 2013. Brasília, DF: ANA, 2013.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2015. Encarte Especial sobre a bacia do rio Doce: rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR, 2016. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2017.

_____. **Mapa de uso e ocupação do solo em moderada resolução espacial (10m) da Bacia do Rio Doce**. Brasília, DF: ANA, 2016a.

_____. **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce**: rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília, DF: ANA, 2016b.

_____. **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Estação. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 15 maio 2017.

_____. **Indicadores de qualidade**: índice de qualidades das águas. Portal da qualidade de água. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn6>. Acesso em: 28 jun. 2017.

AGUIAR, J. E. et al. The geostatistics of the metal concentrations in sediments from the eastern Brazilian continental shelf in areas of gas and oil production. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 51, p. 91-104, 2014.

ALBINO, J. Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES. 1999. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ALCARAZ, M.; CALBET, A. Zooplankton ecology. In: DUARTE, C.; HELGUERAS, A. L. (Ed.). **Marine ecology**. Enciclopedia of Life Support Systems (EOLSS) UNESCO. Oxford, UK: Eolss Publishers, 2003. p. 295-318.

ALENCAR, J. et al. Utilização de armadilha "ovitrampa" para monitoramento de *Haemagogus janthinomys* (*Diptera Culicidae*) em área de Mata Atlântica. **Entomologia y Vectores**, v. 11, p. 369-374, 2004.

ALEXANDER, B.; FREITAS, J. M.; QUATE, L. W. Some *Pschodidae* (*Diptera*) from Atlantic forest in south-easters Brazil, with descriptions os *Trichonyia dolichopogon* sp. nov. and *Trichomyia riodocensis* sp. nov. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, p. 467-474, 2001.

ALGADERMIS. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para atividade de extração de sedimento biodetrítico marinho em jazidas da Algadermis – litoral do Espírito Santo**. Relatório técnico. Vitória, 2010.

ALKMIM, A. R. **Investigação geoquímica e estratigráfica da Formação Ferrífera Cauê na porção centro-oriental do Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Cráton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, p. 29-58, 1998.

ALMEIDA, F. F. M. O cráton de São Francisco. **Rev. Bras. Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, N. L.; RODRIGUES, L. C. R.; CAMPOS, J. C. F.; AMODEO, N. B. P. Diagnóstico socioeconômico e ambiental do leste mineiro como subsídio para políticas públicas de planejamento e desenvolvimento regional. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2., 2004, Santa Cruz do Sul. **Anais...** Santa Cruz do Sul, 2004. Disponível em: <www.unisc.br/site/sidr/2004/planejamento/15.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.

ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, N. C. Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: análise da UHE Mascarenhas, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., 1993, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 1993, p. 167-173.

ALONGI, D. M. Bacterial productivity and microbial biomass in tropical mangrove sediments. **Microbial Ecology**, n. 15, p. 59-79, 1988.

ALVARENGA, L.; NALESSO, R. C. Preliminary assessment of the potential for mangrove oyster cultivation in Piraquê-Açu River Estuary (Aracruz, ES). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 163-169, 2006.

AMARAL, A. C. Z. (Coord.). **Diagnóstico sobre praias arenosas**: guia preliminar para o licenciamento das atividades sísmica marítima na costa brasileira. 2003. Disponível em: <http://anp.gov.br/meio/guias/sismica/refere/Praias%20arenosas.pdf>. Acesso em: set. 2017.

_____. Brazilian sandy beaches: characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 2, p. 5-16, 2016.

AMARAL, A. C. Z. et al. Sobre a macroinfauna bêntica entremarés de praias da Ilha de São Sebastião. **Publicação Academia de Ciências do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 3, n. 87, p. 330-337, 1994.

AMARAL, F. C. S.; SANTOS, H. G.; AGLIO, M. L. D.; DUARTE, M. N.; PEREIRA, N. R.; OLIVEIRA, R. P.; CARVALHO JUNIOR, W. Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (Embrapa Solos. Online), v. 63, p. 1-95, 2004.

AMARAL, T. S.; FERREIRA, M. M.; LOUREIRO FERNANDES, L. Variação sazonal da comunidade zooplanctônica em um recife artificial marinho, victory-8b, Guarapari, Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais...** Sociedade de Ecologia do Brasil, Caxambu, MG, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods fot the examination of water & wastwater**. Baltmore: APHA, 2005.

AMORIM, L. Q.; ALKMIM, F. F. New ore types from the Cauê banded iron-formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil – responses to the growing demand. **Iron Ore Conference**, Perth, WA, 1-14, 2011.

ANDERSON, C. W. **Turbidity: U.S. Geological Survey Techniques of Water- resources Investigations**, book 9, chaps. A6.7. 2005. Disponível em: <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>. Acesso em: 18 set. 2010.

ANDRADE, A. M. S. B. **Atlas digital de Minas Gerais**: projeto FAPEMIG DEG 2774/06. Belo Horizonte: IGA, 2006. Disponível em: <http://www.iga.mg.gov.br/mapserv_iga/atlas/TutorialPDF/7-Geomorfologia.pdfhttp://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>. Acesso em: 22 maio 2017.

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. 2. ed. Rotterdam: A.A. Balkema, 1994.

APRILE, F. M. et al. A dinâmica costeira e os processos erosivos na foz do Rio Doce, Espírito Santo-Brasil. **Bioikos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 71-78, 2004.

AQUACONSULT. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo:** 1ª campanha de monitoramento. Relatório Técnico Ambiental. Aquaconsult, 2003.

ARAUJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ARRUDA, M. R.; ÁVILA, L. R. M.; BONECKER, S. L. C. Chaetognatha, Spadellidae, Paraspadella nana Owre, 1963: new ocurrence from the Southwest Atlantic Ocean. **Check List** v. 6, n. 4, p. 628-629, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6508**: grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 14656**: cimento Portland e matérias-primas – análise química por espectrometria de raios X – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
_____. **NBR 10004**: classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
_____. **NBR 15577**: parte 2: agregados – reatividade álcali-agregado. Parte 2: coleta, preparação e periodicidade ensaios de amostras de agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2008.
_____. **NBR NM 26**: agregados - amostragem, Rio de Janeiro, 2009.
_____. **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2014.
_____. **NBR 6457**: amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
_____. **NBR 7181**: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
_____. **NBR 9604**: abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – procedimentos. Rio de Janeiro, 2016.
_____. **NBR 9813**: solo – determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do cilindro de cravação. Rio de Janeiro, 2016.
_____. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade Crônica – método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustácea, Cladocera)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
ASTM INTERNATIONAL. **D4410, in terminology for fluvial sediment, annual book of standart, water and environmental technology**. West Conshohocken, Pennsylvania, ASTM International, 2007.
AUGUSTO, F. G. A. **Comunidades bentônicas como bioindicadores de estresse**. 2010. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
AVELINE, L. C. Fauna dos manguezais brasileiros. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 42, n. 4, p. 786-821, 1980.
ÁVILA, C. A. **Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton do São Francisco, região de São João del Rei, MG**. Doutorado (Tese) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
BAARS, F. J.; ROSIÈRE, C. A. Geological map of the Quadrilátero Ferrífero. In: Baars, F. J. The São Francisco Craton. In DE WIT, M. J.; ASHWAL, L. A. (Eds.). **Greenstone belts**. Oxford Monographs on Geology and Geophysics Series, Oxford University Press, 1997. p. 529-557.
BACCARO, C. A. D.; MEDEIROS, S. M.; FERREIRA, I. L.; RODRIGUES, S. C. Mapeamento Geomorfológico do Rio Araguari. In: LIMA, S. C.; SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão ambiental da bacia do Rio Araguari**: rumo ao desenvolvimento sustentável. Uberlândia: UFU, 2004. p. 1-20.
BACOCCOLI, G. Os deltas marinhos holocênicos brasileiros: uma tentativa de classificação. **Boletim Técnico da Petrobras**, n. 14, p. 5-38, 1971.
BAIRD, C. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.
BARBOSA, A. L. M. et al. **Mapa geológico preliminar do médio rio Doce**. Escala 1:200.000. GEOSOL/ DNPM, Projeto Médio Rio Doce, 1966.
BARBOSA, A. L. M.; GROSSI SAD, J. H. Geoquímica e petrologia dos charnockitos e rochas afins do Complexo Juiz de Fora, MG-RJ. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAI, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1983, Boletim 3, p. 75-84.
BARBOSA, F. A. R. **Produção primária e fatores ambientais na Lagoa Carioca**: Parque Florestal do Rio Doce - MG. 1979. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlo, São Carlos, 1979.
_____. **Variação diurna (24h) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton da Lagoa Carioca, Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil**. 1981. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlo, São Carlos, 1981.
BARBOSA, F. A. R. et al. Impactos antrópicos e biodiversidade aquática. In: PAULA, J. A. (Ed.). **Biodiversidade, população e economia**. Belo Horizonte: Rona, 1997. p. 455-468.
BARBOSA, F. A. R.; CALLISTO, M.; GALDEAN, N. The diversity of benthic macroinvertebrates as an indicator of water quality and ecosystem health: a case study for Brazil. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 4, p. 51-59, 2001.
BARBOSA, F. A. R.; LOVATO, M. B.; NASCIMENTO, A. M. A.; MAIA-BARBOSA, P. M.; MONTE-MÓR, R. L.; PAGLIA, A.; STEHMANN, J. R. Dinâmica biológica e conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce, MG (PELD/UFMG). In: TABARELLI, M.; ROCHA, C. F. D.; ROMANOWSKI, H. P.; ROCHA, O.; LACERDA, L. D. (Eds.). **PELD/CNPq - Dez anos de programa de pesquisas ecológicas de longa duração no Brasil**: achados, lições e perspectivas. Recife: Editora Universitária, 2013. p. 115-146.

BARBOSA, F. A. R.; MARTINS, R. P. **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Relatório técnico-científico das atividades de dezembro de 2000 a agosto de 2001. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

_____. **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Relatório técnico-científico das atividades de dezembro de 2001 a agosto de 2002. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

_____. **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Relatório técnico-científico das atividades de janeiro a dezembro de 2005. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

BARBOSA, F. A. R.; PADISAK, J. The forgotten lake stratification pattern: atelomixis, and its ecological importance. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 28, p. 1385-1395, 2002.

BARBOSA, F. A. R.; TUNDISI, J. G. Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow quaternary lake at eastern Brazil. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 90, p. 139-161, 1980.

BARBOSA, G. V. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero. **Rev. Bras. Geociências**, v. 10, n. 1, p. 89-101, 1980.

BARROS, C. F. A.; SOUZA, M. B. G.; BARBOSA, F. A. R. Seasonal mechanisms driving phytoplankton size structure in a tropical deep lake (Dom Helvécio Lake, South-East Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 18, n. 1, p. 55-66, 2006.

_____. Phytoplankton diversity in the middle rio Doce lake system of southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 2, p. 327-346, 2013.

BARROS, L. V; ASSUMPÇÃO, M.; RIBOTTA, L. C; FERREIRA, V. M. Sismicidade Induzida por Reservatório (SIR): casos brasileiros. **Boletim SBGF**, n. 96. Disponível em: <https://www.sbgf.org.br/home/images/Boletim_96-2016.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

BASÍLIO, M. S. **Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro na região Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e dessorção de metais traço**. 2005. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

BASTOS, G. **Bacia de Campos**. Sumário Geológico e Setores em Oferta. ANP, 2015.

BASTOS, L. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para infraestrutura rodoviária**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

BATISTA, J. O.; COSTA, E. C. P.; DOS SANTOS, D. H.; DE SANT'ANA FILHO, J. N.; BASTOS, L. A. C.; FONTES, W. C.; MENDES, J. C.; PEIXOTO, R. F. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na construção civil**. Relatório Técnico. Ouro Preto-MG, 2016.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Editora da FURG, 1996.

BERLANDI, R. M.; FIGUEIREDO, M. A. O.; PAIVA, P. C. Rhodolith morphology and the diversity of polychaetes off the southeastern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, v. 28, n. 1, p. 280-287, 2012.

BERNARDINO, A. F. et al. Monitoramento de ecossistemas bentônicos estuarinos. In: TURRA, A.; DENADAI, M. R. (Org.). **Protocolos para o monitoramento de *habitats* bentônicos costeiros** – Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015. p. 134-154.

_____. Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 2, p. 81-96, 2016.

BERROCAL, J. Atividade Sísmica e sua ocorrência. **Boletim SBGF**, n. 96. Disponível em: <https://www.sbgf.org.br/home/images/Boletim_96-2016.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

BEUKES, N. J. Suggestions toward a classification of and nomenclature for iron-formation. **Trans. Geol. Soc. S. Afr.**, v. 83, p. 285-290, 1980.

BEZERRA F. H.; FERREIRA J. M.; NASCIMENTO A. F. Neotectônica e sismicidade no Brasil. Boletim SBGF Nº 96. Disponível em: <https://www.sbgf.org.br/home/images/Boletim_96-2016.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

BEZERRA-NETO, J. F. et al. Hydroacoustic assessment of fish and *Chaoborus* (*Diptera-Chaoboridae*) distribution in three Neotropical lakes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p. 18-28, 2012.

BIODINÂMICA. **Estudo de impacto ambiental dos ductos Cacimbas, Barra do Riacho e Terminal Aquaviário da Barra do Riacho**. [S.l.], 2007.

BIOENSAIOS. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 5ª campanha de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Bioensaios, 2010.

_____. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 6ª campanha de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Bioensaios, 2011.

_____. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 7ª campanha de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Bioensaios, 2013.

BITTENCOURT, A. V. L.; TUBBS, F. D. Hidrogeoquímica e aplicações em prospecção geoquímica. In: LICHT, O. A. B.; MELO, C. S. B.; SILVA, C. R. (Ed.). **Prospecção geoquímica:** depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Rio de Janeiro: Ed. SBGq, 2007. p. 307-332.

BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Eds.) **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2003.

BLANDÓN, N. A. R. **Dissipação de energia em estruturas de edifícios sob ação sísmica**. 2003. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

BOLETIM SÍSMICO – IAG. Boletim sísmico publicado pelo Centro de Sismologia da USP. Disponível em: <http://moho.iag.usp.br/eq/bulletin>. Acesso em: 26 set. 2017.

BOLTOVSKOY, D. **South Atlantic zooplankton**. Leiden: Backhuys Publishers, 1999.

BONADA, N. et al. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 495-523, 2006.

BONECKER, C. C.; BONECKER, S. L. C.; BOZELLI, R. L.; LANSAC-TÔHA, F. A.; VELHO, L. F. Zooplankton composition under the influence of liquid wastes from a pilp mil in middle rio Doce river (Belo Oriente, MG, Brazil). **Arq. Biol. Tecnol.**, v. 39, n. 4, p. 893-901, 1996.

BONECKER, S. L.C.; ARAUJO, A. V.; CARVALHO, P. F.; DIAS, C. O.; FERNANDES, L. F. L.; MIGOTTO, A. E.; OLIVEIRA, O. M P. Horizontal and vertical distribution of mesozooplankton species richness and composition down to 2,300 m in the southwest Atlantic Ocean. **Zoologia** v. 31, n. 5, p. 445–462, 2014.

BORBA, R. P. **Arsênio em ambiente superficial**: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. A influência das condições geoquímicas na oxidação da arsenopirita e na mobilidade do arsênio em ambientes superficiais tropicais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, p. 489-500, 2004.

BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Rem: Rev. Esc. Minas**, v. 57, n. 1, p. 45-51, 2004.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: EDUSP, 1993, p. 915-943.

BORICS, G.; GRIGORSZKY, I.; PADISÁK, J.; BARBOSA, F. A. R.; ZDOMA, Z. Dinoflagellates from tropical Brazilian lakes with description of *Peridinium brasiliense* sp. nova. **Algological Studies**, v. 118, p. 47-61, 2005.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRAGA, A. A. et al. Biodiversidade dos *Crustacea decapoda* (*Arthropoda*) no litoral sul do Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESO URUGUAYO DE ZOOLOGÍA, 2., 2012, Montevideo. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2012.

BRANDÃO, E. C. L.; BRAZ, S. A.; BRITO, S. L.; MENENDEZ, R. M.; MAIA-BARBOSA, P. M. Flutuação mensal do zooplâncton dos lagos Carioca, Dom Helvécio e Gambazinho (Parque Estadual do Rio Doce). In: BARBOSA, S. A. R.; MARTINS, R. P. (Coord.) **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de dezembro de 2001 a agosto de 2002. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq, 2002. Disponível em: <https://www2.icb.ufmg.br/peld/ufmg/peld/relatorio2002.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2017.

BRANDT MEIO AMBIENTE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA. Samarco Mineração S.A. - Mariana – MG. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA**. Barragem de rejeito do Fundão, nov. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 396/2008, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 abr. 2008.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº 249, 30 dez. 2009, p. 81-84.

_____. Decreto Federal nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 out. 1990.

_____. Ministério da Saúde (MS). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 dez. 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 6 fev. 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Cianeto livre**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/DD773F47/PropCianeto357_Fosfertil.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sumário mineral**. Brasília, DF: DNPM, 2012.

_____. Centro de Hidrografia da Marinha. **Cartas raster**. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html>. Acesso em: 5 ago. 2017.

_____. Resolução nº 454, de 1 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 nov. 2012.

BROWN, A. C.; MCLACHLAN, A. **Ecology of sandy shores**. Amsterdam: Elsevier, 1990.

BRULAND, K. W.; LOHAN, M. C. Controls of trace metals in seawater. In: ELDERFIELD, H.; HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (Eds.). **Treatise on geochemistry**. San Diego, CA: Elsevier, 2003. p. 23-47.

BUARQUE, D. C. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias**: estudo de caso do rio Madeira. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BUREAU OF RECLAMATION OF THE U.S. (BUREC). **Design of small dam**. 3. ed. Washington D.C.: BUREC, 1987.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 465-474, 2003.

CALADO, T. C. S. **Taxonomia, biogeografia e ecologia da superfamília *Hippoidea* na costa brasileira (*Crustacea*, *Decapoda*)**. 1996. 238 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A.; SANTOS, A. C. A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais**. São Carlos: RIMA, 2006.

CALLISTO, M. et al. Diversity assessment of benthic macroinvertebrates, yeasts, and microbiological indicators along a longitudinal gradient in Serra do Cipó, Brazil. **Brazilian Jounal of Biology**, v. 64, p. 743-755, 2004.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J. F.; LIGEIRO, R. Water resources in the rupestrian grasslands of the Espinhaço Mountains. In: FERNANDES, G. W (Ed.). **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Switzerland: Springer, 2016. p. 87-102.

CALLISTO, M.; GOULART, M. D. C. Phoretic association between *Nanocladius* (*Plecoptera coluthus*) sp. (*Chironomidae*: *Diptera*) and *Thraulodes* sp. (*Leptophlebiidae*: *Ephemeroptera*). **Anais da Sociedade de Entomologia**, v. 29, p. 605-608, 2000.

CALLISTO, M.; MARQUES, M. M.; BARBOSA, F. A. R. Deformities in larval *Chironomus* (*Diptera*, *Chironomidae*) from the Piracicaba River, southeast Brazil. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 27, p. 2699-2702, 2000.

CALLISTO, M.; MAYRINK, M. N.; MORETTI, M. A comunidade de macroinvertebrados bentônicos de rios e lagos do trecho médio da bacia do rio Doce, MG. In: BARBOSA, F. A. R.; MARTINS, R. P. **Relatório técnico-científico das atividades de 2000**. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARNOSA, F. A. R. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, p. 259-266, 2001.

CAMARGO, T. M.; TOMMASI, L. R. Os equinodermos da região entre o Espírito Santo e o Cabo de Santa Marta Grande (SC). In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA, 5., 1978, São Paulo. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1978.

CAMPAGNOLI, F. The production of the sediment of the South America continent: propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 1, p. 3-8, 2006.

CAMPELO, R. P. S. **Variabilidade interanual (10 anos) da comunidade zooplanctônica na região costeira do Espírito Santo, em área sob influência de efluente industrial aquecido**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) – Universidade Federal de Outro Preto, Minas Gerais, 2010.

CARMO, T. M. S. et al. Os manguezais da Baía de Vitória, Espírito Santo: um ecossistema ameaçado. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 801-808, 1995.

_____. Caracterização de um trecho do manguezal do rio da Passagem, Baía de Vitória, Vitória, ES, Brasil. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, 1998a. v. I. p. 6-16.

_____. Caracterização do manguezal do rio Reis Magos, Fundão, Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, 1998b. v. I. p. 17-29.

_____. Caracterização da estrutura do manguezal de Goiabeiras Velha, Vitória, Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 5., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, 2000. v. 2. p. 381-388.

CARVALHO, J. C. M. Mirídeos neotropicais, 219: descrições de um gênero, sete espécies e uma ocorrência nova de mirídeos no Brasil (*Hemiptera*). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 40, p. 297-306, 1980.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P. J.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. ANEEL. 154p. 2000.

CASARINI, D. C. P.; DIAS, C. L.; LEMOS, M. M. G. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.

CASTRO, G. A.; SANTOS, E. F. Levantamento preliminar de moluscos em praias arenosas e areno-lodosas de Piúma, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Memorial do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 84, n. 4, p. 101-104, 1989.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CEPEMAR. **Estudo de impacto ambiental – projeto de expansão do Terminal Especializado de Barra do Riacho – Portocel**. [S.l.], 2006.

_____. **Projeto de expansão do terminal especializado de Barra do Riacho - Portocel**. Vitória: CEPEMAR, 2006.

_____. **EIA para atividade de pesquisa sísmica marítima 4D nas áreas do campo de Golfinho**. Diagnóstico ambiental II.4. [S.l.], 2010.

_____. **Monitoramento do efluente líquido da Fibria no ecossistema marinho**. Relatório Técnico CPM RT 289/11. [S.l.], 2011.

CHEMALE JR., F.; QUADE, H.; VAN SCHMUS, W. R. Petrography, geochemistry and geochronology of the Borrachudo and Santa Barbara metagranites, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Zbl. Geol. Paläont.**, v. 1, n. 36, p. 739-750, 1997.

CHEMALE JR., F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero: um modelo. **Pesquisas**, v. 18, n. 2, p. 104-127, 1992.

_____. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precamb. Res.**, v. 65, p. 25-54, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980.

_____. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981.

CIFONAUTA. **Calanoida**. Disponível em: <http://cifonauta.cebimar.usp.br/taxon/calanoida/>. Acesso em: 15 jun. 2017.

CIOTTI, A. M.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; ANDRADE, L.; PARANHOS, R.; CARVALHO, W. F. Clorofila a, medidas bio-ópticas e produtividade primária. In: VALENTIN, J. L. (Ed.). **Características hidrobiológicas da região central da zona econômica exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Brasília, DF: Ideal Gráfica e Editora, 2006. p. 31-60.

CLARK R. B. Marine pollution. Third edition. xii, 172p. Oxford University Press, 1992.

_____. **Relatório de monitoramento da dragagem da Portocel**: campanha pré-operacional. Relatório técnico COM RT 358/08. Vitória: CEPEMAR, 2008.

_____. **Monitoramento do efluente líquido da Fibria no ecossistema Marinho**. Relatório técnico COM RT 289/11. Vitória: CEPEMAR, 2011.

COELHO, A. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo rio Doce/ES**. 2007. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

_____. Bacia hidrográfica do rio Doce (MG/ES): geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos da Geografia**, v. 9 n. 26, p. 16-32, 2008.

_____. Bacia hidrográfica do rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. **Geografares**, n. 7, p. 131-146, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo**. São Paulo, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: rio Doce: folha SE.24. Brasília, DF: CPRM, 2004.

_____. **Monitoramento especial do rio Doce**: relatório II. Belo Horizonte: CPRM, 2015. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Doce/CPRM/relatorios/RT_02_2015_MONIT_ESP_BACIA_RIO_DOCE_v4_5.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2004-2006**. São Paulo: CETESB, 2007.

_____. **Ficha de informação toxicológica**: alumínio. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/aluminio.pdf>. Acesso em: 12 maio 2017.

_____. **Manual de cianobactérias planctônicas**: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013.

_____. **Apêndice E – Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

_____. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <http:\\siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2017.

_____. **Oxigênio dissolvido**. São Paulo: CETESB, 2017a. Disponível em: <http://mortandadedepeixes.cetesb.sp.gov.br/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido>. Acesso em: 12 maio 2017.

_____. **Bário**. São Paulo: CETESB, 2017b. Disponível em: <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/B%C3%A1rio-1.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

_____. **Ficha de informação toxicológica**: Cianetos. São Paulo: CETESB, 2017c. Disponível em: <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/Cianetos.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2017.

CONHOLATO, F. A.; FERNANDES, L. F. L.; ZANDONADE, E. **Influência da temperatura e salinidade no desenvolvimento larval de *Cardisoma guanhumi* Latreille, 1825 (*Decapoda*, *Gercacinidae*) em laboratório**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades e planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce**: relatório final. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010a.

_____. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce**: anexos. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010b.

CONTI, R. C.; CARMO, T. M. S. **Aspectos ecológicos da fauna de anelídeos poliquetos do manguezal do rio da Passagem, Vitória, Espírito Santo, Brasil**. 1995. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1995.

CONTI, R. C.; CARMO, T. M. S.; ROCHA, G. B. Aspectos ecológicos da fauna de anelídeos poliquetos do manguezal do rio da Passagem, Vitória, ES. In: REUNIÃO ESPECIAL DO SBPC, 3., 1996, Florianópolis. **Ecossistemas costeiros**: do conhecimento à gestão. Florianópolis: EDEME, 1996.

CONTI, R. C.; NALESSO, R. C. **Dinâmica espaço-temporal de *Ucides cordatus* (*Decapoda*, *Ocypodidae*) no manguezal do rio Piraquê-Açu, Aracruz, ES**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

_____. Status of the population structure of the mangrove crab *Ucides cordatus* (*Decapoda*: *Ocypodidae*) on the Piraquê-Açu River estuary, Espírito Santo, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, n. 58, p. 81-92, 2010.

COPPETEC FUNDAÇÃO (COPPE). **Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana, nove meses após o desastre**. Rio de Janeiro: COPPE, 2017. Disponível em: <http://www.lima.coppe.ufrj.br/images/documentos/projetos/relatorio-vale/1-_Cap_1_-_COPPE.20275.Cap1.Infraestrutura.Relat%C3%B3rio.Final.04.01.2017.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.

CORADINI, M. R. **Estudo da comunidade fitoplanctônica em três pontos da região estuarina de Barra Nova (São Mateus- ES)**. 2003. Monografia (Curso de Especialização em Avaliação de Processos Ambientais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

CORTEZ, J. T. **Desempenho de modelos numéricos em estudos de assoreamento de reservatórios**: caso UHE Aimorés. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

COSTA, A. G. D.; COSTA, F. J. O.; BONFIOLI, L. E.; RODRIGUES, M. L. Geologia de mina na Samarco mineração: um suporte ao planejamento de curto prazo/controle de qualidade, com ênfase no controle mineralógico e na previsibilidade do comportamento dos tipos de minério no processo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO, 3., 2001, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2001.

COSTA, A. T. **Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste –Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG)**: estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

_____. **Registro histórico de contaminação de metais pesados associados à exploração aurífera na bacia do Ribeirão do Carmo**: um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

COSTA, F. L. M.; OLIVEIRA, A.; CALLISTO, M. Inventário da diversidade de macroinvertebrados bentônicos no reservatório da estação ambiental de Peti, MG, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 1, p. 17-23, 2006.

COSTA, K. G.; NALESSO, R. C. Cultivo experimental de *Mytella falcata* (D'Orbigny, 1846) e *M. guyanensis* (Lamarck, 1819) no estuário do rio Piraque-Açu, ES. **Acta Limnologica Brasiliense**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 15-22, 2002.

_____. Effects of mussel farming on macrobenthic community structure in southeastern Brazil. **Aquaculture International**, n. 258, p. 655-663, 2006.

COTA, L. et al. Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: a practical tool to evaluate ecosystem health. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 28 p. 1-4, 2002.

COUTINHO, M. S. **Dinâmica espaço-temporal da macrofauna bentônica em duas praias arenosas da ecorregião marinha leste do Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

CP+. **12ª Campanha de monitoramento marinho do Estaleiro Jurong Aracruz – EJA**. Relatório Técnico CP+ RT 022/15. Vitória, 2015.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Belo Horizonte: folha SE.23. [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 scale: geographic information system-GIS]. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil.

_____. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Rio de Janeiro: folha SF.23 - Iguape: folha SG.23. [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 scale: geographic information system-GIS]. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil.

_____. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Vitória: folha SF.24. [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 scale: geographic information system-GIS]. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil.

_____. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: rio Doce: folha SE.24. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil.

_____. **Atuação da CPRM no monitoramento especial da bacia do rio Doce**. 14 de janeiro de 2016. Belo Horizonte: CPRM, 2016.

CRUZ, C. V. Composição da fauna associada à *Ulva* spp *Delile* (*Ulvales*, *Ulvaceae*) em três áreas do litoral do estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 7, n. 4, p. 387-417, 2014.

CRUZ, M. L. D. **Levantamento dos *Bivalvia* e *Gastropoda* do litoral do Espírito Santo**: distribuição das espécies e estampas. 1971. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1971.

CRUZ, U. R. F. **Caracterização inicial da comunidade fitoplanctônica no trecho final dos Rios Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim, Aracruz-ES**. 2004. Monografia (Curso de Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

CTA. **Estudo de impacto ambiental**: Estaleiro Jurong Aracruz. Vitória: CTA, 2009.

CUNHA, D. R. **Estudo comparativo dos copépodes Temora stylifera e T. turbinata na plataforma continental sudeste do Brasil no verão e inverno de 2002**. 2008. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CUNHA, K. J. O. **Variações espaciais e temporais da biomassa fitoplanctônica no trecho final dos Rios Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim, 105 Aracruz-ES**. 2004. Monografia (Curso de Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico hidroclimatológico da bacia do rio Doce**. 2008. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. **Geografias**, v. 4, n. 1, p. 45-60, 2008.

DAMAZIO, C. M.; SILVA, L. H. S. Cianobactérias em esteiras microbianas coloformes da lagoa Pitanguinha, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 9, p. 165-170, 2006.

DAVIS, B. E. **A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water-Quality Samplers**. U.S. Geological Survey, Vicksburg, Open File Report 2005-1087, 20p. 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Títulos Minerários do Estado de Minas Gerais e Espírito Santo**. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>. Acessado em: 15 maio 2017.

DERBY, O. A. On the manganese deposits of the Queluz (Conselheiro Lafayette) district, Minas Gerais, Brazil. **Am. Jour. Sci.**, v. 4, n. 12, p. 18-32, 1901.

DEUTSCH, W. J. **Groundwater geochemistry**: fundamentals and applications do contamination. Washington: CRC Press, 1997.

DIAS JÚNIOR, C. Caracterização do fitoplâncton e possibilidade de seu uso como indicador das condições ambientais da Lagoa Jacunem. **Caderno de Pesquisa da UFES**, n. 4, p. 27-35, 1995.

DIAS JÚNIOR, C.; LUCAS, P. S.; NUNES, T. S.; FIGUEIREDO, C. C. **Estudo da comunidade fitoplanctônica nas principais áreas portuárias do Município de Vitória e suas possíveis modificações devido à interferência antrópica**. 2002. Trabalho Acadêmico (Programa de Iniciação Científica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

DIAS, C. O.; ARAUJO, A. V.; BONECKER, S. L. C. Composição E Distribuição Da Comunidade De Copépodes (Crustacea) Na Região Do Estuário Do Rio Caravelas (Bahia – Brasil). In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7., 2005, Caxambu. **Anais...** Sociedade de Ecologia do Brasil, Caxambu, MG, 2005.

_____. Seasonal variability of planktonic copepods (Copepoda: Crustacea) in a tropical estuarine region in Brazil. **Zoologia (Curitiba, Impr.)**, Curitiba, v. 26, n. 4, p. 705-715, 2009.

DIAS, C. O.; ARAUJO, A. V.; PARANHOS, R.; BONECKER, S. L. C. Vertical Copepod Assemblages (0-2300 m) off Southern Brazil. **Zoological Studies**, v. 49, n. 2, p. 230-242, 2010.

DIAS, C. O.; ARAUJO, A. V.; VIANNA, C. V.; LOUREIRO FERNANDES, L. F.; PARANHOS, R.; SUZUKI, M. S.; BONECKER, S. L. C. Spatial and temporal changes in biomass, production and assemblage structure of mesozooplanktonic copepods in the tropical south-west Atlantic Ocean. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 95, n. 3, p. 483–496, 2015.

DIAS, C. O.; BONECKER, S. L. C. Study of Monstrilloida distribution (Crustacea, Copepoda) in the Southwest Atlantic. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences** v. 2, n. 3, p. 270-278, 2007.

_____. Inter-annual variability of Planktonic Copepods in a Tropical Bay in Southeastern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 731-742, 2008.

DIDONÉ, E. J. **Erosão bruta e produção de sedimentos em bacia hidrográfica sob plantio direto no planalto do Rio Grande do Sul**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DINKU, T.; CECCATO, P.; CONNOR, S. J. Comparison of CMORPH and TRMM-3B42 over mountainous regions of Africa and South America. In: GEBREMICHAEL, M.; HOSSAIN, F. (Eds.). **Satellite rainfall applications for surface hydrology**. New York: Springer, 2010, p. 193-204.

DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. **Professional Paper, 641-A.**, p. 1-110, 1969.

DORR, J. V. N.; HERZ, N.; BARBOSA, A. L. M.; SIMMONS, G. C. **Esboço geológico do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM, 1959.

DRUMMOND, G. M. et al. **Biota Minas:** diagnóstico do conhecimento sobre a biodiversidade no estado de Minas Gerais – subsídio ao Programa BIOTO MINAS. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009.

DUTRA, J. G. O.; RÉGIS, R. S.; KROHLING, W. Ocorrência de *Emerita brasiliensis* (*Decapoda*, *Anomura*) em ciclo circadiano na praia do Morro, Guarapari, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Natureza Online**, v. 9, n. 1, p. 38-42, 2011.

ECKHARDT, M.; WILSON JR, G. Estimativa do transporte de sedimentos em escoamento com superfície livre pelo método de Toffaleti. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 3., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1998, p. 259-266.

ECOLOGY BRASIL. ECONSERVATION. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental do Mineroduto Morro do Pilar/MG a Linhares/ES e Porto Norte Capixaba**. Relatório técnico – RT-ECV-002/12. Revisão 01. Rio de Janeiro: Ecology Brasil, out. 2013.

ECONSERVATION. **EIA do Porto Central de Presidente Kennedy/ES**. Relatório técnico. Vitória: Econservation, 2013.

EDWARDS, T. K.; GLYSSON, G. D. **Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment**. U.S. Geological Survey, Reston. 89p. 1999.

EKAU, W.; KNOPPERS, B. **JOPS-II**. Cruise report and first results. Sedimentation processes and productivity in the continetal Shelf waters off East and Northeast Brazil. Bremen: Center for Tropical Marine Ecology, 1996.

ELETROBRAS. **Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1987.

_____. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1992.

ELEUTÉRIO, L. **Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da bacia do rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1997.

ELMOOR-LOUREIRO, L. A. **Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil**. Brasília, DF: Editora Universa, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1978.

_____. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

ENGMAN, E. T. Chapter 24: Remote Sensing. In: MAIDMENT, D. (Ed.) Handbook of Hydrology. New York: McGraw-Hill, 1993.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF IRELAND (EPA). **Parameters of water quality**: interpretation and standards. Ireland: EPA, 2001. Disponível em: <https://www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water_Quality.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2017.

ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT (ERM). **Relatório Consolidado de informações técnicas sobre a investigação e resposta ao rompimento da barragem de Fundão**. São Paulo: ERM, 2017.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; MAIA-BARBOSA, P. M.; BRITO, S.; RIETZLER, A. C. Zooplankton biodiversity of Minas Gerais State: a preliminary synthesis of present knowledge. **Acta LimnologicaBrasiliensia**, v. 17, n. 2, p. 199-218, 2005.

ESPÓSITO, T.; ASSIS, A. Método probabilístico acoplado ao método observacional aplicado a barragens de rejeito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4., 2000, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF, 2000, p. 187-194.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

_____. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. A. (Coord.). **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 375-446.

EUTRÓPIO, F. J. **Biologia do camarão *Xiphopenaeus kroyeri* (*Dendrobranchiata*: *Penaeidae*) e a fauna acompanhante relacionada a sua pesca em Anchieta, Espírito Santo, Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) – Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2009.

EUTRÓPIO, F. J. et al. Population parameters of the shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) (*Crustacea*: *Penaeidae*), caught by artesanal fisheries in Anchieta, Espírito Santo State. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 35, n. 2, p. 141-147, 2013.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 2, p. 151-159, 2002.

FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. Simulação hidrossedimentológica preliminar na bacia do rio Doce com o modelo MGB-SED. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSSEDIMENTOLOGIA, 2., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2017.

FÉBOLI, W. L. Geologia/estratigrafia. In: TULLER, M. P.; RIBEIRO, J. H.; SIGNORELLI, N.; FÉBOLI, W. L.; PINHO, J. M. M. (Eds.). **Programa geologia do Brasil**: projeto Sete Lagoas-Abaeté, MG. Belo Horizonte: CPRM, 2010. p. 85-95.

FEITOSA, F. A. C.; JOÃO, M. F. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPR, 1997.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários**. João Pessoa: Ed. UFPB: 1997. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/ES00_00.html?submit=%CDndica+de+Esgotos+Sanit%E1rios>. Acesso em: 26 jun. 2017.

FERREIRA, K. A. et al. Preferência de habitat do camarão sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) (*Crustacea*: *Decapoda*) no infralitoral não consolidado de Anchieta, litoral sul capixaba. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., 2015, São José dos Campos. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015.

FERREIRA-PERUQUETTI, P.; MARCO JR, P. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de *Odonata* em riachos de mata atlântica de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, p. 317-327, 2002.

FETTER, C. W. **Applied hydrology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1994.

FIGUEIREDO, C. **Estudo da comunidade fitoplanctônica em dois pontos do trecho final do Canal da Passagem (Vitória-ES)**. 2000. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

FINEZA, A. Considerações a respeito do rompimento de barragens em Mariana 2015. **Univiçosa**, 11 nov. 2015. Disponível em: <https://www.univicosa.com.br/uninoticias/acervo/b707a49f-f292-42a0-a7b5-4888b20acb32>. Acesso em: 3 ago 2017.

FIORAVANTI, C. Impactos visíveis no mar. **Pesquisa FAPESP**, 242, p. 42-47, 2016. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2016/04/042-047_Poluentes_242-1.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2017.

FLOETER, S. R. et al. Patterns of shell utilization and selection in two sympatric hermit crabs (*Anomura*: *Diogenidae*) in southeastern Brazil. **Journal of the Marine Biological**, n. 80, p. 1053-1059, 2000.

FLORA DO BRASIL 2020. **Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 6 jul. 2017.

FLOREZ, C. T.; BARBOSA, M. C.; ESPOSITO, T. J. Physical and chemical properties of iron mining tailings. **Second International Dam World Conference DAM WORLD 2015**, Lisboa, v. 1. p. 1-10, 2015.

FORTE-PONTES, M. C. **Produção primária, fitoplâncton e fatores ambientais no lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce/MG**. 1980. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlo, São Carlos, 1980.

FRANÇA, G. S. L. A. Sismicidade do Brasil. **Boletim SBGF**, n. 96, 2016. Disponível em: <https://www.sbgf.org.br/home/images/Boletim_96-2016.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

FRANÇA, S. F.; CALLISTO, M. Coleção de macroinvertebrados bentônicos: ferramenta para o conhecimento da biodiversidade em ecossistemas aquáticos continentais. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 2, p. 3-10, 2007.

FRANCO, L. C.; DOS SANTOS, D. H.; ROSA, P. P. G.; SILVA, G. J. B.; PEIXOTO, R. F. Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Natal. **Anais...** Natal, 2014.

FUKUZAWA, C. M. **Influência da litologia nas águas e nos sedimentos do rio Piranga, formador do rio Doce**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

FULLER, W. E. Flood flows. **Transactions, ASCE**, v. 77, n. 1293, p. 564-617, 1914.

FUNDAÇÃO ESPÍRITO-SANTENSE DE ENGENHARIA (FEST). **Serviço de levantamento topo-batimétrico e monitoramento sedimentométrico e sedimentológico – 2º Ciclo – UHE Mascarenhas**. Relatório Técnico. Vitória, 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 22 maio 2017.

_____. **Manual de procedimentos analíticos para determinação de VRQ de elementos-traço em solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2013.

_____. Valores orientadores. **FEAM**, 2 jul. 2015a. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/1356-valores-orientadores>.

_____. **Análise estatística para determinação de valores de referência de qualidade do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2015b.

GALDEAN, N. et al. A proposed typology for the rivers of Serra do Cipó (Minas Gerais, Brazil) based on the diversity of benthic macroinvertebrates and the existing habitats. **Travaux du Museum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"**, v. 41, p. 445-453, 1999.

GARDENAL, I. O arsênio como herança. **Jornal da Unicamp**, n. 198, ano XVII, 11 a 17 nov. 2002. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/198-pag10.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2017.

GEOFÍSICA BRASIL. **Estudo da sismologia**. Disponível em: < http://geofisicabrasil.com/geofisicabasica/99-sismologia/3182-estudo-da-sismologia.html>. Acesso em: 26 set. 2017.

GEOPROJETOS ENGENHARIA LTDA. **Relatório RE-1637-01-R2**: análise e avaliação das condições atuais de segurança das estruturas da barragem – UHE Risoleta Neves (UHE Risoleta Neves). Rio de Janeiro: Geoprojetos, 2016.

GIACOMINI, H. C.; MARCO JR, P. Larval ecomorphology of 13 *Libellulidae* (*Anisoptera*, *Odonata*) of the Middle Rio Doce Valley, Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, p. 211-219, 2008.

GÓES, P.; BRANCO, J. O.; PINHEIRO, M. A. A.; BARBIERI, E.; COSTA, D.; FERNANDES, L.L. Bioecology of the uçá-crab, Ucides cordatus (Linnaeus, 1763), in Vitória Bay, Espírito Santo State, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 2, p. 153-163, 2010.

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. **Relatório técnico RT-023_159-515-2282_00-J.** Avaliação dos impactos no meio físico resultantes do rompimento da barragem de Fundão. Belo Horizonte: Golder Associates, 2016a.

_____. **Memorando técnico MT-023_159-515-2282_01-B**. Rompimento da barragem de Fundão – caracterização geoquímica de rejeitos de fonte e de rejeitos depositados (base de dados secundária). Belo Horizonte: Golder Associates, 2016b.

GOMES, R. S.; ABSALÃO, R. S. Os moluscos da comissão oceanográfica GEOMAR XII. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 21., 1996, Porto Alegre. **Caderno de resumos**. [S.l.: s.n.], 1996.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Mayfly diversity in the Brazilian tropical headwaters of Serra do Cipó. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, p. 983-996, 2005.

GRAF, W. H. **Hydraulics of sediment transport**. Water Resources Publication, 1984.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (Eds.). **Methods of seawater analysis**. Weinheim: Verlag Chemie, 1999.

GROHMANN, P. A.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Riqueza de espécies de hidróides (*Cnidaria*, *Hydrozoa*) de Vitória, Espírito Santo, Brasil e aspectos da bio-ecologia e biogeografia do grupo**. 1997. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.

GROMMANN, P. A.; NOGUEIRA, C. C. Levantamento da fauna de hidróides (*Cnidaria*, *Hydrozoa*) do litoral sudeste-nordeste brasileiro, Aracruz, ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 19., 1992, Belém. **Caderno de resumos**. [S.l.: s.n.], 1992.

GROSSI SAD, J. H. et al. **Geologia do distrito de Guanhães, Minas Gerais**. Relatório interno para DOCEGEO. Belo Horizonte: GEOSOL, 1989.

_____. Geoquímica e origem da formação Ferrífera do Grupo Guanhães, distrito de Guanhães, MG, Brasil. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, 1990. Natal. **Anais...** Natal: SBGNE, 1990, v. 3, p. 1241-1253.

GUALANDI, R. L. S. **Distribuição espaço-temporal da comunidade de Copepoda no entorno do RAM Victory-8B**. 2007. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

GUASTI, C. T.; MORANDINI, A. C.; NUNES, T. S. Inventário das espécies de águas-vivas (*Cnidaria*: *Medusozoa*) do litoral do Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESSO PITÁGORAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2009, Linhares. **Caderno de resumos**. [S.l.: s.n.], 2009.

GUY, H. P. **Fluvial sediment concepts**. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1970.

HALLEGRAEFF, G. M. Harmful algal blooms. A global overview. In: HALLEGRAEFF, G. M.; ANDERSON, D. M.; CEMBELLA, D. M. (Eds.). **Manual on harmful marine microalgae**. Paris: Intergovernmental Oceanographic commission/UNESCO, 1995. p. 1-22.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. Alexandria, VA: United States Government Printing Office, 1986.

HENRY, R.; BARBOSA, F. A. R. Thermal structure, heat content and stability of two lakes in the National Park of Rio Doce Valley (Minas Gerais, Brazil). **Hydrobiologia**, v. 171, p. 189-199, 1989.

HENRY, R.; FORTE-PONTES, M. C.; TUNDISI, J. G. O déficit de oxigênio no lago D. Helvécio: Parque Florestal do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 49, n. 1, p. 251-60, 1989.

HENRY, R.; TUNDISI, J. G.; CALIJURI, M. C.; IBÃNEZ, M. S. R. A comparative study of thermal structure, heat content and stability during the summer in three lakes of the rio Doce Valley Park (Minas Gerais, Brazil). In: SAIJO, Y.; TUNDISI, J. G. (Eds.). **Limnological Studies in Rio Doce Valley Lakes and Pantanal Wetland, Brazil**. 2nd Report. Japan: Water Research Institute, Nagoya University, 1987. p. 15-20.

HENSLER, A. S. **Chemical evolution and hidrotermal processes during the genesis of itabirite-hosted, high grade iron ore in the Quadrilátero Ferrífero, Brazil**. 2013. Tese (Doutorado) – Centre for Exploration Targeting, School of Erth and Environment, University of Western Australia, 2013.

HERZ, N. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Professional Paper, 641-C.**, 1978.

HODOKI, Y.; OHBAYASHI, K.; KOBAYASHI, Y.; OKUDA, N.; NAKANO, S. Detection and identification of potentially toxic cyanobacteria: ubiquitous distribution of *Microcystis aeruginosa* and *Cuspidothrix issatschenkoi* in Japanese lakes. **Harmful Algae**, v. 16, p. 49-57, 2012.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; ESTEVES, F. A. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, n. 3, p. 585-598, 1990.

_____. **Encarte especial sobre a qualidade das águas do rio Doce após 1 ano de rompimento da barragem de Fundão – 2015/2016**. Belo Horizonte: nov. 2016.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; ESTEVES, F. A. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais em 2013**: resumo executivo. Belo Horizonte: IGAM, 2014.

HUTCHINGS, P. A.; RECHER, H. F. The fauna of Australian mangroves. **Proceedings of the Linnean Society of NSW**, v. 106, n. 1, p. 83-121, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS (IBAMA). **Plano de manejo Parque Nacional Marinho dos Abrolhos**. Brasília, DF: Ibama, 1991.

_____. **Laudo técnico preliminar impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Brasília, DF: DIPRO/CGEMA, 2015.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (IAG). Centro de Sismologia da USP. Tremores de terra ocorridos em Mariana/Bento Rodrigues, MG, no dia 05/11/2015. Belo Horizonte: IAG, 2015. Disponível em: <http://moho.iag.usp.br/content-sample/reports/20151106/Relatorio-Mariana-20151107-2100.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITGC). **Glossário de termos geológicos**. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=S>. Acesso em: 8 ago 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). **Plano de Manejo da APA de Conceição da Barra**. Belo Horizonte: IEMA, 2014. 2 v.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Parecer técnico**: processo 3524/2008. Belo Horizonte: IGAM, 2008. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/cerh/ctig/3524-2008-parecer-tecnico.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2017.

_____. **Encarte especial sobre a qualidade das águas do rio Doce após 1 ano do rompimento de barragem de fundão**. Relatório Técnico. 2016.

INSTITUTOS LACTEC (LACTEC). **Monitoramento do processo de assoreamento do reservatório da UHE Mascarenhas**. Relatório Técnico. Projeto HG-161. Curitiba: Lacter, 2001.

JARDIM, F. A.; von SPERLING, E.; JARDIM, B. F. M.; ALMEIDA, K. C. B. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 207-218, 2014.

JEFFRIES, M.; MILLS, D. **Freshwater ecology: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

JORDÃO, C. P. et al. Heavy metal dispersion from industrial wastes in the Vale do Aço, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Technology**, v. 17, p. 489-500, 1996.

JORDT-EVANGELISTA, H. **Petrologische untersuchungen im Gebiete zwischen Mariana und Ponte Nova, Minas Gerais, Brasilien**. 1984. Tese (Doutorado) – Universidade Técnica de Clausthal, Clausthal, 1984.

_____. Petrologia de fases, geotermometria e geobarometria do Complexo Granulítico de Acaiaca, Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1985, p. 165-178.

JORDT-EVANGELISTA, H.; MULLER, G. Petrologia da zona de transição entre o cráton do São Francisco e o Cinturão Móvel Costeiro na região Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1986b, p. 1471-1479.

_____. Petrology of a transition zone between the Archean Craton and the Coast Belt, SE of the Iron Quadrangle, Brazil. **Chemie der Erde**, v. 45, p. 129-145, 1986.

JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. (Ed.). **Guidelines of lake management**. Japan: ILEC/UNEP, 1989. 1 v.

JOYCE, R. J.; XIE, P.; YAROSH, Y.; JANOWIAK, J. E. CMORPH: A "morphing" approach for high resolution precipitation product generation. In: GEBREMICHAEL, M.; HOSSAIN, F. (Eds.). **Satellite rainfall applications for surface hydrology**. New York: Springer, 2010, p. 23-37.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

KENNISH, M. J. **Ecology of estuaries**: biological aspects. Florida: CRC, 1986. v. 1.

_____. (Ed.). **Practical handbook of marine science**. 3. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000.

KHAN, F. A., ANSARI, A. A. Eutrophication: an ecological vision. **The Botanical Review**, v. 71, n. 4, p. 449-482, 2005.

LABOMAR. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 2ª campanha de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Matinhos, PR: Labomar, 2008a.

_____. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Cangoá, bacia do Espírito Santo**: 3ª campanha de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Matinhos, PR: Labomar, 2008b.

LADEIRA, E. A. **Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine, and in Nova lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Tese (Doutorado) – University of Western Ontário, Ontário, 1980.

LADEIRA, E. A.; ROESER, H. M. P. Petrography of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Stuttgart: Zentralblatt Geologie Palaeontologie**, v.3/4, p. 430-450, 1983.

LAINO, P. S. et al. Dinâmica populacional de duas espécies de *Caridea* (*Decapoda*) no litoral sul do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE CRUSTÁCEOS, 7., 2012, Belém. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012.

LANA, C.; ALKMIM, F. F.; ARMSTRONG, R.; SCHOLZ, R.; ROMANO, R.; NALINI JR, H. A. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. **Precambrian Research**, v. 231, p. 157-173, 2013.

LANA, P. C.; CAMARGO, M. G.; BROGIM, R. A.; ISAAC, V. J. **O bentos da costa brasileira**: avaliação crítica e levantamento bibliográfico (1858-1996). Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1996.

LANDA, G. G.; BARBOSA, F. A. R.; RIETZLER, A. C.; MAIA-BARBOSA, P. M. *Thermocyclopsdecipiens* (KIEFER, 1929) (Copepoda, Cyclopoida) as indicator of water quality in the state of Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 4, p. 695-705, 2007.

LANGLOIS, G. W.; SMITH, P. Phytoplankton. In: KARL, H. A.; CHIN, J. L.; UEBER, E.; STAUFFER, P. H.; HENDLEY II, J. W. (Eds.). **Beyond the golden gate**: oceanography, geology, biology and environmental issues in the gulf of the Farallones. Reston: U.S. Geological Survey, 2001. p. 32-35.

LAVRADO, H. P.; IGNÁCIO, B. L. (Ed.). **Biodiversidade bentônica da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2006. (Série Livros 18).

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2005.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica**: princípios, técnicas e métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LIGEIRO, R. et al. What is more important for invertebrate colonization in a stream with low-quality litter inputs: exposure time or leaf species? **Hydrobiologia**, v. 654, n. 1, p. 125-136, 2010.

LIMA, K. O. O. **Manutenção do banco de plântulas em diferentes bosques de mangue na foz do rio Itaúnas, Conceição da Barra, Espírito Santo, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

LIMA, K. O. O. et al. Crescimento inicial de plântulas *Rhizophora mangle* (*Rhizophoraceae*) em Conceição da Barra (Brasil). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 64., 2013, Belo Horizonte. **Anais...** [S.l: s.n.], 2013.

LIMA, T. M. J. **Efeito da frequência de inundação na estrutura do manguezal da Baía de Vitória, Espírito Santo, Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

LONDE, V. et al. Estrutura da vegetação de mangue associada ao gradiente de inundação no litoral norte do Espírito Santo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 629-637, 2013.

LONGO, L. L.; ROSSO, S.; SCHLENZ, E. Repartição espacial de *Cnidaria* em formação arenítica de plataforma no estado do Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIAS DEL MAR, 6., 1995, Mar del Plata. **Caderno de resumos**. [S.l.: s.n.], 1995.

LONGO, L. L.; SCHLENZ, E. **Repartição espaço-temporal da cnidofauna em arenito de praia em Santa Cruz (Aracruz-ES)**. 1997. 87 p. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LOPES, J. H. A. **Comunidade zooplanctônica da região litorânea das lagoas Carioca e Gambazinho (Parque Estadual do Rio Doce, MG)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

LOTTERMOSER, B. G. Heavy metal pollution of coastal river sediments, north-eastern New South Wales, Australia: lead isotope and chemical evidence. **Environmental Geology**, v. 36, n. 1-2, p. 118-126, 1997.

LUBIANA, K. M. F.; DIAS JÚNIOR, C. The composition and new records of micro- and mesophytoplankton near the Vitória-Trindade Seamount Chain. **Biota Neotrop.**, Campinas, v. 16, n. 3, e20160164, 2016. Acesso em: 4 jul. 2017.

LUCAS, P. S. **Influência de uma estação de tratamento de esgoto sobre um sub-sistema estuarino (Canal da Passagem, Vitória, ES)**: comunidade fitoplanctônica e nutrientes. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2002.

MABESOONE, J. M. Sedimentologia da faixa costeira Recife-João Pessoa. In: BOLETIM DA SOCIEDADE, MINAS GERAIS, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1985, p. 165-178.

MACHADO, A. B. M. *Helveciagrion* n. g., com descrição de uma nova espécie do parque estadual do Rio Doce, Minas Gerais (*Odonata*, *Coenagrionidae*). **Lundiana**, v. 1, p. 59-87, 1980.

MACHADO, N.; NOCE, C. M.; LADEIRA, E. A.; BELO DE OLIVEIRA, O. A. U-Pb Geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v. 104, p. 1221-1227, 1992.

MACHADO, R. G. **Estrutura e dinâmica do fitoplâncton como base para estimativa da qualidade ambiental da lagoa Mãe-Bá (Guarapari, ES)**. Relatório final. Vitória: Samarco Mineração S/A, 2006.

MAGALHÃES, E. B. et al. Biologia reprodutiva de *Callichirus major* (Thalassinidea) em Piúma, litoral sul do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CRUSTÁCEOS, 8., 2014, Bonito. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014b.

MAGALHÃES, E. B. et al. Distribuição ecológica de *Callichirus major* (*Crustacea*, *Axiidea*, *Callianassidea*) em Piúma, litoral sul do Espírito Santo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., 2015, São José dos Campos. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015.

MAGALHÃES, E. B. et al. Distribuição espaço temporal de *Hepatus pudibundus* (*Decapoda*, *Brachyura*) no sublitoral não consolidado de Anchieta, litoral sul do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CRUSTÁCEOS, 8., 2014, Bonito. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014a.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

MAGALHÃES, M. M.; GUARDA, V. L. M.; SANTOS, T. G. Saúde ambiental e condições de balneabilidade em coleção hídrica do meridio Rio Doce (MG). **RBCIAMB**, v. 39, p. 14-27, 2016.

MAGRIS, R. A. **Estrutura e dinâmica espaço-temporal das larvas de Decapoda no estuário dos rios Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim, Aracruz, ES**. 2005. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Espirito Santo, Vitória, 2005.

MAIA-BARBOSA, P. M.; BARBOSA, L. G.; BRITO, S. L.; GARCIA, F.; BARROS, C. F. A.; SOUZA, M. G. B.; MELLO, N.; GUIMARÃES, A. S.; BARBOSA, F. A. R. Limnological changes in Dom Helvécio lake (South-East Brazil): natural and antropogenic causes. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3, p. 795-802, 2010.

MAIA-BARBOSA, P. M.; BARROS, C. F. A.; SOUZA, M. B. G.; FARIA, V. R.; BARBOSA, L. G.; BRITO, S. L.; SOUZA, R. A.; RIETZLER, A.; SANT'ANNA, E. E.; BARBOSA, F. A. R. The middle rio Doce lakes, southeast Brazil: biodiversity and its controlling forces at local and regional scales. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 29, p. 1-5, 2006.

MAIA-BARBOSA, P. M.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; BARBOSA, F. A. R. Zooplankton Composition and Vertical Distribution in a Tropical, Monomictic Lake (Dom Helvécio Lake, Southeastern Brazil). **Acta Limnol. Bras.**, v. 15, n. 1, p. 65-74, 2003.

MAIA-BARBOSA, P. M.; MENENDEZ, R. M. A comunidade zooplanctônica de trechos de rios do médio rio Doce-MG. In: BARBOSA, S. A. R.; MARTINS, R. P. (Coord.). **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de agosto 2002 a dezembro 2003. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq, 2004. Disponível em: <https://www2.icb.ufmg.br/peld/ufmg/peld/relatorio2003.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

MAIA-BARBOSA, P. M.; MENENDEZ, R. M.; PUJONI, D. G. F.; BRITO, S. L.; AOKI, A.; BARBOSA, F. R. Zooplankton (Copepoda, Rotifera, Cladocera and Protozoa: Amoeba Testacea) from natural lakes of the middle rio Doce basin, Minas Gerais, Brazil. **Biota Neotrop**., v. 14, n. 1, p. 1-20, 2014.

MAIA-BARBOSA, P. M.; MENENDEZ, R. M.; VALADARES, C. F.; BRANDÃO, E. C. L.; BRAZ, S. A.; BRITO, S. L. Subprojeto: composição da comunidade zooplanctônica de rios e lagos do trecho médio da bacia do rio Doce-MG. In: BARBOSA, S. A. R.; MARTINS, R. P. (Coord.). **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de agosto 2002 a dezembro 2003. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq, 2004. Disponível em: <https://www2.icb.ufmg.br/peld/ufmg/peld/relatorio2003.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

MAIA-BARBOSA, P. M.; MENENDEZ, R. M.; VALADARES, C. F.; BRAZ, S. A.; BRITO, S. L.; AOKI, A.; MELLO, N. A. S. T. Comunidade Zooplanctônica. In: BARBOSA, S. A. R.; MARTINS, R. P. (Coord.). **Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce – MG**. Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de janeiro a dezembro 2004. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq, 2005. Disponível em: <https://www2.icb.ufmg.br/peld/ufmg/peld/relatorio2004.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

MAIA-BARBOSA, P. M.; PEIXOTO, R. S.; GUIMARÃES, A. S. Zooplankton in littoral waters of a tropical lake: a revisited biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 1069-1078, 2008.

MARCO JR, P. Invasion by the introduced aquatic snail *Melanoides tuberculate* (Muller, 1774) (*Gastropoda*: *Prosobranchia*: *Thiaridae*) of the Rio Doce State Park, Minas Gerais, Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 34, p. 186-189, 1999.

MARCO JR, P.; LATINI, A. O.; RESENDE, D. C. Thermoregulatory constraints on behavior: patterns in a neotropical. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 155-162, 2005.

MARIELA, S.; NUNES, E. T.; BRAGA, A. A. Morphological characterization of the gills of the shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862) (*Crustacea*: *Penaeoidea*) from the southern coast of Espírito Santo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE BIOLOGIA CELULAR, 15., 2010, São Paulo. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2010.

MARQUES, M. G. S. M.; FERREIRA, R. L.; BARBOSA, F. A. R. A comunidade de macroinvertebrados aquáticos e características limnológicas das lagoas Carioca e da Barra, Parque Estadual do Rio Doce, MG. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, p. 203-210, 1999.

MARQUES, M. M. **Aplicação da teoria de *habitat-templets* à avaliação da qualidade de água**: proposta de criação de índices bióticos no trecho médio da bacia do rio Doce, MG. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

_____. Diversidade de organismos bentônicos. In: PINTO-COELHO, R. M. **Elaboração de um banco de dados sobre a biota aquática no médio rio Doce**. 2006. Disponível em: <http://www.rmpcecologia.com/projetos/riodoce/bentos_qual.htm>. Acesso em: 11 jul. 2017.

MARQUES, M. M. et al. Insetos aquáticos das lagoas do parque estadual do rio Doce, Minas Gerais. **MG.BIOTA**, Belo Horizonte, v. 4, p. 4-12, 2011.

MARQUES, M. M.; BARBOSA, F. A. R.; CALLISTO, M. Distribution and abundance of *Chironomidae* (*Diptera*, *Insecta*) in an impacted watershed in south-east Brazi. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, p. 553-561, 1999.

MARQUES, M. M.; BARBOSA, F. Biological quality of waters from an impacted tropical watershed (middle Rio Doce basin, southeast Brazil), using benthic macroinvertebrate communities as an indicator. **Hydrobiologia**, v. 457, p. 69-76, 2001.

MARQUETTI, R. M.; RAMOS, R. J. Caracterização de invertebrados bentônicos associados a algas presentes na praia de Manguinhos, Serra - ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOLOGIA MARINHA, 14., 2012, Santos. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012.

MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F. Proterozoic contraction/extension tectonics of the Southern São Francisco Region, Minas Gerais, Brazil. **Tectonics**, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.

MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F.; JORDT-EVANGELISTA, H. Proterozoic crustal extension and generation of dome and keel structure in the Archean granite – greenstone terrane. **Nature**, v. 357, p. 491-493, 1992.

MARTIN, L. et al. **As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros**. São Paulo: USP, 1993. (Boletim IG-USP, n. 15).

_____. Coastal Quaternary Formations of the Southern Part of the State of Espírito Santo (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 389-404, 1996.

MARTINS, C. M. **Rastreamento geoquímico de possíveis contaminações remanescentes de minerações de pirita no Município de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

MARTINS, R. F. **Avaliação da presença de metais e de biomarcadores fecais em sedimentos do rio Barigui na região metropolitana de Curitiba – PR**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MASON, B. **Principles of Geochemistry**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966.

MATOS, A. T. de**. Qualidade do meio físico ambiental**: práticas de laboratório. Viçosa: Ed. UFV, 2012.

MAYRINK, N. et al. Benthic macroinvertebrate diversity in the middle Doce River: the beginning of the Brazilian Long-Term Ecological Research (LTER). **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 28, p. 1-4, 2002.

MCLACHLAN, A. The definition of sandy beaches in relation to exposure: a simple rating system. **South African Journal of Science**, n. 76, p. 137-138, 1980.

MDGEO. **Estudo Hidrogeológico**: mapa potenciométrico da região de Linhares/ES. Proj. MDGEO - contrato Fund. RENOVA nº 4500170624, nov. 2016.

MEDEIROS, P. R. P.; MAGALHÃES, E. M. M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em Cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Revista Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 35-44, 2015.

MEDINA, A. I. M.; DANTAS, M.; E., SAADI, A. Projeto APA Sul. Estudos do meio físico: área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005. 6 v.

MELO, G. A. et al. Os invertebrados aquáticos ameaçados de extinção no estado do Espírito Santo. In: PASSAMANI, M.; MENDES, S. L. (Org.). **Espécies da fauna ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo**. Vitória: IPEMA, 2007. p. 121-125.

MENDES, L. A. **Avaliação da exposição da população de passagem de Mariana (MG) aos elementos-traço, com ênfase ao arsênio**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

MENDES, N. G. S.; COSTA, A. G. Comunidades de microalgas e variáveis limnológicas abióticas no rio Santa Maria do Doce (Santa Teresa-ES). **Natureza online**, v. 14, n. 1, p. 32-37, 2016.

MENDES, N. G. S.; RUPF, A. C. O.; MILANEZI, K.; LIMA, M. G. B.; PAZZANI, M. C. D. A.; CRUZ, S.; COSTA, A. G. Comunidades de microalgas e variáveis limnológicas abióticas no rio Santa Maria do Doce (Santa Teresa-ES). In: SIMPÓSIO SOBRE A BIODIVERSIDADE DA MATA ATLÂNTICA, 3., 2014, Santa Teresa. **Anais...** Santa Teresa: Museu de Biologia Mello Leitão, 2014. p. 121-126.

MENDES, R. M.; MAIA-BARBOSA, P. M. Comunidade zooplanctônica de sete ambientes lóticos da Bacia do Médio Rio Doce (MG). In: BARBOSA, S. A. R.; MARTINS, R. P. (Coord.). **Dinâmica Biológica e a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica do médio Rio Doce – MG**. Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG. Relatório Técnico-Científico das atividades de dezembro de 2001 a agosto de 2002. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq, 2002.

Disponível em: <https://www2.icb.ufmg.br/peld/ufmg/peld/relatorio2002.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2017.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MESTRINHO, S. S. P. Fundamentos da classificação da qualidade das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012. **Anais...** Bonito, ABAS 2012.

MILANI, I. C. B. **Determinação polarográfica de metais em ambientes do sistema Patos-Mirim**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre, 2004.

MILLER, J. A. Introduction and National Summary. In: _____. **Ground Water Atlas of the United States**. USGS, 1999. Disponível em: <http://capp.water.usgs.gov/gwa/ch_a/index.html>. Acesso em: 11 set. 2017.

MILONAS, J. G. **Análise do processo de reconstituição de amostras para caracterização do comportamento de barragens de rejeitos de minério de ferro em aterro hidráulico**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2006.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008. **Diário Oficial do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 20 maio 2008.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **Parecer único SUPRAM Leste Mineiro n° 230455/2009**. Indexado ao processo de Licenciamento Ambiental. Superintendência Regional do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2009.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 26 jul. 2011.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **Parecer único SUPRAM Zona da Mata n° 0615618/2014**. Indexado ao processo de Licenciamento Ambiental (2ª Revalidação da Licença de Operação). Superintendência Regional de Regularização Ambiental da Zona da Mata. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2014.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Instrução de Serviço Sisema 08/2017**. Procedimentos para análise dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos e de atividades efetiva ou potencialmente causadoras de impactos sobre cavidades naturais subterrâneas. Dispõe sobre os procedimentos para a instrução dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos efetiva ou potencialmente capazes de causar impactos sobre cavidades naturais subterrâneas e suas áreas de influência. Minas Gerais: SEMAD, 2017.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 424-432, 2011.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (MPMG). Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico Patrimônio Histórico Cultural. **Patrimônio Histórico Cultural**, jun. 2017. Disponível em <http://patrimoniocultural.blog.br/wp-content/uploads/2017/03/Patrimonio-historico-cultural-e-arqueologico-atingidos-diretamente-pelo-rejeito-da-Barragem-Fundao_Comarca-de-Mariana.png>. Acesso em: 2 jun. 2017.

MIRANDA, C. L. et al. Análise morfométrica de populações do caranguejo-uçá (*Ucides Cordatus L.)* (*Crustacea – Decapoda*) em manguezais do litoral do Espírito Santo. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, Salvador, v. 4, n. 1, p. 15-23, 2005.

MIRANDA, F. S.; PINTO-COELHO, R. M.; GONZAGA, A. V. Redução da riqueza de organismos do zooplâncton (com ênfase em Copepoda e Cladocera) nas lagoas do médio Rio Doce/MG. **Revista Brasileira de Zoociências** v. 15, n. 1, 2, 3, p. 69-90, 2013.

MIRANDA, L. B. de. Forma da correlação T-S de massa de água das regiões costeira e oceânica entre Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 105-119, 1985.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002.

MIRANDA, T. O. **Alterações na comunidade fitoplanctônica em três lagos do baixo rio Doce, com pisciculturas de Tilápia em tanques-rede**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) – Universidade de Vila Velha, Vila Velha, 2014.

MIRLEAN, N. et al. Arsenic enrichment in shelf and coastal sediment of the Brazilian subtropics. **Continental Shelf Research**, n. 35, p. 129-136, 2012.

MOREIRA, F. W. A.; LEITE, M. G. P.; FUJACO, M. A. G.; MENDONÇA, F. P. C.; CAMPOS, L. P.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Assessing the impacts of mining activities on zooplankton functional diversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, n. 7, 2016.

MOREIRA, R. P. G.; RAMOS, R. J.; FREITAS NETTO, R. Composição faunística dos crustáceos do gênero *Uca* (*Ocypodidae*) em manguezal do município de Serra. **Natureza on line**, v. 8, n. 1, p. 46-50, 2010.

MORETTI, M. S.; CALLISTO, M. Biomonitoring of benthic macroinvertebrates in the middle Doce River watershed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 17, p. 267-281, 2005.

MORETTI, M. S.; LOYOLA, R. D. Does *Barypenthus concolor* Burmeister (*Trichoptera*: *Odontoiceridae*) select particles of different sizes for case building? **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 337-340, 2005.

MORETTO, E. M. **Diversidade zooplanctônica e variáveis limnológicas das regiões limnética e litorânea de cinco lagoas do Vale do Rio Doce - MG, e suas relações com o entorno**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MORGENSTERN, N. R.; VICK, S. G.; VIOTTI, C. B.; WATTS, B. D. **The Fundão tailings dam review panel**: report on the immediate causes of the failure of the Fundão Dam. Agosto de 2016.

MORO, M. **Avaliação do modelo LISEM na Simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill, 1997.

MORRIS, R. C. A textural and Mineralogical Study of the relationship of Iron Ore to Banded Iron-Formation in the Hamersley Iron Province of Western Australia. **Economic Geology**, v. 75, p. 184-209, 1980.

MOTTA, H. P. G. **Comportamento de um rejeito de transição em centrífuga geotécnica**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MOURÃO, M. A. A. **Caracterização hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2007. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MOURÃO, M. A. A; LOUREIRO, C. O; ALKIMIM, F. F. O Aqüífero Cauê e unidades hidrogeológicas associadas: principais características hidroquímicas, porção ocidental do quadrilátero ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **Anais...** Natal, 2008.

MUGNAI, R.; NESSINIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2010.

MÜLLER, A. C. P.; LANA, P. C. **Manual de identificação de moluscos bivalves da família dos teredinídeos encontrados no litoral brasileiro**. Curitiba: Editora da UFPR, 2004.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1-2, p. 83-100, 2006.

NALESSO, R. C. et al. Obtenção de sementes de ostras *Crassostrea* sp. em coletores artificiais no litoral sul do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2., 2005, Vitória. **Livro de resumos**. [S.l.: s.n.], 2005a.

_____. Influência de mitilicultura na comunidade bentônica do sedimento da praia do Coqueiro, Anchieta, ES – fase II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2., 2005, Vitória. **Livro de resumos**. [S.l.: s.n.], 2005b.

_____. Soft macrobenthic communities of Vitoria Bay estuarine system, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 53, n. 1-2, p. 23-38, 2005c.

_____. Impacto do cultivo de bivalves na estrutura da comunidade macrobentônica do sedimento em Anchieta, ES. In: BARROSO, G. F.; POERSCH, L. H. S.; CAVALLI, R. O. (Org.). **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil**: recursos, tecnologias e aspectos ambientais e sócio-econômicos. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007. p. 225-234.

NALESSO, R. C.; BARROSO, G. R. Cultivo de moluscos no Espírito Santo: situação atual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2., 2005, Vitória. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2005.

_____. Sistemas de cultivos aquícolas costeiros no Espírito Santo: cultivos de moluscos bivalves. In: BARROSO, G; POERSCH, L. H. S.; CAVALLI, R. O. (Org.). **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil**: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007. p. 203-209.

NALESSO, R. C.; GARCIA-PRADO, J. A. Influência dos organismos incrustantes no crescimento do mexilhão *Perna perna* (L.) em estruturas de cultivo, na Praia do Coqueiro, município de Anchieta, ES. In: INTERNATIONAL CONFERENCE MANGROVE: CONNECTING RESEARCH AND PARTICIPATIVE MANAGEMENT OF ESTUARIES AND MANGROVES, 2003, Salvador. **Proceedings…** [S.l.: s.n.], 2003.

NALESSO, R. C.; MAZIOLI, C. Fauna macrobentônica da região entre-marés da praia de Camburi, Vitória, ES. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS: CONSERVAÇÃO, 5., 2000, Vitória. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2000.

NATAL, D. et al. First record of *Anopheles* (*Anopheles*) *costai* Fonseca & Ramos, 1939 in Espírito Santo State, Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, São Paulo, v. 49, p. 323-326, 2007.

NEVES, J. A. **Fauna bentônica de estuários do norte do Espírito Santo**. 2014. 91 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

NOCE, C. M. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

NOCE, C. M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. U-Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 28, p. 95-102, 1998.

NOCE, C. M.; TEIXEIRA, W.; QUÉMÉNEUR, J. J. G.; MARTINS, V. T. S.; BOLZACHINI, E. Isotopic signatures of Paleoproterozoic granitoids from southern São Francisco Craton, NE Brazil, and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny. **J. S. Am. Earth Sci.**, v. 13, p. 225-239, 2000.

NOT, F.; SIANO, R.; KOOISTRA, W. H. C. F.; SIMON, N.; VAULOT, D.; PROBERT, I. Diversity and ecology of eukaryotic marine phytoplankton. **Advances in Botanical Research**, v. 64, p. 1-56, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-391499-6.00001-3>. Acesso em: 17 ago 2017.

NUNES, A. L. **Determinação das marés meteorológicas na região da baía do Espírito Santo e sua influência na drenagem de águas continentais**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

NUNES, E. T. ***Farfantepenaeus brasiliensis* (*Crustacea*: *Penaeoidea*)**: morfologia do hepatopâncreas e sua relação com os metais pesados encontrados no litoral sul do Espírito Santo. 2011. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2011.

NUNES, R. A. **Composição e estrutura da comunidade zooplanctônica de um estuário tropical (Espírito Santo, Brasil)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

NUTRIPETRO. **Estudo de impacto ambiental**: terminal portuário de uso múltiplo da NutriPetro. São Paulo: NutriPetro, jul. 2013.

NYBAKKEN, J. W. **Marine biology**: an ecological approach. 5. ed. [S.l.]: Pearson, 2001.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

OGAWA, H.; AMAGAI, Y.; KOIKE, I.; KAISER, K.; BENNER, R. Production of refractory dissolved organic matter by bacteria. **Science**, v. 292, n. 5518, p. 917-920, 2001.

OKAWA, C. M. P.; MANASSÉS, E. J.; NAGASHIMA, E. S. Avaliação de métodos de cálculo de descarga sólida aplicados à bacia litorânea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória, 1997.

OLIVEIRA, A. C. M. et al. Caracterização histoquímica do hepatopâncreas de fêmeas adultas do camarão-rosa *Farfantepenaeus brasiliensis* (*Decapoda*; *Penaeoidea*) coletadas no litoral sul do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE CRUSTÁCEOS, 7., 2012, Belém. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012.

OLIVEIRA, E. G. de. **Contribuições para o diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce, estudo de caso**: sub-bacia do rio Piranga. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

OLIVEIRA, E. N; KNOPPERS, B. A.; LORENZETTI, J. A.; MEDEIROS, P. R. P.; CARNEIRO, M. E.; SOUZA, W. F. L. Asatellite view of reverine turbidity plumes on the NE-E Brazilian coastal zone. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, n. 3, p. 283-298, 2012.

OLIVEIRA, M. M.; SILVA FILHO, M. V.; BASTOS, J. C.; NEVES, M. H. C. B. Toxinas de cianobactérias e microalgas marinhas: um desafio para a ecotoxicologia aquática. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 4, n. 1, p. 57-80, 2010.

OLIVEIRA, N. V.; ENDO, I.; OLIVEIRA, L. G. S. Geometria do Sinclinal Gandarela baseada na deconvolução Euler 2D e 3D: quadrilátero ferrífero (MG). **Rev. Bras. Geof.** [online], v. 23, n. 3, 2005.

OLRIK, K. **Phytoplankton ecology**. Denmark: DEPA, 1994.

OMENA, E. P.; JUNQUEIRA, A. O. R.; SILVA, S. H. G. Resistência de Teredinidae Refinesque, 1815 (Mollusca: Bivalvia) a diferentes períodos de exposição ao ar. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, p. 701-707, 1990.

OTTONI, M.; OTTONI FILHO, T.; SCHAAP, M.; LOPES-ASSAD, M. L.; ROTUNNO FILHO, O. Hydrophysical database for brazilian soils (HYBRAS) and its use in validating brazilian and temperate pedotransfer functions for water retention. **Vadose Zone Journal**, 2017 (submetido).

PACHECO, A. A. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

PANOSSO, R.; COSTA, I. A. S.; SOUZA, N. R.; ATTAYDE, J. L.; CUNHA, S. R. S.; GOMES, F. C. F. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecologia brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 433-449. 2007.

PARANÁ. Secretaria de Educação. **Mundo**: clima e correntes marítimas. Disponível em: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=405&evento=5>. Acesso em: 5 ago. 2017.

PARRA, R. R.; ROESER, H. M. P.; LEITE, M. G. P.; NALINI JR.; H. A.; GUIMARÃES, A. T. A.; PEREIRA, J. C.; FRIESE, K. Influência antrópica na geoquímica de água e sedimentos do rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geochímica Brasiliensis**, v. 21, p. 36-49, 2007.

PASCOALINI, S. S. **Eficiência fotossintética nos manguezais na baía de Vitória, ES**. 2014. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

PEIXOTO, R. S.; BRANDÃO, L. P. M.; VALADARES, C. F.; BARBOSA, P. M. M. Occurrence of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 in lakes of the Middle River Doce, MG, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 3, p. 356-360, 2010.

PEREIRA, A. F.; BELÉM, A. L.; CASTRO, B. M.; GEREMIAS, R. Tidetopography interaction along the eastern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 25, p. 1521-1539, 2005.

PEREIRA, A. P. **Gestão de resíduos: o caso das barragens da Samarco**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 12., 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2016, p. 1-14.

PEREIRA, B. G. **Comunidade fitoplanctônica da lagoa Mãe-Bá e barragem Norte (ES)**: variação espacial, temporal e grupos funcionais. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes, 2012.

PEREIRA, C. O. **Dinâmica populacional e produção secundária de *Uca* (*Decapoda*: *Ocypodidae*) nos estuários dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, ES, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PEREIRA, E. L. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

PEREIRA, F. V. et al. Estrutura da vegetação em duas áreas com diferentes históricos de antropização no manguezal de Anchieta, ES. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, n. 22, p. 1-8, 2009.

PEREIRA, J. R. **Produção primária do fitoplâncton da Baía de Vitória, Espírito Santo, Lat. 20 Graus 19'S - Long. 40 Graus 20'W**. (Estudo Preliminar). 1983. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

PERENCO. **EIA – atividade de perfuração marítima dos blocos BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41**. Bacia do Espírito Santo. Perenco, dez., 2009.

PERES, G. G. **O Grupo Dom Silvério na região leste de Minas Gerais**: arcabouço estrutural e evolução tectônica. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

PETRI, D. J. C. et al. Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente, Anchieta, ES. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 107-116, 2011.

PETROBRAS. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental**. Gasoduto Cacimbas – CATU. Revisão da Diretriz do EIA. Tomo I/IV. Espírito Santo: Petrobras, mar. 2006.

_____. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental**. Dutos Cacimbas-Barra do Riacho e Terminal Aquaviário de Barra do Riacho. Espírito Santo: Petrobras, set. 2007.

_____. **EIA para a atividade de pesquisa sísmica marítima 4D nas áreas dos campos de Golfinho, Canapu, Camarupim, Camarupim Norte, Peroá e Cangoá, na bacia do Espírito Santo**. Brasília, DF, 2010.

_____. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental para o Gasoduto Sul Norte Capixaba**. COM RT 086/10. Espírito Santo: Petrobras, 2011.

PETRONI, R. V. **Hidráulica marítima y de estuarios**. Buenos Aires: Editorial Dunken, 2005.

PETRUCIO, M. M.; BARBOSA, F. A. R.; FURTADO, A. L. S. Bacterioplankton and phytoplankton production in seven lakes in the middle rio Doce basin, southeast Brazil. **Limnologica**, v. 36, p. 192-203, 2006.

PETRUCIO, M. M.; BARBOSA, F. A. R.; THOMAS, S. M. Bacteria and phytoplankton production rates in eight river stretches of the middle rio Doce hydrographic basin (Southeast Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 3, p. 487-496, 2005.

PIAZZA, H. D.; ARAÚJO, M. B. de. **Projeto rio Doce**: geologia da parte continental. Petróleo Brasileiro S/A. Divisão de Exploração – DEXPRO/ DIVEX- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento–CENPES- Instituto de Geologia e Astronomia da USPIGA, 1972.

PIMENTEL, H. S. **Caracterização geoquímica da contaminação das águas da serra de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

PINTO-COELHO, R. M.; BEZERRA-NETO, J. F.; MIRANDA, F.; MOTA, T. G.; RESCK, R.; SANTOS, A. M.; MAIA-BARBOSA, P. M.; MELLO, N. A. S. T.; MARQUES, M. M.; CAMPOS, M. O.; BARBOSA, F. A. R. The inverted trophic cascade in tropical plankton communities: impacts of exotic fish in the Middle Rio Doce lake district, Minas Gerais. Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 1025-1037, 2008.

PIRES, F. R. M. Textural and mineralogical variations during metamorphism of the Proterozoic Itabira Iron Formation in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **An. Acad. Brasileira de Ciências**, v. 67, n. 1, p. 77- 105, 1995.

PIRES, J. M. M.; LENA, J. C.; MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 393-397, 2003.

PIRES, T. C. S. A. **Contribuição ao estudo do gênero *Echinaster* Muller & Troschel, 1840 (*Echinodermata*: *Asteroidea*) no litoral brasileiro**. 1982. Dissertação (Mestrado) – Museu Nacional do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1982.

PIVELI, R. P; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005.

PORTOCEL. **Relatório de controle ambiental – dragagem de manutenção das áreas navegáveis do Terminal Especializado de Barra do Riacho**. Relatório Técnico CPM RT 063/10. Aracruz, 2010.

PORTOCEL; CEPEMAR. **Relatório de monitoramento da dragagem da Portocel – campanha pré-operacional**. Relatório Técnico CPM RT 358/08. Aracruz, 2008.

PUJONI, D. G. F. **A comunidade zooplanctônica da região limnética de dezoito lagoas do médio rio Doce e as implicações para a conservação ambiental**: um olhar macroecológico. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

_____. **Padrões espaço-temporais da comunidade planctônica do complexo lacustre do médio rio Doce**. 2015. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

QUEIROGA, Gláucia Nascimento et al. **Geologia e recursos minerais da folha Nova Venécia SE.24-Y-B-IV**: escala 1:100.000: estado do Espirito Santo. Belo Horizonte: CPRM, 2012

RAMOS, R. C. **Estudo da composição taxonômica e da densidade de macroinvertebrados bentônicos no sistema de lagoas naturais do vale do médio rio Doce (MG), com ênfase na espécie de molusco exótica *Melanoides tuberculata* (Muller, 1774)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RANGEL, M.; MARTINS, J. C. G.; GARCIA, A. N.; CONSERVA, G. A. A.; COSTA-NEVES, A.; SANT'ANNA, C. L.; CARVALHO, L. R. Analysis of the toxicity and histopathology induced by the oral administration of *Pseudanabaena galeata* and *Geitlerinema splendidum* (Cyanobacteria) extracts to mice. **Marine Drugs**, v. 12, p. 508-524, 2014.

REDE SISMOGRÁFICA BRASILEIRA (RSBR). Catálogo/boletim sísmico brasileiro versão v2014.06. Disponível em: <http://www.rsbr.gov.br/catalogo_sb.html>. Acesso em: 1 ago 2017.

REID, J. L. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: flows patterns, tracers and transport. **Prog. Oceanog.**, v. 23, p. 149-244, 1989.

REISE, K. **Tidal flat ecology**: an experimental approach to species interactions. Berlin: Sprig-Verlag, 1985.

REJEIRS, T. J. A.; HSÜ, K. J. **Manual of carbonate sedimentology**: a lexicographical approach. London: Academic Press, 1986.

RESENDE, E. V. **Avaliação das populações microfitoplanctônicas do litoral norte do Espírito Santo - município de Aracruz (19º55' S e 40º04' W) ao longo de um ciclo anual**. 1992. Monografia (Bacharelado em Biologia Marinha) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

RESH, V. H. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 138, p. 131-138, 2008.

REYNOLDS, C. R. **The ecology of freshwater phytoplankton**. London: Cambridge University, 1984.

REZENDE, C. E.; ANDRADE, L.; SUZUKI, M. S.; FARO, B. C. M. T.; GONZALEZ, A. S. M.; PARANHOS, R. Hidroquímica. In: VALENTIN, J. L. (Ed.). **Características hidrobiológicas da região central da zona econômica exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Brasília, DF: Ideal Gráfica e Editora, 2006. p. 31-60.

REZENDE, V. A. **Estudo do comportamento de barragem de rejeito arenoso alteada por montante**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

RHODES, V. P. **Distribuição do mercúrio e arsênio nos sedimentos de área afetada por garimpo de ouro – rio Gualaxo do Norte, Mariana – MG**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

RIBAS, L. B. **Foraminíferos bentônicos da costa entre Espírito Santo e Cabo Frio – RJ**. [S.l.: s.n.], 1969.

RIBEIRO, C. C. et al. Recrutamento e período reprodutivo do ermitão *Clibanarius antillensis* Stimpson 1862 (*Crustacea*, *Anomura*, *Diogenidae*) no litoral do Espírito Santo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2016, São José dos Campos. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016.

RIBEIRO, R. K. **Mineralogia, geoquímica e gênese das ocorrências auríferas no flanco norte do anticlinal de Mariana, Quadrilátero Ferrífero**: uma nova tipologia de minério denominada bugre. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

RICCI, C.; MELONE, G. Key to the identification of the genera of bdelloid rotifers. **Hydrobiologia**, v. 418, p. 73-80, 2000.

RIETZLER, A. C.; LOBATO, D.; GUIMARÃES, R. L. Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos. In: BARBOSA, F. A. R. (Coord.). **Relatório técnico-científico das atividades de agosto 2002 a dezembro 2003**. Belo Horizonte: UFMG, 2004.

RIZZARDI, A. S. **Avaliação e caracterização dos sedimentos transportados no rio Vacaraí Mirim**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ROBERTSON, A. I.; ALONGI, D. M. (Ed.). **Tropical mangrove ecosystems**: coastal and estuarine studies. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1992. v. 41.

ROCHA, G. B.; CARMO, T. M. S.; CONTI, R. C. Aspectos ecológicos da malacofauna do manguezal do Rio da Passagem, Vitória, ES. In: REUNIÃO ESPECIAL DO SBPC, 3., 1996, Florianópolis. **Ecossistemas costeiros**: do conhecimento à gestão. Florianópolis: EDEME, 1996.

ROCHA, M. P. et al. Intensificação do monitoramento sísmológico nas regiões centro-oeste e norte do país pela implantação da rede sismográfica brasileira (RSBR). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUTOS TECTÔNMICOS, 15., 2015, Vitória. **Anais...** Vitória, 2015.

ROCHA, O. et al. Predation on and by pelagic *Turbellaria* in some lakes in Brazil. **Hydrobiologia**, v. 198, p. 91-101, 1990.

RODRIGUES, A. M. T. et al. A explotação do caranguejo *Ucides cordatus* (*Decapoda*: *Ocypodidae*) e o processo de gestão participativa para normatização da atividade na região sudeste-sul do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 63-78, 2000.

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JR, H. A. Valores de *background* geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 2, p. 155-165, 2009.

RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. A. P. Impact of iron ore mining on benthic macroinvertebrate community. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 14, p. 15-19, 2016.

ROESER, U.; ROESER, H.; MULLER, G.; TOBSCHALL, H. J. Petrogênese dos esteatitos do sudeste do Quadrilátero Ferrífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 31., Santa Catarina, 1978. **Anais...** SBG, 1980, v. 4, p. 2340-2345.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V.H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. New York: Chapman & Hall, 1993.

ROSIÈRE, C. A. et al. Um modelo para evolução microestrutural dos minérios de fero do Quadrilátero Ferrífero. Parte II – trama, textura e anisotropia de susceptibilidade magnética. **Revista Geonômos**, v. 4, n. 1, p. 61-75, 1996.

_____. A. A estrutura do Sinclinório de Itabira e a tectônica transcorrente do NE do Quadrilátero Ferrífero. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6., Pirenópolis, 1997. **Anais...** Pirenópolis, 1997, p. 225-226.

ROSIÈRE, C. A.; SIEMES, H.; QUADE, H.; BROKMEIER, H. G.; JANSEN, E. M. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. **Journal of Structural Geology**, v. 23, n. 9, p. 1429-1440, 2001.

RUPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados**. 6. ed. São Paulo: Roca, 1996.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. 1991. Tese (Professor Titular) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.

SAADI, A. J.; PEDROSA-SOARES, A. C. Um "graben" cenozóico no Médio Jequitinhonha 8B, Minas Gerais. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZOICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1., Belo Horizonte, 1990. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 1990, v. 11, p. 101-124.

SAMPAIO, F. D. F. et al. Determinação do período reprodutivo e do tamanho de maturação funcional dos ovários de *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (*Brachyura*, *Ocypodidae*) na baía de Vitória, Espírito Santo. **Archives of Veterinary Science**, v. 16, n. 3, p. 87-96, 2011.

SANGAL, B. P. Practical methods of estimating peak flow. **Journal of Hidraulic Eng.,** v. 109, n. 4, p. 549-563, 1983.

SANTOLIN, C. V. A. **Quantificação e avaliação ambiental da contaminação por metais e arsênio em sedimentos da bacia do rio Doce – MG**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Orgs.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/LABHID/UFPE, 1997. p. 81-108.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Lactec, 2001.

SANTOS, N. S. **Estrutura de comunidades de macroalgas ao longo do gradiente salino no manguezal do estuário do rio São Mateus-ES**. 2016. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

SANTOS-WISNIEWSKI, M. J.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; NEGREIROS, N. F.; SILVA, L. C.; SANTOS, R. M.; ROCHA, O. O estado atual do conhecimento da diversidade dos Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) nas águas doces do estado de Minas Gerais. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 287-301, 2011.

SCAPIN, J.; PAIVA, J. B. D.; BELING, F. A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **ABRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12 n. 4, p. 5-21, 2007.

SCHAEFFER, J. C. **Variações da comunidade fitoplanctônica na região estuarina dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim (Aracruz, ES) e suas relações com os fatores ambientais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, n. 3, p. 561-570, 2000.

SCOFIELD, R. A.; KULIGOWSKI, R. J. Satellite precipitation algorithms for extreme precipitation events. In: LEVIZZANI, V.; BAUER, P.; TURK, F. J. (Eds.). **Measuring precipitation from space**: EURAINSAT and the future. New York: Springer, 2007. p. 485-495.

SECRETARIA DE ESTADO PARA ASSUNTOS DO MEIO AMBIENTE (SEAMA). **Projeto monitoramento da qualidade das águas costeiras no estado do Espírito Santo**: campanha de campo. Relatório técnico. Belo Horizonte: SEAMA, dez. 1992.

SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL (SETE). **Estudo de impacto ambiental**: otimização da barragem de rejeitos do Fundão. v.01, 844 p. Responsável pelo empreendimento: Samarco Mineração S.A. Responsável pelo relatório: Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, 2012.

SIGOLO, J. B. **Aplicação da geoquímica de superfície na análise da mobilidade e concentração de metais em ambiente tropical**. 1998. Tese de Livre-Docente – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, E. Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Rev. Árvore** [online], v. 33, n. 6, p. 1063-1069, 2009.

SILVA, C. A. **Levantamento e distribuição da família *Teredinidae* (*Mollusca*, *Bivalvia*) em Conceição da Barra e Aracruz, Espírito Santo, Brasil**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

_____. **Ecologia e Etnozoologia da família Teredinidae (Mollusca, Bivalvia) em área de manguezal do município de Conceição da Barra, Espírito Santo, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SILVA, C. A.; TOGNELLA, M. M. P. Biodiversidade desconhecida: registro de *Nausitora fusticula* (*Bivalvia*, *Teredinidae*) para a região norte do estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2453-2461, 2013.

SILVA, C. et al. Evaluation of sediment contamination by trace elements and the zooplankton community analysis in area afected by gold exploration in southeast (SE) of the Iron Quadrangle, Alto Rio Doce, (MG) Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 2, p. 150-157, 2013.

SILVA, C. L. **Estudo da qualidade da água na sub-bacia do ribeirão do Carmo (MG), com ênfase na geoquímica e na comunidade zooplanctônica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

SILVA, C. L.; COSTA, A. T.; LANDA, J. G.; FONSECA, H. F. C.; SILVEIRA, A. Evaluation of sediment contamination by trace elements and the zooplankton community analysis in area afected by gold exploration in Southeast (SE) of the Iron Quadrangle, Alto Rio Doce, (MG) Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 2, p. 150-157, 2013.

SILVA, D. S. S. **Modelos Empíricos para estimativa de produção de sedimentos**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SILVA, J. Geoprocessamento e análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 54, n. 3, p. 47-61, 1992.

SILVA, L. C.; ARMSTRONG, R.; NOCE, C. M.; CARNEIRO, M. A.; PIMENTEL, M. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; LEITE, C. A.; VIEIRA, V. S.; SILVA, M. A.; PAES, V. J. C.; CARDOSO-FILHO, J. M. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 513-528, 2002.

SILVA, L. S. **Diversidade e distribuição do gênero Alvania (Mollusca, Gastropoda: Rissoidae) no litoral brasileiro**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Curitiba, 2012.

SILVA, M. A. B.; BERNINI, E.; CARMO, T. M. S. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 465-471, 2005.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHIMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira, **Rev. bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.

SILVEIRA, M. P. **Aplicação do biomonitoramento da qualidade da água em rios**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. (Meio Ambiente Documentos, n. 36).

SIMÕES, N. R.; NUNES, A. H.; DIAS, J. D.; LANSAC-TÔHA, F. A.; VELHO, L. F. M.; BONECKER, C. C. Impact of reservoirs on zooplankton diversity and implications for the conservation of natural aquatic environments. **Hydrobiologia**, v. 758, p. 3-17, 2015.

SIMON, F. X.; PENRU, Y.; GUASTALLI, A. R.; LLORENS, J.; BAIG, S. Improvement of the analysis of the biochemical oxygen demand (BOD) of Mediterranean seawater by seeding control. **Talanta**, London, v. 85, n. 1, p. 527-532, 2011.

SIMON, N.; CRAS, A. L.; FOULON, E.; LEMÉE, R. Diversity and evolution of marine phytoplankton**. Comptes rendus biologies**, v. 332, p. 159-170, 2009.

SNEDAKER, S.; SNEDAKER, J. G. **The mangrove ecosystem**: research methods. United Kingdom: UNESCO, 1984.

SOARES, V. L.; BERNARDINO, A. F. Impacto do derramamento controlado de óleo diesel sobre a macrofauna bentônica de praias arenosas localizadas na APA Costa das Algas, Aracruz, ES. In: SEMANA NACIONAL DA OCEANOGRAFIA, 28., 2016, Guarapari. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016.

SOBRINHO, T. A.; SONE, J. S.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, I. K.; SOUZA, J. S.; CARVALHO, G. A.; GODOY, M. T. R.; POMPEU, R. M.; COUTO, C. B. Avaliação de métodos para a estimativa da descarga sólida total em rios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2013.

SOLE-CAVA, A. M.; KELECOM, A.; KANNENGIESSER, G. J. Study of some sponges (*Porifera*, *Demospongiae*) from the infralitoral of Guarapari, Espírito Santo, Brazil. **Iheringia**, n. 60, p. 125-150, 1981.

SOUZA, A. S.; OSTROVSKI, M. C.; FONSECA, K. L. M. *Pagurus* (*Crustacea*, *Anomura*) da região de Santa Cruz, Aracruz, ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 19., 1992, Belém. **Caderno de resumos**. [S.l.: s.n.], 1992.

SOUZA, B. A. **Estrutura, dinâmica e produtividade primária do fitoplâncton como base para estimativa do estado trófico de uma lagoa costeira no estado do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá, Guarapari)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual da Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

SOUZA, E. M.; JESUS, H. C. Impacto ambiental de metais no manguezal do rio Santa Maria, Bubu e Aribir, Vitória/ES, utilizando bioindicadores *Mytella* e *Crassostrea rhizophora*. In: SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E PESQUISA DO ESPÍRITO SANTO, 1., 1999, Vitória. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1999.

SOUZA, G.; JUCÁ, K. **Código Florestal e a ciência**: o que nossos legisladores ainda precisam saber. Sumários executivos de estudos científicos sobre impactos do projeto de Código Florestal. [S.l.]: Comitê Brasil em Defesa das Florestas e do Desenvolvimento Sustentável, 2012.

SOUZA, J. J. L. L. et al. Geochemistry and spatial variability of metal(loid) concentrations in soils of the state of Minas Gerais, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 338-349, 2015.

SOUZA, J. J. L. L.; ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V.; SILVA, J.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, T. S. Geochemistry and spatial variability of metal(loid) concentrations in soils of the state of Minas Gerais, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 505, p. 338-349, 2015.

SOUZA, K. F. S. **Avaliação quantitativa de vírus entéricos em mexilhão (*Mytella guyanensis* e *Mytella charruana*) e ostra (*Crassostrea rhizophorae*) em área de manguezal da baía de Vitória (ES) com a utilização da PCR em tempo real**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

SOUZA, M. M. **Levantamento preliminar dos hidróides (*Cnidaria*: *Hydrozoa*: *Hidroida*) do litoral do Espírito Santo e considerações sobre sua biologia e ecologia**. 1987. Monografia (Bacharelado em Biologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.

SOUZA, P. C. **Zur Petrographie und Geochemie der Gandarela – Formation Minas – Supergruppe, Eisernes Viereck, Minas Gerais, Brasilien**. 1987. Dissertation (Doktor der Naturwissenschaften) – Mathematisch-Naturwissen Fakultät, Technischen Universität Clausthal, Clausthal, 1987.

SOUZA, R. A. **A influência do uso e cobertura do solo na comunidade de macroinvertebrados bentônicos do trecho médio da bacia do rio Doce – MG.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SOUZA, W. L. F.; KNOPPERS, B. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. **Geochimica Brasiliensis**, v. 17, n. 1, p. 57-74, 2003.

SPALDING, M.; BLASCO, F.; FIEL, C. D. (Ed.). **World mangrove atlas**. Okinawa: The International Society for Mangrove Ecosystems, 1997.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

SPIER, C. A.; OLIVEIRA, S. M. B.; SIAL, A. N.; RIOS, F. J. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Elsevier: Precambrian Research**, v. 152, n. 3-4, p. 170- 206, 2006.

STERZA, J. M.; FERNANDES, L. L. Zooplankton community of the Vitória bay estuarine system (Southeastern Brazil). characterization during a three-year study. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 54, n. 2/3, p. 95-105, 2006.

STERZA, J. M.; OVALLE, A. R. C.; LOUREIRO FERNANDES, L. F. Zooplankton distribution and abundance related to the hydrochemistry in a tropical bay (south-east Brazil). **Cah. Biol. Mar.**, v. 49, p. 229-245, 2008.

STOERMER, E. F.; SMOL, J. P. **The diatoms**: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. Evolução da planície costeira do rio Doce (ES) durante o quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1982, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CTCQ-SBG, 1982, p. 93-116.

TAIT, R. V.; DIPPER, F. A. **Elements of marine ecology**. 4. ed. San Diego, CA: Elsevier, 1998.

TAVARES, R. G. et al. Biodiversidade de *Brachyura* (*Decapoda*) no sublitoral não consolidado de Anchieta, Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CRUSTÁCEOS, 8., 2014, Bonito. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014a.

_____. Estrutura populacional de *Callinectes ornatus* (*Decapoda*, *Portunoidea*) no litoral de Anchieta, Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CRUSTÁCEOS, 8., 2014, Bonito. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014b.

_____. Diversidade e distribuição dos portunídeos (*Crustacea*, *Brachyura*) no litoral de Anchieta, Espírito Santo, Brasil. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2016, São José dos Campos. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016.

TAYLOR, D.; DALSTRA, H. J.; HARDING, A. E.; BROADBENT, G. C.; BARLEY, M. E. Genesis of high-grade hematite orebodies of the Hamersley Province, Western Australia. **Econ. Geol.**, v. 96, p. 837-873, 2001.

TEDESCO, L. P.; CLERCIN, N. **Algal ecology, taste and odor, and microcystin occurrence in Patoka Lake, Southern Indiana**. Final Report 2011. Center for Earth and Environmental Science, 2011. Disponível em: <http://plrws.net/storage/Patoka_Lake_2011_Final_Report.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2017.

TEIXEIRA, B. A. C. **Estrutura da fauna bentônica de duas praias do norte do Espírito Santo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C. A.; CORDANI, U. G.; MARTINS, V. T. S.; VALENÇA, J. Dados isotópicos (U/Pb, Pb/Pb, Sm/Nd, Rb/Sr) do plutonismo paleoproterozóico do Cinturão Mineiro, porção meridional do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3., 2004, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2004, p. 174-177.

TENENBAUM, D. R.; GOMES, E. T. A.; GUIMARÃES, G. P. Microorganismos planctônicos: pico, nano e micro. In: VALENTIN, J. L. (Ed.). **Características hidrobiológicas da região central da zona econômica exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Brasília, DF: Ideal Gráfica e Editora, 2006. p. 83-124.

TENENBAUM, D. R.; MENEZES, M.; VIANA, S. de C.; MENDES, M. C. de Q.; EDUARDO, J.; HATHERLY, M. M. F. Os dinoflagelados. In: TENENBAUM, D. R. (Ed.). **Dinoflagelados e tintinídeos da região central da zona econômica exclusiva brasileira**: guia de identificação. Rio de Janeiro: Museu Nacional - UFRJ, p. 35-163, 2006. p. 35-163.

THE OPEN UNIVERSITY. **Ocean circulation**. 2. ed. Oxford: The Open University e Butterworth-Heinemann, 2001.

TINÔCO, A. A. P.; AZEVEDO, I. C. A. D. de; MARQUES, E. A. G.; MOUNTEER, A. H.; MARTINS, C. de P.; NASCENTES, R.; REIS, E. L.; NATALINO, R. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 15, p. 305-314, 2010.

TOMMASI, L. R. **Lista dos crinóides recentes do Brasil**. São Paulo: Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo, 1965. v. 9.

_____. **Lista dos equinóides recentes do Brasil**. São Paulo: Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo, 1966a. v. 11.

_____. Distribuição geográfica de alguns equinodermas do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 26, n. 3, p. 239-246, 1966b.

_____. **Lista dos asteróides recentes do Brasil e de regiões vizinhas**. São Paulo: Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo, 1970. v. 18.

TORRES, J. P. M.; SOUZA, J.; PADILHA, J.; OLIVEIRA, G.; PAIVA, T. **Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. Disponível em: <//www.greenpeace.org.br/hubfs/Campanhas/Agua_Para_Quem/documentos/greenpeace_estudo_agua_riodoce%20.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

TREMARIN, P. I. **Taxonomia e distribuição do gênero Aulacoseira Twaithes (Bacillariophyta) no Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.

TULLER, M. P. **Colatina: folha SE. 24-Y-C-VI**. Estado do Espírito Santos; escala 1:100.000. Brasília, DF: DNPM/CPRM, 1993.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; FORTE-PONTES, M. C.; GENTIL, J. G. Limnological studies of quaternary lakes in eastern Brazil. I Primary production of phytoplankton and ecological factors at Lake Dom Helvécio. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 4, p. 5-14, 1981.

TUNDISI, J. G.; SAIJO, E. Y. **Limnological studies on the rio Doce Valley Lakes, Brazil**. São Paulo: Brazilian Academy of Sciences, 1997.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

UNESCO. **Background papers and supporting data on the practical salinity scale 1978**. Paris: UNESCO Technical Papers in Marine Science n. 37, 1981.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **EPA 8260C**: volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Washington, D.C.: US EPA, 1996.

_____. **EPA 5021A**: volatile organic compounds in various samples matrices using equilibrium headspace analysis. Washington, D.C.: US EPA, 2014.

_____. **EPA 8270D:** semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry. Washington, D.C.: US EPA, 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES). **Resultados parciais das análises realizadas em amostras coletadas na plataforma adjacente a foz do Rio Doce, APA Costa das Algas e Plataforma de Abrolhos**: Embarque Solocy Moura. Relatório técnico parcial. Vitória: UFES, 2016.

_____. **Monitoramento da influência da pluma do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos em Mariana/MG – novembro de 2015**: processamento, interpretação e consolidação de dados. Vitória: UFES, 2017. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio_Doce/relatorio_consolidado_ufes_rio_doce.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2017.

VALE, C. C. Caracterização dos manguezais em três diferentes ambientes morfológicos costeiros do estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2006.

VALE, C. C.; DEEL´ORTO-E-SILVA, E.; WANDERLEY, T. C. Monitoramento de um trecho do bosque de mangue situado na foz do rio São Mateus, Conceição da Barra (ES) entre os anos de 1970 e 2011. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 208-220, 2012.

VALE, C. C.; ROSS, J. L. S. As transformações morfológicas e fitogeográficas do estuário do rio São Mateus, litoral norte do estado do Espírito Santo, entre 1970 e 2008. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 21, p. 3-23, 2011.

VALENÇA, J. G.; SILVA, M. A.; SCHIMITT, R. S.; TROUW, R. A. J.; NOCE, C. M. Transamazonian gabbronoritic intrusive rocks from the southernmost São Francisco Craton Brazil). In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., **Abstracts...** 2000.

VALENTIN, J, L.; MONTEIRO-RIBAS, W. M. Zooplankton community structure on the east-southeast Brazilian continental shelf (18-23°S latitude). **Continental Shelf Research**, v. 13, n. 4, p. 407-424, 1993.

VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. New York: ASCE, American Society of Civil Engineers, 1975.

VARAJÃO, C. A. C. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG**: micromorfologia geoquímica, geomorfologia e sensoriamento remoto. 1988. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

_____. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 138-145, 1991.

VAREJÃO, E. V. et al. Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil. **Environmental Monitoring Assessment**, n. 172, p. 631-642, 2011.

VASCONCELOS, M. C.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; BARBOSA, F. A. R. Depth effects on the abundance, survivorship rate and size of *Melanoides tuberculatus* (*Prosobranchia*: *Thiaridae*) in Dom Helvécio Lake, Minas Gerais, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, p. 393-397, 2009.

VÉLEZ, M. V. **Introduccion a la ecologia del bentos marino**. Washington, D.C.: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, 1971.

VELOSO, A. Sismicidade do Brasil. **Boletim SBGF**, n. 96, 2016. Disponível em: <https://www.sbgf.org.br/home/images/Boletim_96-2016.pdf>. Acesso em 26/09/2017.

VELOSO, V. G.; MELLO, G. A. S. Distribuição da família *Porcellanidae* no litoral brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 19., 1992, Bélem. **Caderno de resumos**. [S.l.: s.n.], 1992.

_____. Taxonomia e distribuição da família *Porcellanidae* (*Crustacea*, *Decapoda*, *Anomura*) no litoral brasileiro. **Iheringia**, v. 75, p. 171-186, 1993.

VENEKEY, V.; FONSECA-GENEVOIS, V. G.; SANTOS, P. J. P. Biodiversity of free-living marine nematodes on the coast of Brazil: a review. **Zootaxa**, n. 2568, p. 39-66, 2010.

VIANNA, L. A. **Estruturas genética e demográfica do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) na costa do Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

VIDIGAL, T. H. D. A. et al. Gastrópodes e bivalves límnicos do trecho médio da bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Lundiana**, v. 6, p. 67-76, 2005.

VILLWOCK, J. A. A. Costa brasileira: geologia e evolução. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA BRASILEIRA, 3., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, 1994.

WATERGEO. **Caracterização hidrogeológica da área da Nova Bento Rodrigues com vista à avaliação do abastecimento público de água**. Relatório técnico emitido por Watergeo Solutions. rev. 01. 2016.

WEBB, A. D.; DICKENS, G. R.; OLIVER, N. H. S. From banded iron formation to iron ore: geochemical and mineralogical constraints from across the Hamersley Province, Western Australia. **Chemical Geology**, v. 197, p. 215-251, 2003.

WETZEL, R. G. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 24, p. 6-24, 1990.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources**, v. ARS-S-40, p. 244-252, 1975.

WOLFF, A. P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

WOOD, A. M. M.; FLEMING, C. A. **Coastal hydraulics**. 2. ed. London: The Macmillan Press, 1981.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: KOMAR, P.D. (Ed.). **Handbook of Coastal Process and Erosion**. Boca Raton: CRC Press, 1983. p. 35-66.

YANG, C. T. **Sediment transport**: theory and practice. New York, Singapore: McGraw-Hill, 1996.

ZOFFOLI, M. L.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Caracterização da pluma de sedimento do rio Doce (ES) utilizando dados TM – Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2011.

APÊNDICES

Apêndice A – Dados Geoespaciais avaliados e disponibilizados

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Malha Municipal	BRMUE250GC_SIR.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	1:250000	IBGE
Malha Estadual	BRUFE250GC_SIR.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	1:250000	IBGE
Hidrografia Rio Doce	GEOFT_BHO_DOC_TDR.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:100.000	ANA
Sub-bacias Hidrográficas Rio Doce	GEOFT_BHO_DOC_ACH.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:100.000	ANA
Uso e Ocupação do solo (10m)	Merge_Bloco_F23_24.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:100.000	ANA
Ortoimagem Orbital-T0	a16_ge1pm_150713_rbgir1234_p002.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	SIRGAS2000	não aplicável	Fundação RENOVA
Ortoimagem Orbital-T1	q07_wv3pm_151112_rgbir1234_p001.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	SIRGAS2000	não aplicável	Fundação RENOVA
Limite da Bacia do Rio Doce	Limite_Bacia_Rio_Doce.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	1:100.000	ANA
Imagem SRTM	srtm_28_16.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	não aplicável	CGIAR-CSI
Imagem SRTM	srtm_28_17.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	não aplicável	CGIAR-CSI
Imagem SRTM	srtm_29_16.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	não aplicável	CGIAR-CSI
Mapa de solos do Espirito Santo	LEV_ES_Solos.shp	11_Solos	Vetorial	Córrego Alegre UTM 22s	1:400.000	Embrapa
Mapa de Solos do Brasil	Solos_Brasil_5Milhoes_2011.shp	11_Solos	Vetorial	WGS84	1:5.000.000	Embrapa
Unidades de Conservação do Brasil	uctodas.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SAD 69	-	MMA
Mapa Geológico CODEMIG	Geologia_MG_GCS_WGS84_Dezembro_2014.SHP	1_geologia Geotecnia	Vetorial	WGS84	1:1.000.000	CODEMIG
Contato Mapa Geológico	Contatos_Geologicos_MG_GCS_WGS84_Dezembro_2014.shp	1_geologia Geotecnia	Vetorial	WGS84	1:1.000.000	CODEMIG
Localização Cavernas Bacia do Rio Doce	canie_brasil_311216.shp	1_geologia Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		CECAV
Contorno Linha-base	Contorno Linha-base.shp	1_geologia Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		Institutos Lactec
SRTM Embrapa	srtm_brasil_30m relevo.tif	1_geologia Geotecnia	Raster	WGS84		Embrapa
Mapa de Solos de Minas Gerais	MAPA1.shp	11_Solos	Vetorial	SAD 69		UFV - CETEC - UFLA - FEAM (2010)
Mapa de Solos de Minas Gerais	MAPA2.shp	11_Solos	Vetorial	SAD 69		UFV - CETEC - UFLA - FEAM (2010)
Mapa de Solos de Minas Gerais	MAPA3.shp	11_Solos	Vetorial	SAD 69		UFV - CETEC - UFLA - FEAM (2010)
Mapa de Solos de Minas Gerais	MAPA4.shp	11_Solos	Vetorial	SAD 69		UFV - CETEC - UFLA - FEAM (2010)
Mapa de Solos de Minas Gerais - Levantamentos	mgsolos_novo.shp	11_Solos	Vetorial	SAD 69		UFV - CETEC - UFLA - FEAM (2010)
Imagem SRTM	srtm_28_16.asc	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	não aplicável	CGIAR-CSI

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Imagem SRTM	srtm_28_17.asc	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	não aplicável	CGIAR-CSI
Imagem SRTM	srtm_29_16.asc	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	não aplicável	CGIAR-CSI
Área de Interesse Rio Doce Fauna e Flora	Area_RioDoce_Fauna_Flora.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	-	Institutos Lactec
Rios Principais da Bacia do Rio Doce	Rios_principais.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	1:100.000	ANA
Localização da Barragem de Fundão	Barragem_Fundao.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	não aplicável	Institutos Lactec
Rios Atingidos pela Lama	Rios_Atingidos_Lama.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	não aplicável	Institutos Lactec
Municípios Atingidos pela Lama	Municipios_Atingidos_Lama.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	não aplicável	Institutos Lactec
Ortoimagem Orbital-T2	k40_wv3pm_160223_rgbir1234_p011.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	SIRGAS2000	não aplicável	Fundação RENOVA
Mapa de solos da Bacia do Rio Doce Lactec	Levantamento_Solos_RioDoce_Lactec2017_Sirgas2000.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Embrapa (1978) e UFV - CETEC - UFLA - FEAM (2010)
Buffer área afetada Preliminar	Buffer_Geral_Area_Diretamente_Afetada_Preliminar_LACTEC_Sirgas2000_30032017.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84		Lactec (2017)
Uso e Ocupação do solo (10m) Bacia Rio Doce	UsoSolo_Ano_ref_2013_2014_ANA2016_Sirgas_BaciaDoce_Dissolve.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000	1:100.000	Adaptado de Ana (2016)
Pontes_GEO	Pontes_GEO.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		Lactec (2017)
Usinas_GEO	Usinas_GEO.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		Lactec (2017)
Localidades Brasil	BR_Localidades_2010_v1.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000		IBGE
Sedes dos Municípios diretamente afetados	Sedes_Municipios_afetados.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000		Lactec (2017)
Localidades Bento Rodrigues e Regência	Distritos_localidades.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	SIRGAS2000		Lactec (2017)
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Rio Doce	se24_lito.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Vitória	sf24_lito.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Processos DNPM Geral Bacia do Rio Doce	Processos DNPM.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		DNPM
Processos DNPM selecionados processos potenciais	Processos DNPM selecionados potencial.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		DNPM
Mapa de Predição dos teores de Al camada superficial de solos de Minas Gerais	Al.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de As camada superficial de solos de Minas Gerais	As.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de B camada superficial de solos de Minas Gerais	B.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Ba camada	Ba.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
superficial de solos de Minas Gerais						
Mapa de Predição dos teores de Cd camada superficial de solos de Minas Gerais	Cd.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Co camada superficial de solos de Minas Gerais	Co.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Cr camada superficial de solos de Minas Gerais	Cr.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Cu camada superficial de solos de Minas Gerais	Cu.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Fe camada superficial de solos de Minas Gerais	Fe.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Hg camada superficial de solos de Minas Gerais	Hg.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Mn camada superficial de solos de Minas Gerais	Mn.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Mo camada superficial de solos de Minas Gerais	Mo.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Ni camada superficial de solos de Minas Gerais	Ni.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Pb camada superficial de solos de Minas Gerais	Pb.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Sr camada superficial de solos de Minas Gerais	Sr.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de V camada superficial de solos de Minas Gerais	V.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Zn camada superficial de solos de Minas Gerais	Zn.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Al camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Al_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de As camada superficial de solos na bacia do rio Doce	As_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de B camada superficial de solos na bacia do rio Doce	B_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Mapa de Predição dos teores de Ba camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Ba_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Cd camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Cd_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Co camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Co_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Cr camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Cr_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Cu camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Cu_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Fe camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Fe_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Hg camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Hg_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Mn camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Mn_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Mo camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Mo_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Ni camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Ni_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Pb camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Pb_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Sr camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Sr_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de V camada superficial de solos na bacia do rio Doce	V_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Mapa de Predição dos teores de Zn camada superficial de solos na bacia do rio Doce	Zn_Bacia_Doce.shp	11_Solos	Vetorial	SIRGAS2000		Adaptado de Souza et al. (2015)
Poçigosnos das ilhas da linha-base	Linha_base_poligonos.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		Institutos Lactec
Linha-base atualizada	Linha_base_polilinha.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SIRGAS2000		Institutos Lactec
Modelo Digital de Elevação (GSD=10m)	GPX_DEM_10m_Fuso23s.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:50.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=10m)	GPX_DEM_10m_Fuso24s.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:50.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Aimores_BaixoGuandu_ortoimagem_a13_wv_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Aimores_BaixoGuandu_dem_wv_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nivel (equidistância de 1m)	Aimores_BaixoGuandu_CURVAS_NIVEL_A13_UTM24S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Belo_Oriente_ORTOIMAGEM_WV_UTM23s_WGS84_tiff.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Belo_Oriente_DEM_WV_UTM23s_WGS84_tiff.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nivel (equidistância de 1m)	Belo_Oriente_CURVA_NIVEL_A07_1m_UTM23s_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Colatina_ORTOIMAGEM_WORLDVIEW-2_UTM24S_WGS84.img	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Colatina_DEM_WV_2_UTM24S_WGS84.img	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nivel (equidistância de 1m)	Colatina_CURVA_NIVEL_1m_UTM24S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Cons_Pena_ortoimagem_a11_wv_utm_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Cons_Pena_dem_a11_wv_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	Cons_Pena_CURVAS_NIVEL_A11_1m_UTM24S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Ipatinga_Timoteo_ortoimagem_a06_wv_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Ipatinga_Timoteo_dem_wv_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	Ipatinga_Timoteo_CURVAS_NIVEL_A06_UTM23S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=10m)	Mosaico_Doce_MDE_10m.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	SIRGAS2000	1:50.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Caratinga_ortoimagem_a08_wv_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Caratinga_dem_wv_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nivel (equidistância de 1m)	Caratinga_CURVAS_NIVEL_A08_UTM23S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Delimitação Quadrilátero Ferrífero	Delimitacao_QuadrilateroFerrifero_Costaetal2015_LACTEC_2017.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84		Adaptado de Costa et al. (2015)
Declividade da bacia do rio Doce (GRAUS - GSD=10m)	Declividade_Graus_Mosaico_Doce_MDE_10m_Sirgas23s.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	SIRGAS2000	1:50.000	Institutos Lactec
Sistema viário da bacia do rio Doce	Roads	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84		OpenStreet Map
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Belo Horizonte	se23_lito.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Rio de Janeiro	sf23_lito.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Belo Horizonte	se23_estrut.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: rio Doce	se24_estrut.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Vitória	sf24_estrut.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Rio de Janeiro	sf23_estrut.shp	1_Geologia_e_Geotecnia	Vetorial	SAD 69	1:1.000.000	CPRM
Unidades de Conservação de MG - 2016	RBSE_unidades_conservacao_2016.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:5.000 e 1:150.000.000	Instituto Prístino
Unidades de Conservação Federais - junho/2017	UCs_fed_junho_2017.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS2000	1:5.000 e 1:150.000.000	ICMBio
Corredores Ecológicos	corredores_ppg7.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Áreas Prioritárias - 2007	areas_priori_import.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - aves	zcaves.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - banhados	zcbanhados.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - bentos	zcbentos.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - costões rochosos	zccrochosos.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - elasmobrânquios	zcelasmos.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - estuários	zcestuarios.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - mamíferos	zcmamiferos.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - peixes	zcpeixes.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - plancton	zcplancton.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - praias	zcpraias.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - quelônios	zcquelonios.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - recifes	zcrecifes.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
Zona Costeira - Áreas prioritárias para conservação - restingas	zcrestingas.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		MMA
RPPN - Espirito Santo	ES.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		ICMBio

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
RPPN - Minas Gerais	MG.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SAD 69		ICMBio
ZONA DE AMORTECIMENTO DA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_zona_amortecimento.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.000.000	Instituto Prístino
ÁREAS-CHAVE PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ACBs) DE PLANTAS RARAS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_acb_plantas_raras.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.000.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_areas_biodiversitas.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO - ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS	RBSE_areas_prioritarias_conservacao_zee.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:250.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO, UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL E REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA EM MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_areas_prioritarias_mma.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:7.500.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DE AVES DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_biodiversitas_aves.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:7.500.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO INDICADAS PELO GRUPO DE FATORES ABIÓTICOS EM MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_biodiversitas_fatores_abioticos.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA FLORA DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_biodiversitas_flora.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA	RBSE_biodiversitas_herpeto.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
HERPETOFAUNA DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO						
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DE INVERTEBRADOS DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_biodiversitas_invertebrados.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DE MAMÍFEROS DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_biodiversitas_mamiferos.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DE PEIXES DE MINAS GERAIS NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_biodiversitas_peixes.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.750.000	Instituto Prístino
ÁREA DE APLICAÇÃO DA LEI Nº 11.428 DE 2006 ('LEI DA MATA ATLÂNTICA') NA RESERVA DA BIOSFERA DA SERRA DO ESPINHAÇO	RBSE_lei_mata_atlantica.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:5.000.000	Instituto Prístino
Outras Unidades Protegidas	MG_Outras_Unid_Protegidas_2011_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA
Unidades de Conservação não SNUC	MG_Unidade_Conservacao_Nao_SNUC_2011_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA
UC Proteção Integral	MG_Unidade_Protecao_Integral_2011_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA
UC Uso Sustentável	MG_Unidade_Uso_Sutentavel_2011_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA
Síntese Áreas Prioritárias	mapa sintese_region.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		BIODIVERSITAS
Cadastro Nacional de Florestas Pública - 2014	CNFP_2014_ES.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS2000		MMA - SERVIÇO FLORESTAL
Cadastro Nacional de Florestas Pública - 2014	CNFP_2014_MG.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS2000		MMA - SERVIÇO FLORESTAL
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	P_Nova_ortoimagem_a02_wv_utm_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	P_Nova_dem_wv_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	P_Nova_CURVAS_NIVEL_A02_UTM23S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	G_Valadares_ortoimagem_a09_wv_utm_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	G_Valadares_dem_wv_utm23s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	G_Valadares_CURVAS_NIVEL_A09_UTM23S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Galileia_Tumiritinga_ortoimagem_wordview-2_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Galileia_Tumiritinga_dem_wv_2_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	Galileia_Tumiritinga_CURVA_NIVEL_1m_UTM24S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Resplendor_ortoimagem_wv_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Resplendor_dem_a12_wv_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	Resplendor_CURVA_NIVEL_A12_UTM24S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Ortoimagem WordView (GSD=0.5m)	Linhares_ortoimagem_worldview_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Modelo Digital de Elevação (GSD=1m)	Linhares_dem_wv_2_utm24s_wgs84.tif	Base_Dados_Cartografico_Geral	Raster	WGS84	1:5.000	ANA
Curvas de Nível (equidistância de 1m)	Linhares_CURVA_NIVEL_A15_1m_UTM24S_WGS84.shp	Base_Dados_Cartografico_Geral	Vetorial	WGS84	1:5.000	ANA
Aglomerado Rural	MG_Aglomerado_Rural_Isolado_2016_set.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Bacia Hidrográfica - MG	MG_Bacia_Hidrografica_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Cobertura Vegetal - Campo - MG	MG_Campo_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Cobertura Vegetal - Cerrado - MG	MG_Cerrado_Cerradao_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Área de Cultivo - MG	MG_Cultivo_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Curso de Água	MG_Curso_Dagua_ln.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Distritos - MG	MG_Distrito_2016_set.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Elementos Fisiográficos Naturais MG	MG_Elemento_Fisiografico_Natural_ln.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Floresta - MG	MG_Floresta_po.shp.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Ilhas (Pluviais, Lacustre)	MG_Ilha_po.shp.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Massas de água (Açudes, represas, lagoas)	MG_Massa_Dagua_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Reservatórios Hídricos	MG_Reservatorio_Hidrico_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Terras Indígenas	MG_TERRA_INDIGENA.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Trechos Ferroviários	MG_Trecho_Ferroviario_ln.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Trechos de Massa de água (Rios, canais, açudes)	MG_Trecho_Massa_Dagua_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Vegetação cultivada	MG_Veg_Cultivada_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Cobertura Vegetal - Vereda	MG_Vereda_po.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE

CAMADA DE INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA	NOME (ARQUIVO/EXTENSÃO)	ÁREA DE CONHECIMENTO DO PROJETO	TIPO DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL	DATUM	ESCALA EQUIVALENTE	FONTE DO DADO
Vilas - MG	MG_Vila_2016_set.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		IGA - IEDE
Áreas Afetadas por Empreendimentos	FCA_AreasPriorizadas.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		IPHAN
Sítios Georreferenciados	Sitios_Georreferenciados.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		IPHAN
Abastecimento público	RBSE_abastecimento_publico.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		Instituto Prístino
Áreas Contaminadas e Reabilitadas	RBSE_areas_contaminadas_reabilitadas_2016.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		Instituto Prístino
Bens Tombados	RBSE_bens_tombados.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1	Instituto Prístino
Integridade da Flora	RBSE_integridade_flora.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:250.000	Instituto Prístino
PCHs	RBSE_pchs.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:6.000.000	Instituto Prístino
Áreas Quilombolas	RBSE_quilombola.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.000.000	Instituto Prístino
Tipos de Vegetação	RBSE_vegetacao.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:5.000.000	Instituto Prístino
Rodovias Federais	snv_201706A.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		DNIT
Rodovias Estaduais	Rodovias_Estaduais.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		DNIT
Quilombolas - INCRA	quilombolas.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		DNIT
Terras Indígenas - FUNAI	Terras_Indigenas_FUNAI.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		DNIT
Área Edificada	Area_Edificada_IBGE.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	SIRGAS 2000		DNIT
Reserva da Biosfera da Mata Atlântica	MG_reservas_da_biosfera_mata_atlantica.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84		Instituto Prístino
Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço	MG_Reserva_Biosfera_Serra_Espinhaco.shp	13_Valoracao_Economica	Vetorial	WGS84	1:1.000.000	Instituto Prístino

Apêndice B – Mapa de localização da área de estudo

Apêndice C – Localização e principais rios formadores da bacia hidrográfica do rio Doce

Apêndice D – Mapa geológico da bacia do rio Doce

Apêndice E – Procedimento de amostragem para sedimentos de corrente – PEA – 413

institutos lactec
CEHPAR LAC LAME LEME

PEA – 413
Revisão: 00
Emissão: AGO/2017

Procedimento de amostragem para sedimentos de corrente

Responsáveis

Elaborador: Isabella Francoso Rebutini Figueira	
Verificado por: Jeferson Luiz Bronholo Jeferson Luiz Bronholo Tecnólogo em Concreto CREA PR-117210/D Representante da Qualidade	Aprovado por: Betina Lepretti Medeiros Betina Lepretti Medeiros Responsável Técnico GERENTE DE DIVISÃO DPEC / DVPE

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

1. Referências

DESIGNATION: D4823 - 95(2014) – Standard Guide for Core Sampling Submerged, Unconsolidated Sediments

Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos – Embrapa

Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos

Mineropar

2. Objetivo

O procedimento aqui descrito tem como principal objetivo estabelecer as normas a serem adotadas nas operações de coleta de amostras para caracterização de sedimentos de corrente, referentes as atividades de geologia, com o propósito de caracterizar propriedades físicas, características químicas, mineralógicas, estruturais e hidrogeológicas em análises ambientais.

3. Definições

3.1. Amostra - Quantidade de sedimento a ser estudado, obtida através de um processo de amostragem.

3.2. Sedimento - Material sólido, mineral ou orgânico, transportado ou que se moveu de sua área fonte por agentes transportadores - água, vento, geleiras; depositado sobre a superfície terrestre, acima ou abaixo do nível do mar.

3.3. Amostragem - Procedimento para coleta de amostra que tem o objetivo de representar o meio que se está amostrando.

3.4. Amostra composta: Soma de parcelas individuais de sedimento a ser estudado, obtidos em pontos, profundidades e/ou instantes diferentes, através dos processos de amostragem. Estas parcelas devem ser misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea.

3.5. Análise Química - Quantificação de determinado elemento químico em uma amostra específica.

3.6. Preservação - Manutenção das características iniciais de uma amostra por um determinado tempo.

3.7. Planejamento das Amostragens - Documento contendo o conjunto de informações referentes aos parâmetros que serão analisados, pontos de coleta de amostra, frequência, métodos de amostragem e de análise.

4. Planejamento das Amostragens

4.1. A caracterização do ambiente do ponto de vista geológico é uma tarefa complexa e envolve grande número de variáveis. Estabelecer um plano de amostragem é apenas uma das etapas necessárias à caracterização do meio a ser estudado, mas dele dependem todas as etapas subsequentes: ensaios laboratoriais, interpretação de dados e elaboração de relatórios. Os responsáveis pela programação e coleta, devem estar totalmente familiarizados com os objetivos, metodologias e limitações das amostragens, pois as observações e dados gerados em campo ajudam a interpretar os resultados analíticos.

4.2. A definição do programa de coleta de amostras deve considerar, além do objetivo do estudo, uma série de variáveis, tais como: contexto geológico, geomorfológico, estrutural, rede de drenagens, topografia e declividades associadas, usos da área de estudo, entre outros, dado que a definição da metodologia de coleta e dos métodos analíticos dependem desses fatores.

4.4. Como a coleta/amostragem é parte integrante do processo analítico e sua execução contribui decisivamente para os resultados, ela deverá ser realizada por professional de nível superior, formado em geologia ou áreas afins, tendo no mínimo as seguintes atribuições técnicas: geologia ambiental, geoquímica, prospecção geral e prospecção geoquímica.

4.5. Diferente das amostras de rocha e solo que são pontuais, as amostras de sedimentos são representativas das bacias de drenagem ou captação de onde foram coletadas.

5. Avaliação do local

A avaliação do local deve ser efetuada criteriosamente, com a realização de registro fotográfico e georreferenciamento dos pontos a serem amostrados. Devem ser evitados pontos de baixa representatividade, com alteração visível das propriedades, em relação ao todo.

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

6. Ferramentas

Em função das condições locais, principalmente no que se refere a profundidade das drenagens onde serão realizadas as amostragens, poderão ser utilizadas diversas ferramentas, tais como:

Enxadeco ou enxadão, pá reta, tubo tipo sonda de amostragem, trados (holandês, caneco, etc.), pá de jardineiro, entre outros. Nos locais onde existam estruturas físicas sobre as drenagens, tais como pontes, trapiches, e similares, poderão ser utilizados amostradores tipo draga – Van-Veen e Petersen.

Em qualquer caso é sempre necessário que as amostras sejam retiradas de maneira uniforme em volume e profundidade desejada para que não ocorra uma sub ou superestimação dos atributos do sedimento dentro de uma mesma área.

7. Procedimentos de amostragem

A coleta de amostras de sedimentos na região, deve seguir os seguintes procedimentos:

7.1. A coleta devf3 ser sempre realizada com luvas.

7.2. Identificação prévia dos pontos para a coleta de amostras, utilizando-se fotografias aéreas, imagens de satélite e mapas geológicos.

7.3. A coleta das amostras deverá ser realizada com as ferramentas descritas neste procedimento. Estas devem preferencialmente ser coletadas nos eixos das drenagens ou nas barras marginais, onde predominam sedimentos nas diferentes frações granulométricas.

7.4. Para limpeza, deverá ser realizada a ambientação das ferramentas de coleta com água do próprio local.

7.5. Descrição das características físicas e composicionais das amostras e as características da área no entorno do local de amostragem.

7.6. Registro das informações obtidas em caderneta de campo.

7.7. Obtenção das coordenadas geográficas dos pontos de coleta com uso de GPS de navegação.

8. Forma de armazenamento da amostra

Os tipos de recipientes recomendados para coleta e preservação de amostras de sedimentos são sacos de plástico autoclavável de alta densidade (polietileno, polipropileno, policarbonato ou outro polímero inerte) e os de vidro, com boca larga (mais ou menos 4 cm de diâmetro) para facilitar a coleta da amostra e a limpeza.

Os sacos plásticos deverão receber identificação apropriada e deverão ser lacrados.

9. Métodos de preservação e tempo de armazenagem

Os métodos de preservação e o tempo de armazenagem devem ser relativos aos ensaios a serem efetuados, conforme:

9.1. Considerando que o objetivo principal é a determinação de Metais totais: não é necessário nenhum método específico de preservação; análise deve ser realizada em até 180 dias.

10. Número e volume de amostras a serem coletadas

Devem ser coletadas, no mínimo, uma amostra representativa, de cerca de 5 kg, obtida em cada um dos pontos de amostragem.

11. Ensaios a serem realizados

Para a caracterização dos sedimentos amostrados, podem ser efetuados diversos ensaios, os quais:

- Metais completo (por absorção atômica ou similar);
- Análises Isotópicas
- Análises morfológicas de grãos por petrografia
- Análise morfológica microestrutural com análise química elementar, fase química, tamanho de grãos, preferência de orientação cristalográfica (MEV/EDS/EBSD);
- Caracterização elementar, fases químicas, mineralógicas e análise térmica (DTA-TG, FTIR, FRX, DRX);

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

- Análises físicas (análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, massa específica dos grãos de solo, umidade natural, peso específico natural e curva de retenção de água).

12. Histórico das Revisões

REVISÃO	DATA	RESPONSÁVEL	HISTÓRICO
00	Ago/2017	Isabella Figueira	Emissão inicial

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

Apêndice F – Lista da localização dos projetos de engenharia ao longo do rio Doce utilizados como base para o levantamento de dados geotécnicos

Tabela 160 – Localização das Usinas Hidrelétricas

Usina/Balsa	Posição Geográfica	
	Latitude GMS	Longitude GMS
1 - Usina Hidrelétrica Risoleta Neves	20°12'27.60"S	42°51'17.09"O
2 - Usina Hidrelétrica de Baguari	19° 1'15.26"S	42° 7'29.81"O
3 - Usina Hidrelétrica Aimorés	19°27'23.31"S	41° 5'43.38"O
4 - Usina Hidrelétrica de Mascarenhas	19°30'2.27"S	40°55'5.89"O

Tabela 161 – Localização dos empreendimentos e obras de arte ao longo do rio Doce e afluentes

Ponte	Coordenada Geográfica		Rio
	Latitude GMS	Longitude GMS	
1 - Sem identificação	20°16'13.16"S	43°17'50.84"O	Principal
2 - Sem identificação	20°17'32.60"S	43°15'37.59"O	Principal
3 - Ponte Sobre o Rio Gualaxo do Norte - Pedras	20°18'13.08"S	43°14'58.08"O	Principal
4 - S/ Identificação	20°17'55.37"S	43°14'7.54"O	Principal
5 - S/ Identificação	20°17'57.05"S	43°12'40.42"O	Principal
6 - S/ Identificação	20°17'52.84"S	43°11'57.39"O	Principal
7 - S/ Identificação	20°17'19.44"S	43°11'41.78"O	Principal
8 - S/ Identificação	20°16'49.97"S	43°11'52.98"O	Principal
9 - S/ Identificação	20°16'20.49"S	43°11'54.32"O	Principal
10 - S/ Identificação	20°16'8.56"S	43°10'14.52"O	Principal
11 - S/ Identificação	20°16'35.46"S	43° 9'19.17"O	Principal
12 - Sem identificação	20°16'19.17"S	43° 9'10.33"O	Principal
13 - S/ Identificação	20°15'52.26"S	43° 8'10.07"O	Principal
14 - MG-326 c/ R. Tomás de Aquino Cota	20°15'29.95"S	43° 7'24.27"O	Principal
15 - MG326	20°16'1.17"S	43° 6'21.69"O	Principal
16 - MG-326	20°16'43.13"S	43° 5'16.46"O	Principal
17 - MG-326	20°17'9.80"S	43° 3'57.08"O	Principal
18 - R. Raimundo Alves Xavier	20°16'58.90"S	43° 1'57.05"O	Principal
19 - Antiga Ponte da estrada de Ferro sobre o rio do Carmo	20°16'41.17"S	42°54'57.45"O	Principal
20 - BR-120 - Ponte na chegada do Rio Doce	20°14'52.97"S	42°53'6.86"O	Principal
21 - BR-262 - Ponte sobre o rio doce	20° 1'11.46"S	42°44'41.28"O	Principal
22 - Sem identificação - Balsa?	19°58'23.99"S	42°38'36.48"O	Principal
23 - Ponte queimada	19°44'57.06"S	42°28'40.49"O	Principal
24 - Ponte Perdida	19°33'15.20"S	42°31'17.76"O	Principal
25 - MG-425 - BR458	19°28'47.47"S	42°28'44.23"O	Principal
27 - Governados Valadares - Rio Bahia - BR116	18°53'0.15"S	41°57'9.01"O	Principal
28 - Ponte da Ilha - Gov. Valadares	18°51'38.18"S	41°56'34.70"O	Principal
29 - Ponte da EFVM	18°51'10.68"S	41°51'40.92"O	Principal
30 - Antiga ponte EFVM	18°51'22.54"S	41°51'45.32"O	Principal
31a - Conselheiro pena	19° 9'43.01"S	41°28'3.88"O	Principal

Ponte	Coordenada Geográfica		Rio
	Latitude GMS	Longitude GMS	
31b - Conselheiro Pena	19° 9'56.38"S	41°28'0.66"O	Principal
32 - Resplendor	19°19'29.98"S	41°15'9.16"O	Principal
33 - BR259 - Antônio de Mattos	19°20'43.13"S	41°14'27.62"O	Principal
34 - Aimorés - BR101?	19°27'5.22"S	41° 5'33.28"O	Principal
35 - Ponte sobre o canal da adução	19°27'43.65"S	41° 3'28.64"O	Principal
36 - Baixo Gandú	19°30'22.27"S	41° 0'50.40"O	Principal
37 - BR259 - Itapina	19°30'38.27"S	40°51'28.33"O	Principal
38 - Ponte inacabada de Itapina	19°31'49.57"S	40°48'58.84"O	Principal
39 - ES080	19°31'50.98"S	40°37'52.80"O	Principal
40 - BR259	19°30'55.99"S	40°36'10.55"O	Principal
41 - BR101 - Rod. Gov. Mário Covasss	19°24'40.62"S	40° 3'57.16"O	Principal
ES 010	19°34'8.22"S	39°48'39.82"O	Principal
1 - Ponte Estrada Real - Afluente	20°15'24.83"S	43°24'56.75"O	Afluente
2 - Sem identificação - Afluente	20°15'45.27"S	43°24'19.98"O	Afluente
3 - Sem identificação - Afluente	20°15'53.96"S	43°24'23.44"O	Afluente
4 - Sem identificação - Afluente	20°18'11.55"S	43°13'46.78"O	Afluente
5 - Sem identificação - Afluente	20°18'18.88"S	43°13'48.63"O	Afluente
6 - Sem identificação - Afluente	20°18'21.33"S	43°13'49.36"O	Afluente
7 - Sem identificação - Afluente	20°18'21.83"S	43°13'2.54"O	Afluente
8 - Sem identificação - Afluente	20°17'50.99"S	43°12'32.46"O	Afluente
9 - Sem identificação - Afluente	20°17'47.87"S	43°12'32.94"O	Afluente
10 - Sem identificação - Afluente	20°15'51.61"S	43° 7'42.65"O	Afluente
11 - MG 326 - Afluente	20°17'27.54"S	43° 3'17.33"O	Afluente
12 - Sem identificação - Afluente	20°17'33.04"S	43° 3'12.33"O	Afluente
13 - Sem identificação - Afluente	20°16'48.67"S	43° 1'14.62"O	Afluente
14 - Sem identificação -Afluente	20°15'47.76"S	42°59'51.55"O	Afluente
15 - Sem identificação - Afluente	20°15'10.01"S	42°59'2.91"O	Afluente
16 - MG425 - BR458 - Afluente	19°29'19.57"S	42°30'21.22"O	Afluente
17 - Ipatinga - R. Belo Horizonte - R. Poços de caldas	19°28'36.85"S	42°31'24.57"O	Afluente
18 - BR-381 - Afluente	19°14'4.41"S	42°19'16.32"O	Afluente
19 - BR381 - Afluente	19°13'52.95"S	42°19'39.94"O	Afluente
20 - Sem identificação - Afluente	18°57'3.34"S	42° 3'50.80"O	Afluente
21 - BR381 - Afluente	18°56'45.41"S	42° 3'59.72"O	Afluente
22 - Sem identificação - Afluente	18°53'37.50"S	41°58'2.15"O	Afluente
23 - Av. Eusébio Cabral - Afluente	18°53'15.19"S	41°58'17.36"O	Afluente
24 - R. Israel Pinheiro - Afluente	18°50'52.91"S	41°55'57.17"O	Afluente
25 - Sem identificação - Afluente	18°50'21.69"S	41°53'26.19"O	Afluente
26 - Sem identificação - Afluente	18°54'33.17"S	41°43'11.48"O	Afluente
27 - Antiga ponte EFVM - Afluente	18°56'58.95"S	41°42'23.38"O	Afluente
28 - R. Francisco Valadares - Afluente	19° 0'27.05"S	41°32'14.46"O	Afluente
29 - Gov. Valadares - Afluente	19° 3'58.09"S	41°31'37.56"O	Afluente
30 - Estrada de ferro - Afluente	19° 9'19.39"S	41°28'55.40"O	Afluente
31 - Av. Manoel - Afluente	19° 9'20.46"S	41°28'58.39"O	Afluente
32 - Estrada de Ferro - Afluente	19°10'6.37"S	41°28'14.32"O	Afluente

Ponte	Coordenada Geográfica		Rio
	Latitude GMS	Longitude GMS	
33 - Av. João Siqueira - Afluente	19°10'15.81"S	41°28'25.45"O	Afluente
34 - R. Antônio Aprígio - Afluente	19°10'17.91"S	41°28'26.81"O	Afluente
35 - R. Cristiano Machado - Afluente	19°10'24.63"S	41°28'36.77"O	Afluente
36 - Estrada de ferro - Afluente	19°11'22.87"S	41°25'40.76"O	Afluente
37 - Sem identificação - Afluente	19°14'15.24"S	41°18'19.09"O	Afluente
38 - Sem identificação - Afluente	19°23'50.24"S	41° 5'56.21"O	Afluente
39 - BR259 - Afluente	19°28'59.46"S	41° 5'41.05"O	Afluente
40 - BR474 - Afluente	19°29'2.45"S	41° 6'3.55"O	Afluente
41 - ES446 - Afluente	19°30'42.81"S	41° 0'27.71"O	Afluente
42 - R. Santa Teresinha - Afluente	19°31'5.32"S	41° 0'50.04"O	Afluente
43 - BR259 - ES165	19°31'18.74"S	41° 0'48.08"O	Afluente
44 -Estrada de Ferro - Afluente	19°32'7.04"S	40°42'45.78"O	Afluente
45 - ES446 - Afluente	19°32'15.18"S	40°42'44.29"O	Afluente
46 - Ponte de ferro sobre o Rio Santa Maria - Afluente	19°32'14.83"S	40°38'13.83"O	Afluente

Apêndice G – Procedimento de amostragem para o rejeito de mineração – PEA 412

institutos lactec
CEHPAR LAC LAME LEME

PEA – 412
Revisão: 00
Emissão: JUL/2017

Procedimento de amostragem para o rejeito de mineração

Responsáveis

Elaborador: José Henrique Ferronato Pretto	
Verificado por: Jeferson Luiz Bronholo Representante da Qualidade	Aprovado por: Betina Lepretti Medeiros Responsável Técnico

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

1. Referências

ABNT NBR 10007: 2004 - Amostragem de resíduos sólidos;

ABNT NBR 9604:2016 - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento;

NIT DICLA 057:2017 – Critérios para a Acreditação de Amostragem para Ensaios de Águas e Matrizes Ambientais.

2. Objetivo

O presente documento prescreve os requisitos exigíveis para a amostragem de rejeitos em uma quantidade representativa, visando determinar suas características físicas, químicas e mecânicas.

3. Definições

3.1. Rejeito de mineração: material residual resultante dos processos extrativos da mineração, que não é aproveitado economicamente, após passar por processo de beneficiamento.

3.2. Amostra composta: Soma de parcelas individuais do rejeito a ser estudada, obtidas em pontos, profundidades e/ou instantes diferentes, através dos processos de amostragem. Estas parcelas devem ser misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea.

3.3. Amostra homogênea: Amostra obtida pela melhor mistura possível das alíquotas dos rejeitos.

NOTA: Esta mistura deve ser feita de modo que a amostra resultante apresente características semelhantes em todos os seus pontos. Para rejeitos no estado sólido, esta homogeneização deve ser obtida por quarteamento.

3.4. Amostra representativa: Parcela do rejeito a ser estudada, obtida por meio de um processo de amostragem, e que, quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do rejeito.

3.5. Amostra simples: Parcela do rejeito a ser estudada, obtida por meio de um processo de amostragem em um único ponto ou profundidade.

3.6. Amostra deformada: extraída por raspagem ou escavação, implicando na destruição da estrutura e na alteração das condições de compacidade ou consistência naturais.

3.7. Amostra indeformada: extraída com o mínimo de perturbação, procurando manter a sua estrutura e condições de umidade e compacidade ou consistência naturais.

4. Avaliação do local

A avaliação do local deve ser efetuada criteriosamente, com a realização de registro fotográfico e georreferenciamento dos pontos a serem amostrados. Devem ser evitados pontos de baixa representatividade, com alteração visível das propriedades, em relação ao todo.

5. Forma de armazenamento da amostra

As amostras obtidas devem ser armazenadas conforme especificação:

5.1. Amostras deformadas: frascos plásticos ou de vidro, limpos e identificados, vedados com plástico filme e fita adesiva, preenchidos por completo para diminuir a ocorrência de processos de oxidação.

5.2. Amostras indeformadas: anéis fabricados em inox nas dimensões exatas dos ensaios programados, limpos e identificados, vedados com plástico filme e fita adesiva; ou em blocos indeformados de solo em formato cúbico, com 0,15 m de aresta, no mínimo, e 0,40 m de aresta, no máximo, envolvidos por pelo menos 3 camadas de talgarça (tecido) ou similar e, aplicação de parafina líquida.

6. Métodos de preservação e tempo de armazenagem

Os métodos de preservação e o tempo de armazenagem devem ser relativos aos ensaios a serem efetuados, conforme:

6.1. Análises químicas: refrigerar a amostra a temperatura de 4 °C, manter em ausência de luz e armazenar por, no máximo, 14 dias.

NOTA: O tempo de armazenagem é relativo ao parâmetro químico e técnica. Especificamente Cromo IV, Sulfeto reativo e Toxicidade devem ser avaliados em até 24 horas; Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal e Orgânico, 48 horas.

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

6.2. Metais totais: não é necessário nenhum método específico de preservação; análise deve ser realizada em até 180 dias.
6.3. Análises físicas: amostras indeformadas devem ser mantidas em câmara úmida para manutenção das características de campo. No caso de amostras deformadas, não é necessário nenhum método específico de preservação; e análise deve ser realizada em até 180 dias.

7. Pontos de amostragem

Devem ser coletadas amostras representativas, obtidas de cada um dos processos de beneficiamento do minério, em localização a ser definida no ato da amostragem.

8. Número e volume de amostras a serem coletadas

Devem ser coletadas, no mínimo, uma amostra representativa, de cerca de 2 kg, obtida de cada um dos processos de beneficiamento do rejeito de mineração, em localização a ser definida no ato da amostragem.

9. Tipos de amostragem (simples e compostos)

9.1. Amostra composta: Soma de parcelas individuais do rejeito a ser estudada, obtidas em pontos, profundidades e/ou instantes diferentes, através dos processos de amostragem. Estas parcelas devem ser misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea.

9.2. Amostra simples: Parcela do rejeito a ser estudada, obtida por meio de um processo de amostragem em um único ponto ou profundidade.

10. Equipamentos utilizados

Para a realização da coleta de amostras deformada, devem ser utilizados equipamentos específicos, conforme a forma de armazenagem do rejeito, os quais:

10.1. Resíduos secos em tanques rasos ou sobre solos: Pás.

10.2. Resíduos em tanques rasos ou sobre solos, a mais de 20 cm de profundidade: Trado.

NOTA: Entre cada um dos pontos amostrados, os instrumentos utilizados devem ser limpos com água, escova de aço e detergente e secos com papel absorvente, para evitar a contaminação cruzada.

Para a realização da coleta de amostras indeformadas, devem ser utilizados equipamentos específicos, conforme o tipo de amostragem:

10.1. Anéis metálicos: Faca, espátula, pá de jardinagem e anéis de inox

10.2. Blocos indeformados de solo: Parafina, talgarça, faca, pá, cortadeira, espátula, fogareiro, GLP ou similar.

NOTA: Entre cada um dos pontos amostrados, os instrumentos utilizados devem ser limpos com água, escova de aço e detergente e secos com papel absorvente, para evitar a contaminação cruzada.

11. Ensaios a serem realizados

Para a caracterização dos rejeitos de mineração, podem ser efetuados diversos ensaios, os quais:

- Metais completo (por absorção atômica ou similar);
- Análise morfológica microestrutural com análise química elementar, fase química, tamanho de grãos, preferência de orientação cristalográfica (MEV/EDS/EBSD);
- Caracterização elementar, fases químicas, mineralógicas e análise térmica (DTA-TG, FTIR, FRX, DRX);
- Classificação conforme a NBR 10.004 (extrato lixiviado e solubilizado); e
- Análises físicas (análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, massa específica dos grãos de solo, umidade natural, peso específico natural e curva de retenção de água).

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

12. Histórico de revisões

REVISÃO	DATA	RESPONSÁVEL	HISTÓRICO
00	07/2017	José Henrique Ferronato Pretto	Revisão inicial

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

Apêndice H – Mapa de solos da bacia do rio Doce

Apêndice I – Mapa de uso do solo na bacia do rio Doce

Apêndice J – Análise pluviométrica

Figura 491 – Totais anuais de precipitação do mês de janeiro na bacia do rio Doce.

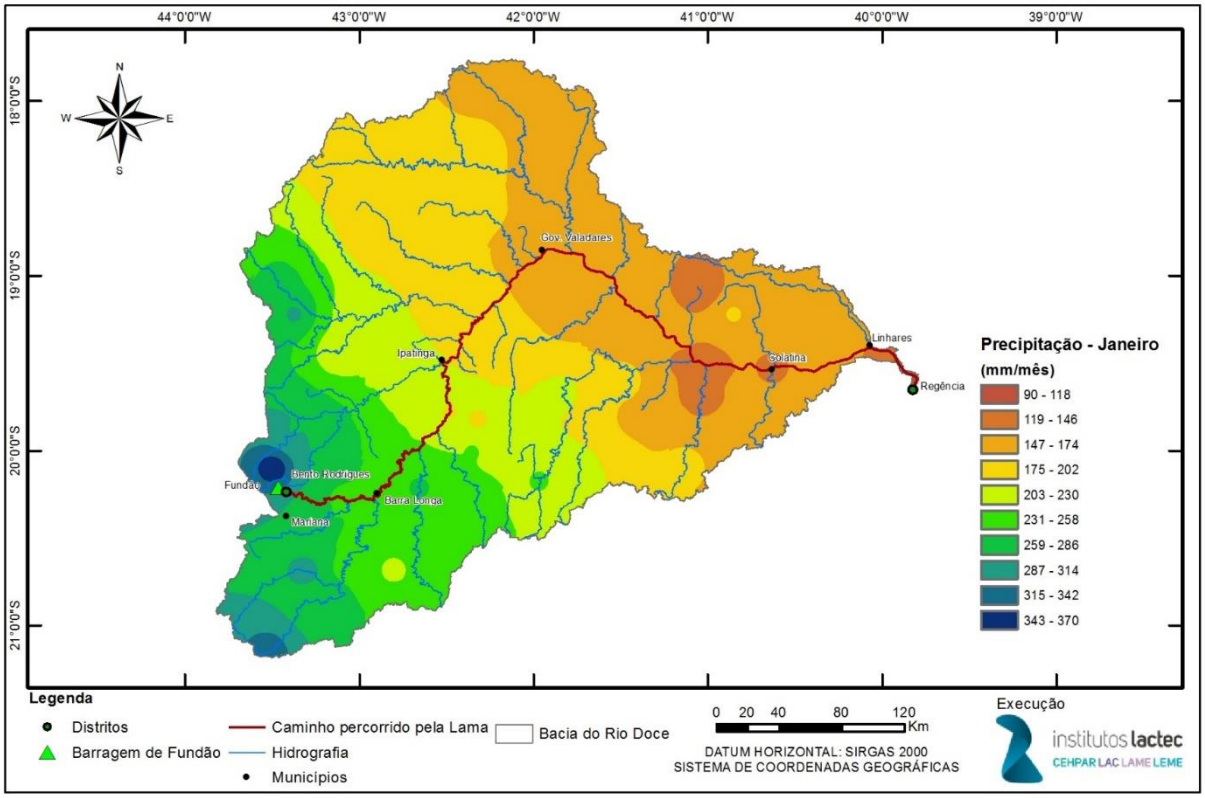


Figura 492 – Totais anuais de precipitação do mês de fevereiro na bacia do rio Doce.

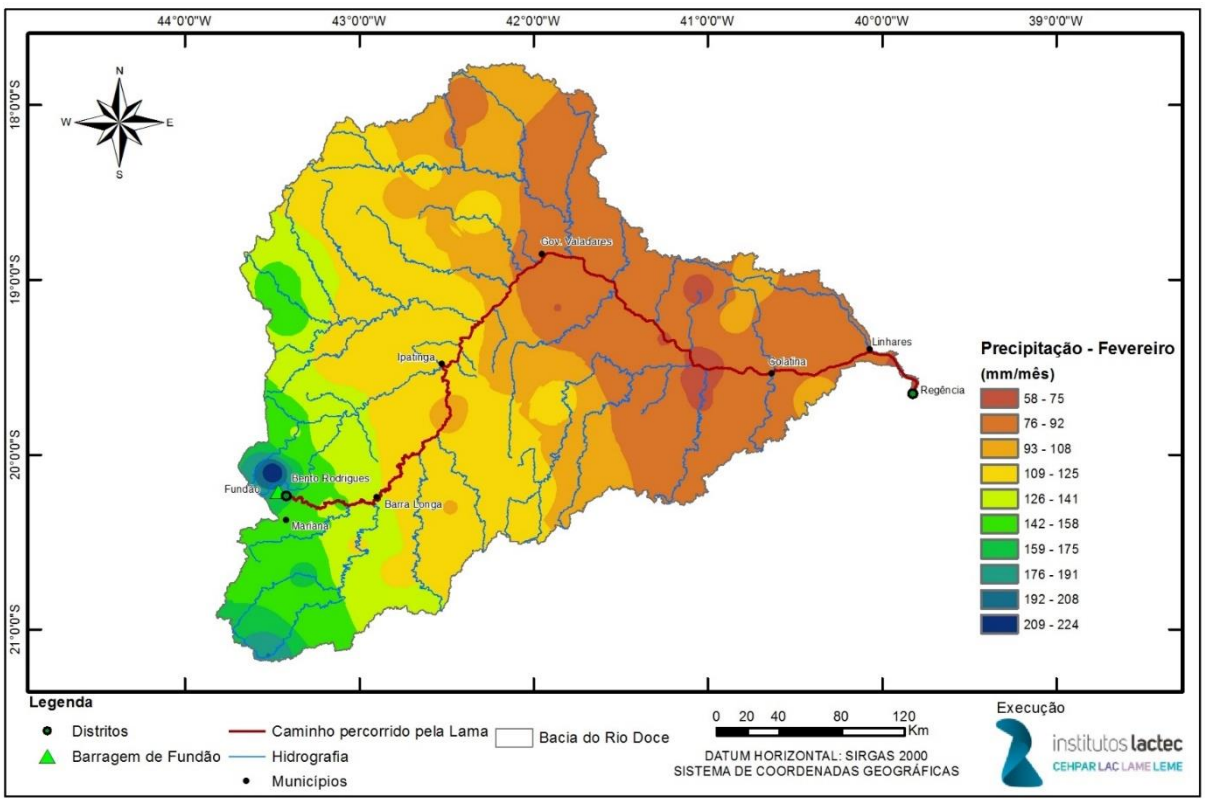


Figura 493 – Totais anuais de precipitação do mês de março na bacia do rio Doce.

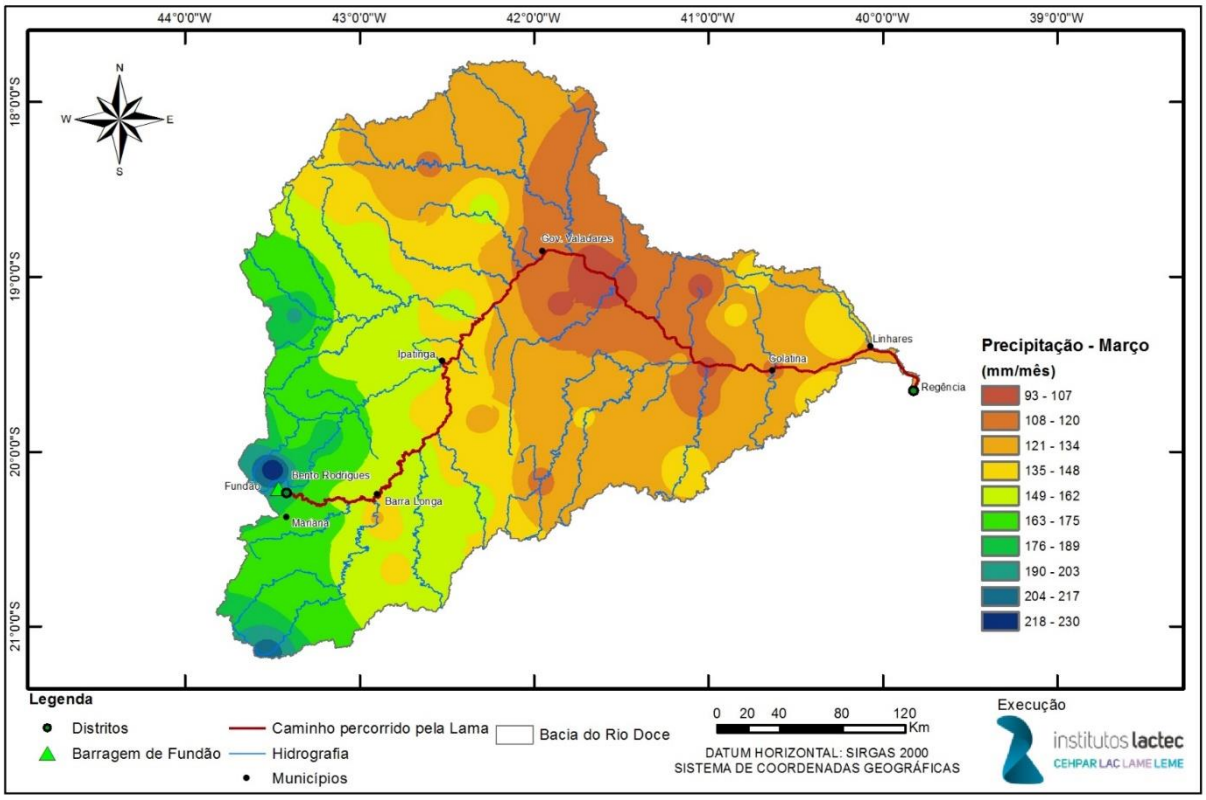


Figura 494 – Totais anuais de precipitação do mês de abril na bacia do rio Doce.

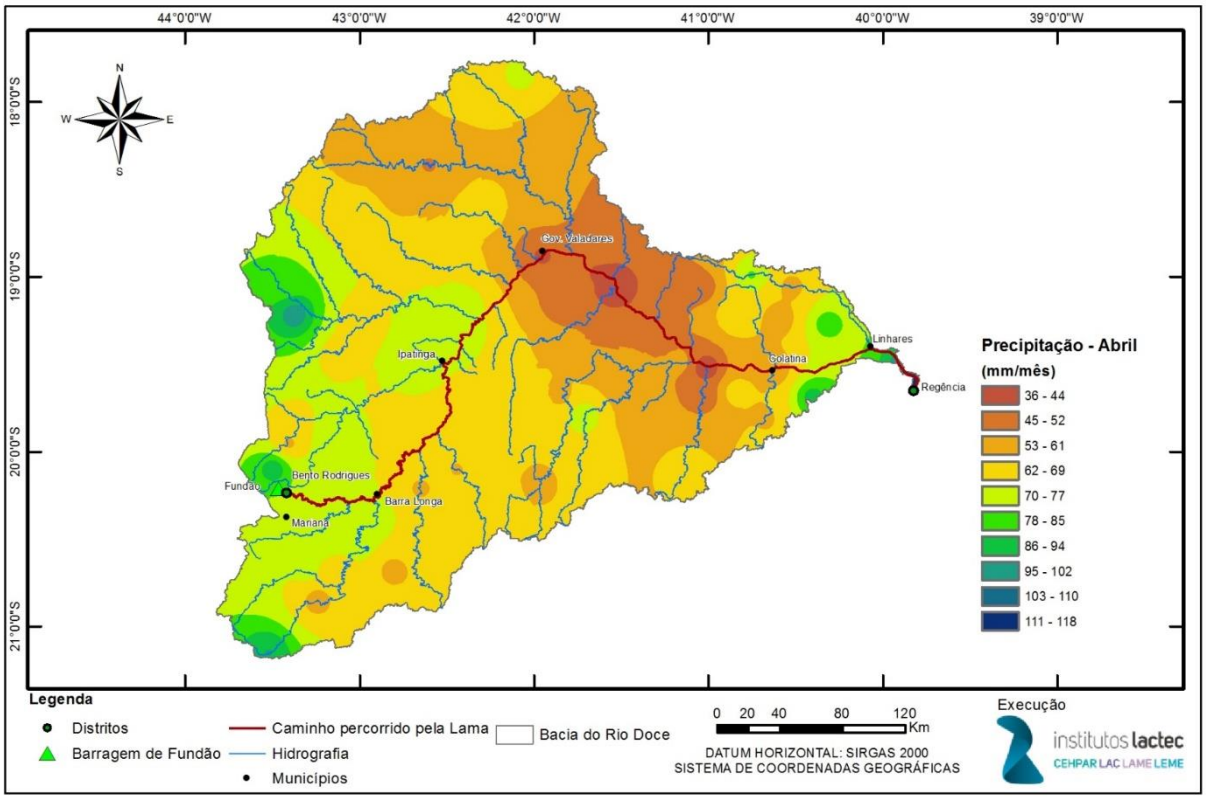


Figura 495 – Totais anuais de precipitação do mês de maio na bacia do rio Doce.

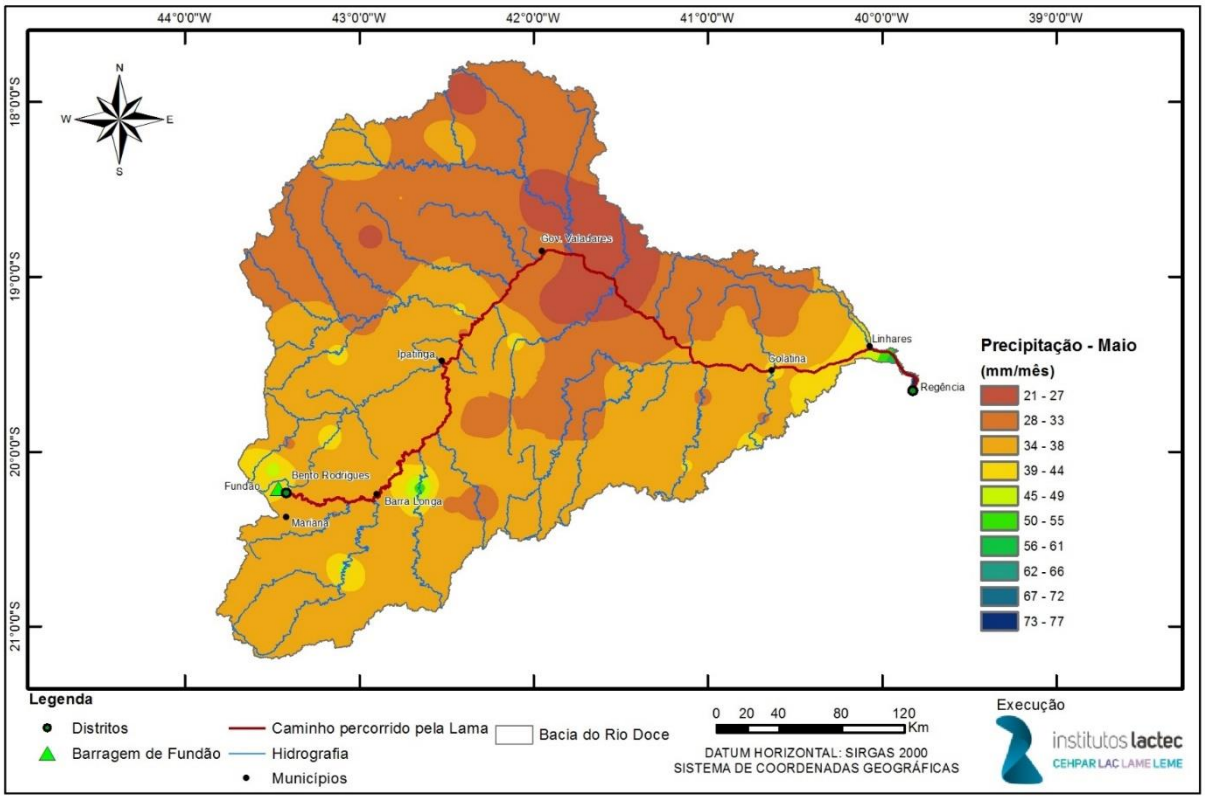


Figura 496 – Totais anuais de precipitação do mês de junho na bacia do rio Doce.

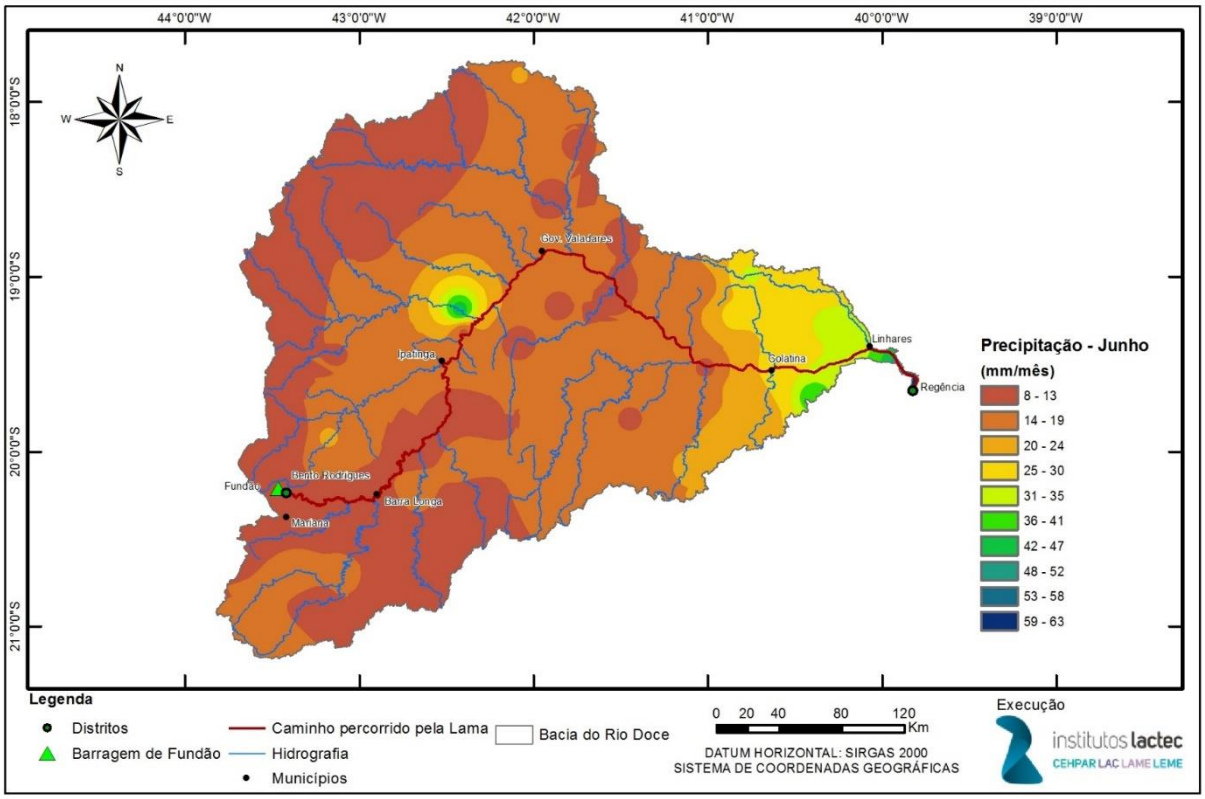


Figura 497 – Totais anuais de precipitação do mês de julho na bacia do rio Doce.

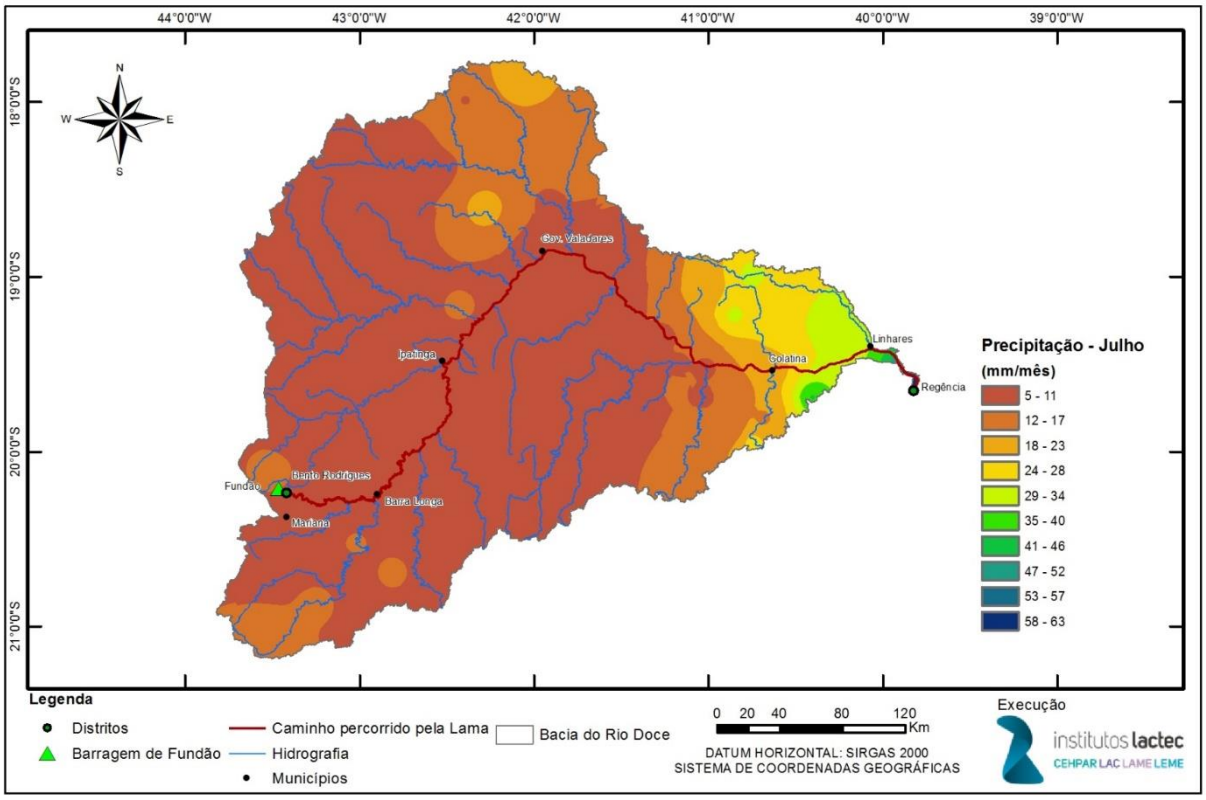


Figura 498 – Totais anuais de precipitação do mês de agosto na bacia do rio Doce.

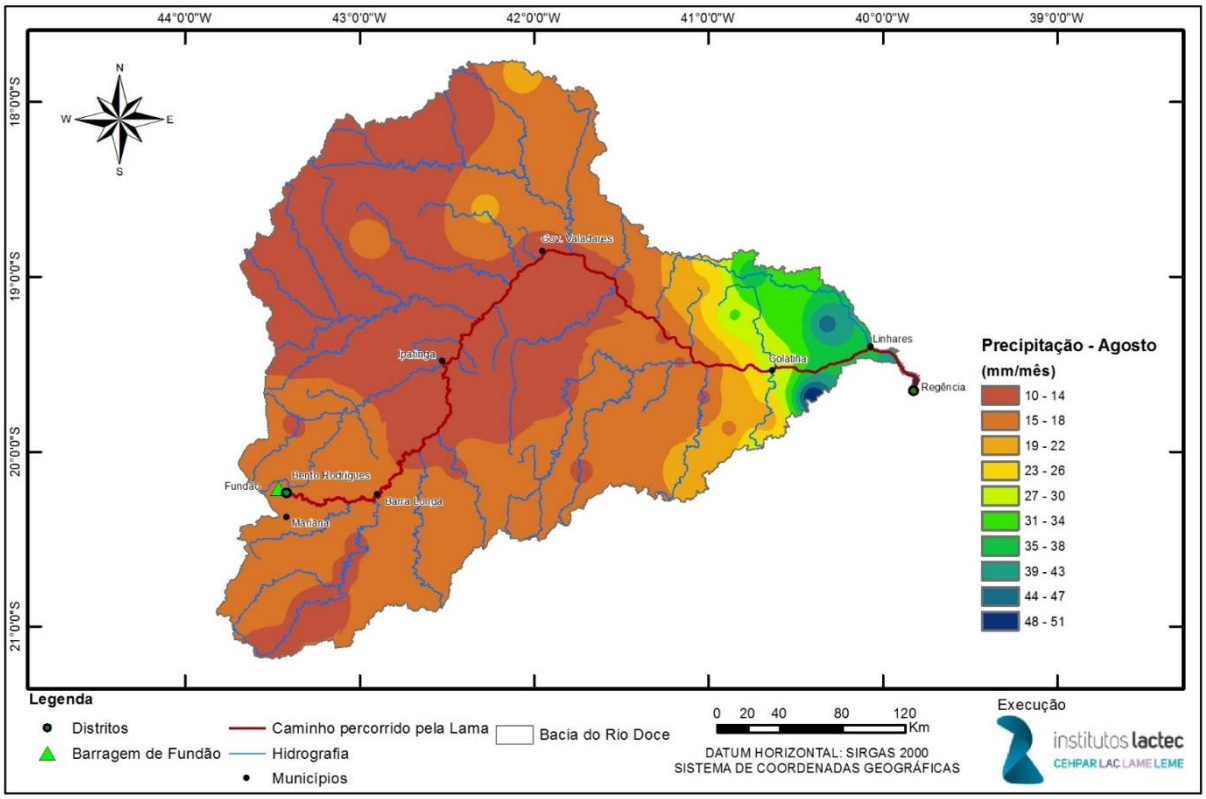


Figura 499 – Totais anuais de precipitação do mês de setembro na bacia do rio Doce.

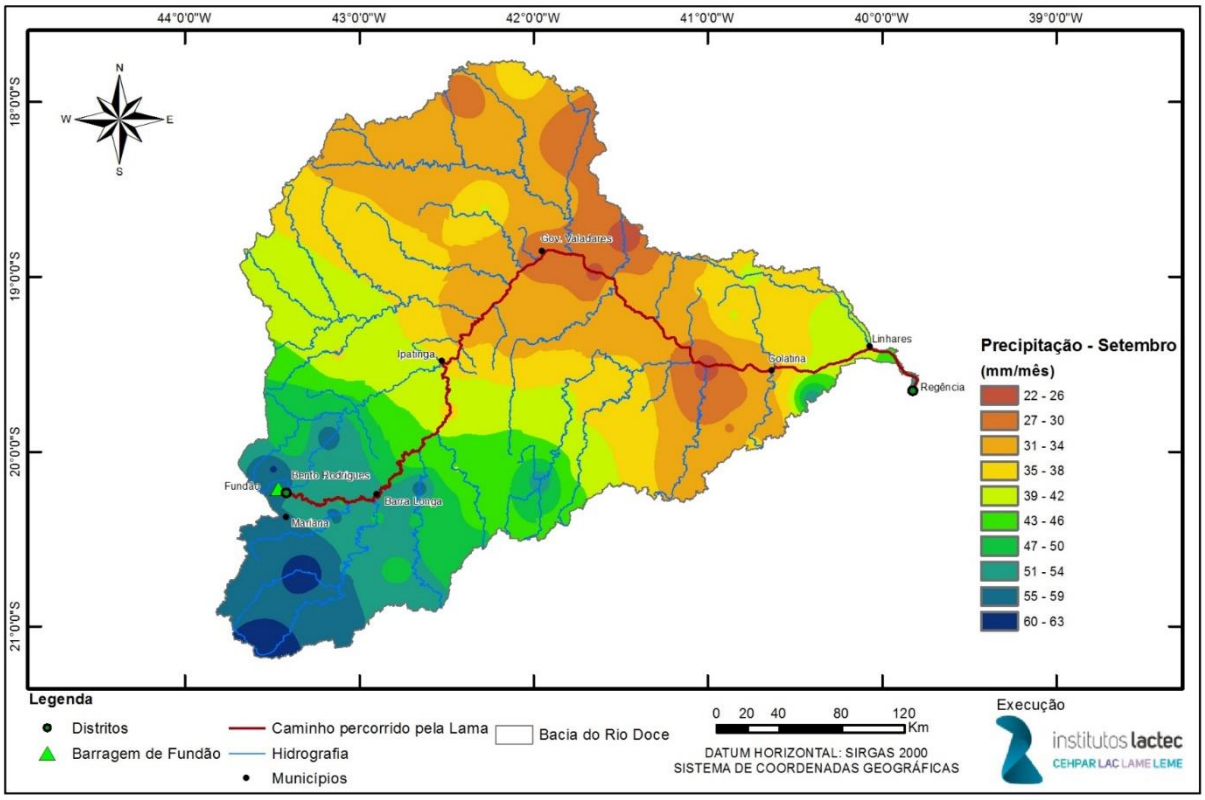


Figura 500 – Totais anuais de precipitação do mês de outubro na bacia do rio Doce.

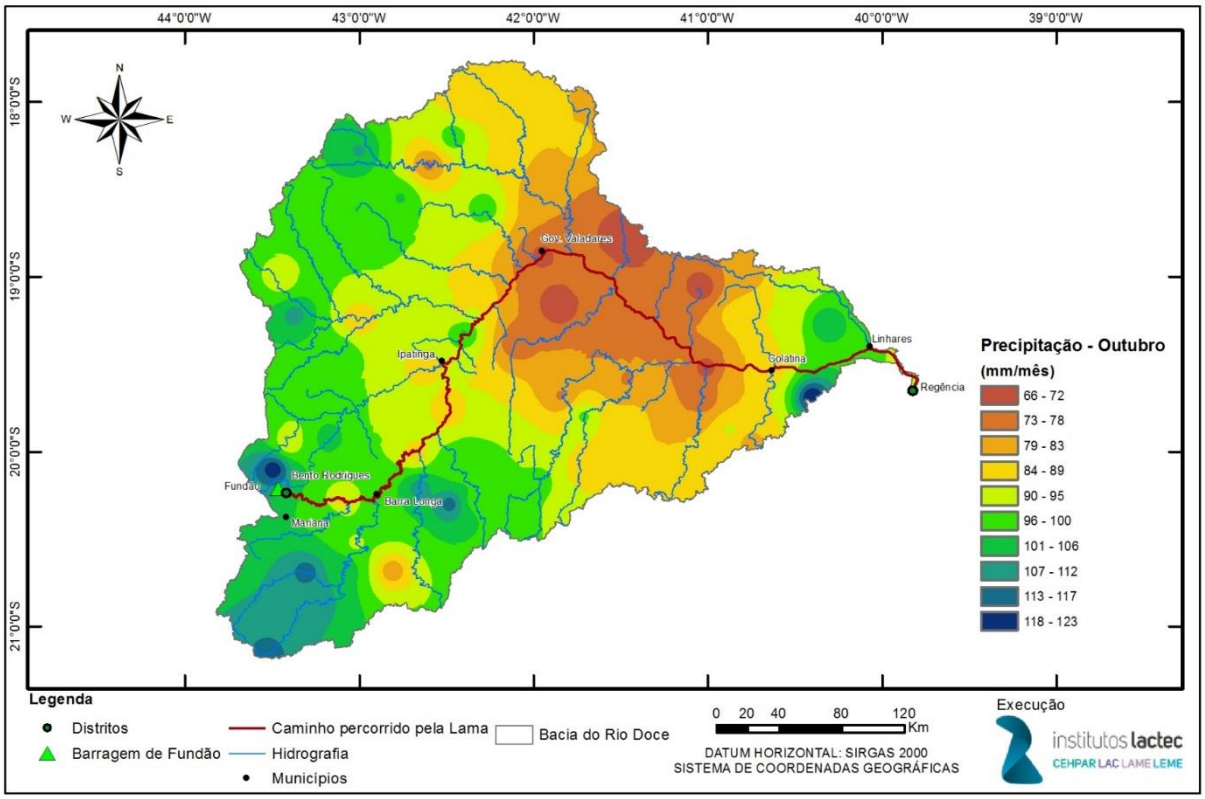


Figura 501 – Totais anuais de precipitação do mês de novembro na bacia do rio Doce.

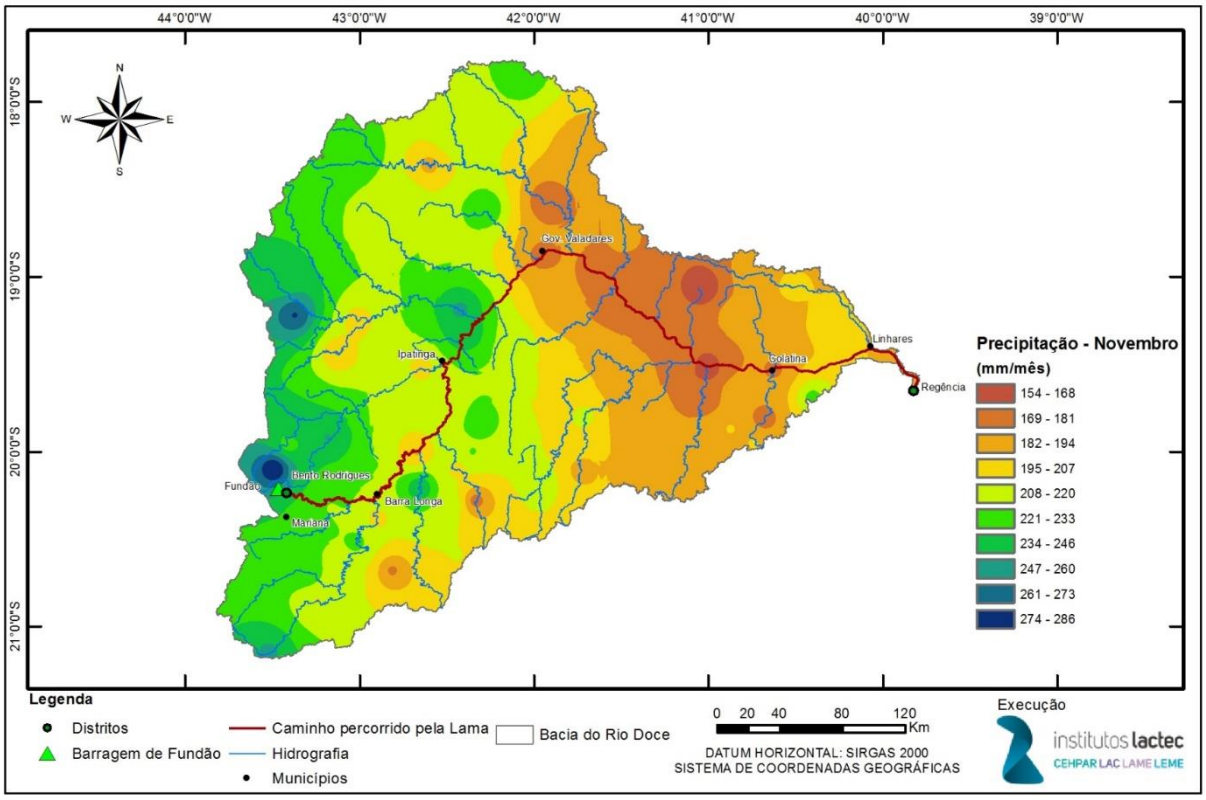


Figura 502 – Totais anuais de precipitação do mês de dezembro na bacia do rio Doce.

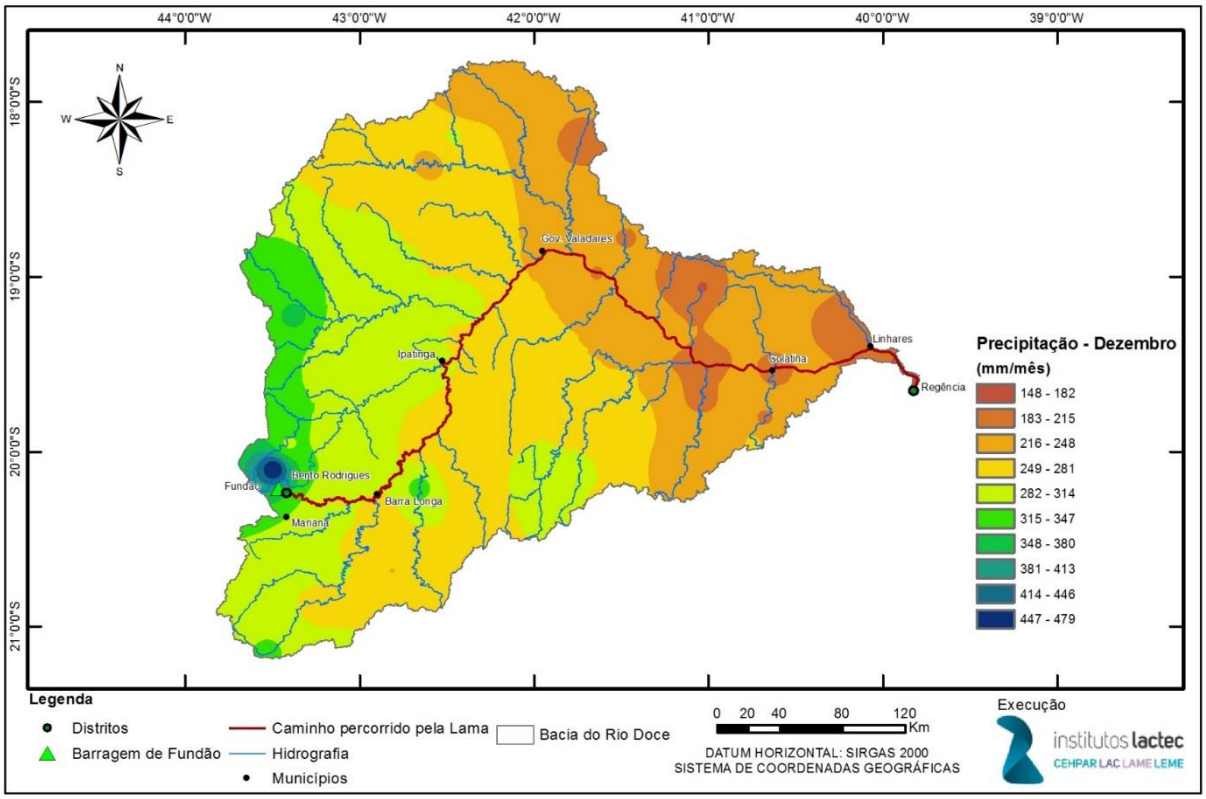


Figura 503 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56028000.

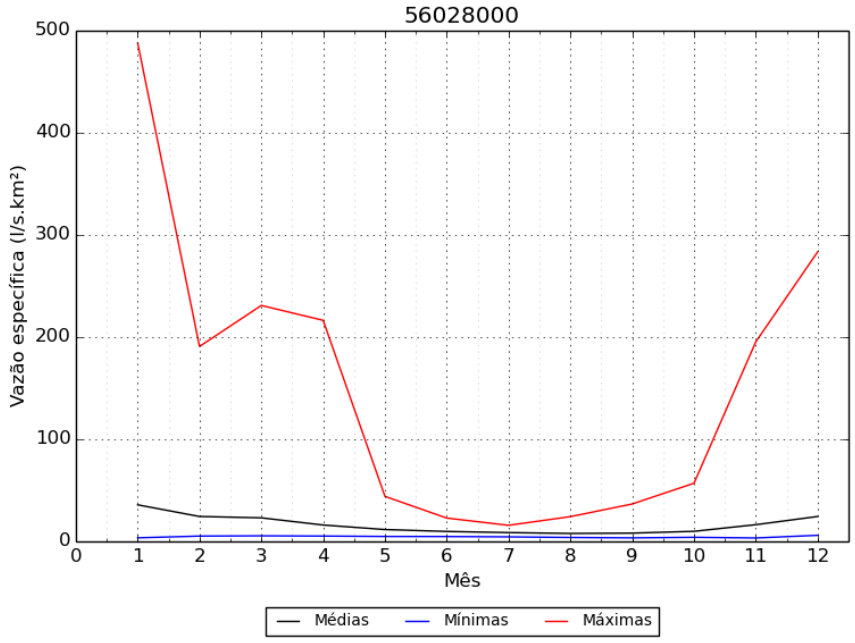


Figura 504 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56055000.

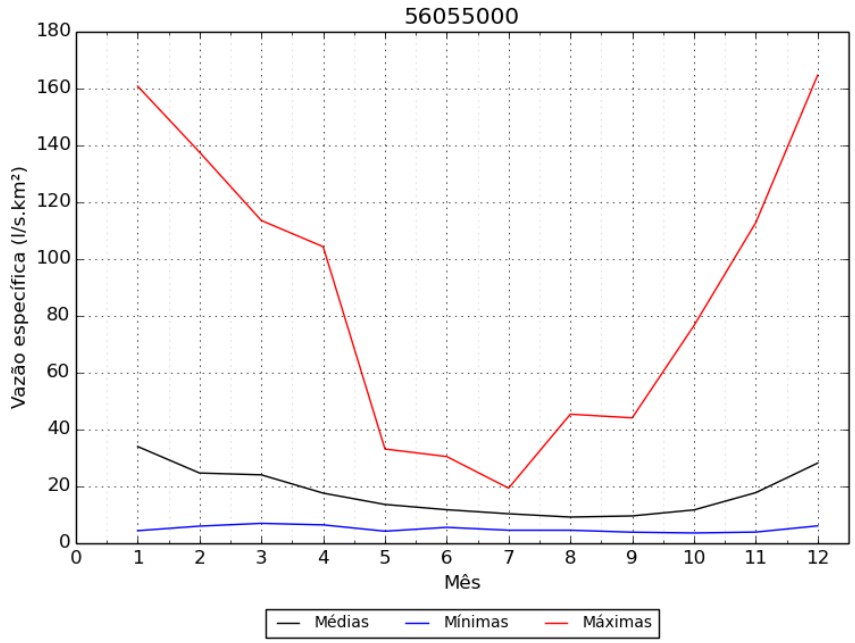


Figura 505 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56065000.

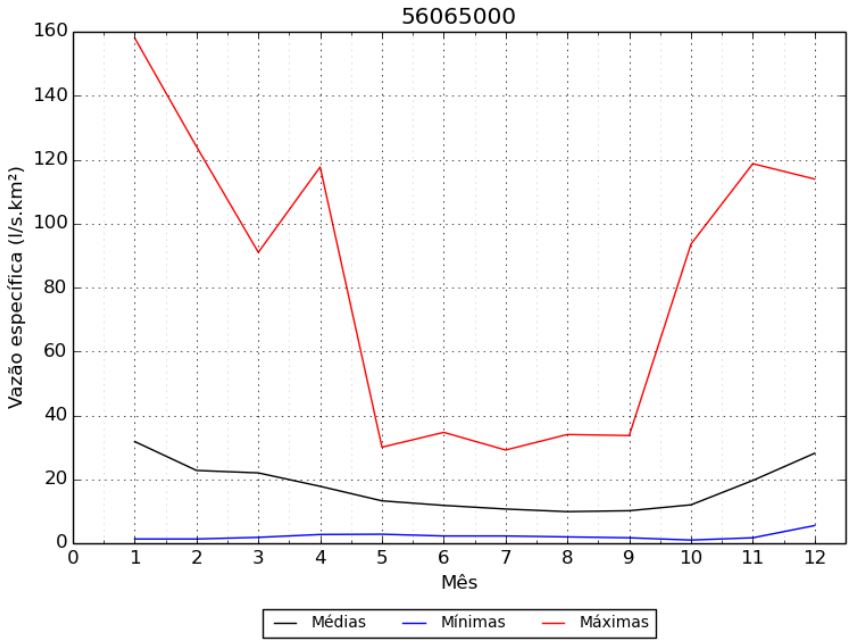


Figura 506 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56075000.

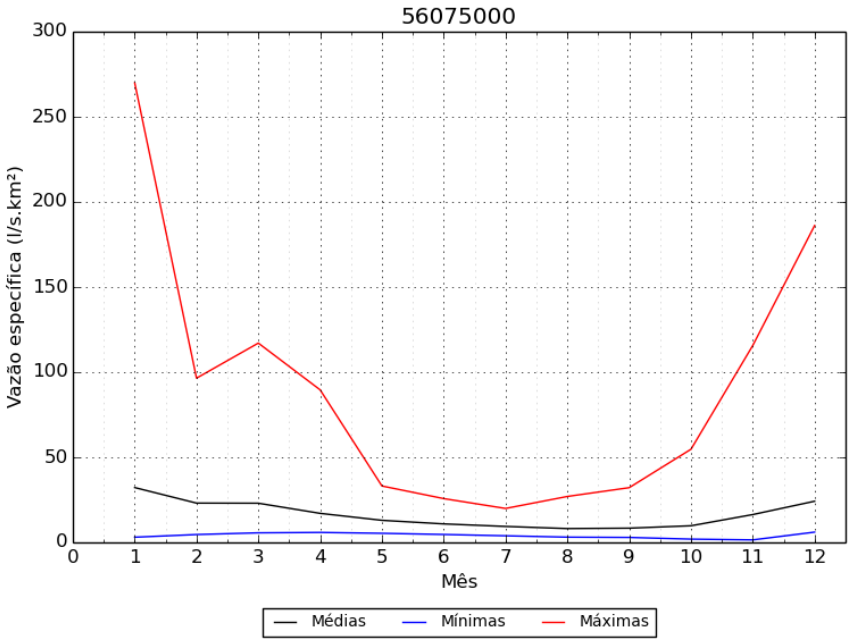


Figura 507 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56085000.

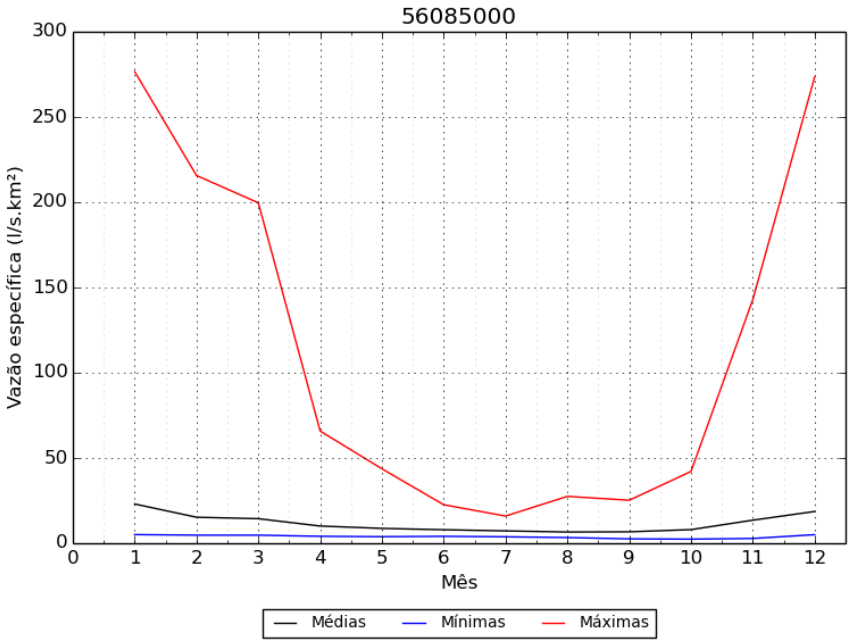


Figura 508 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56090000.

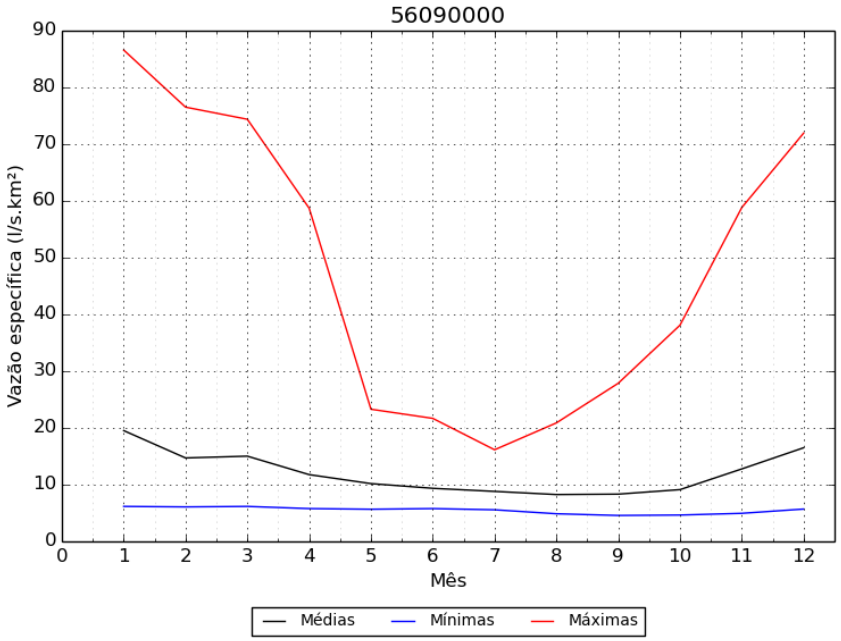


Figura 509 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56110005.

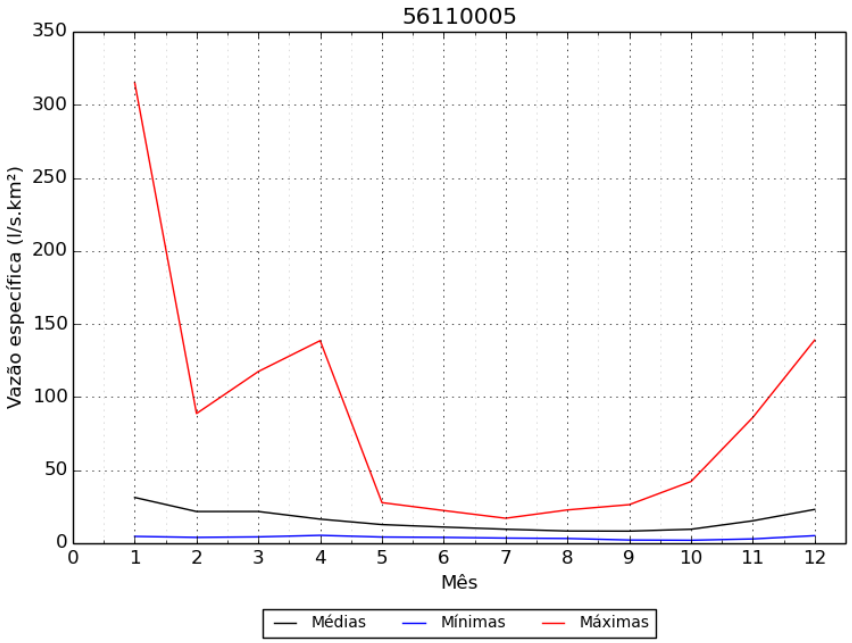


Figura 510 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56145000.

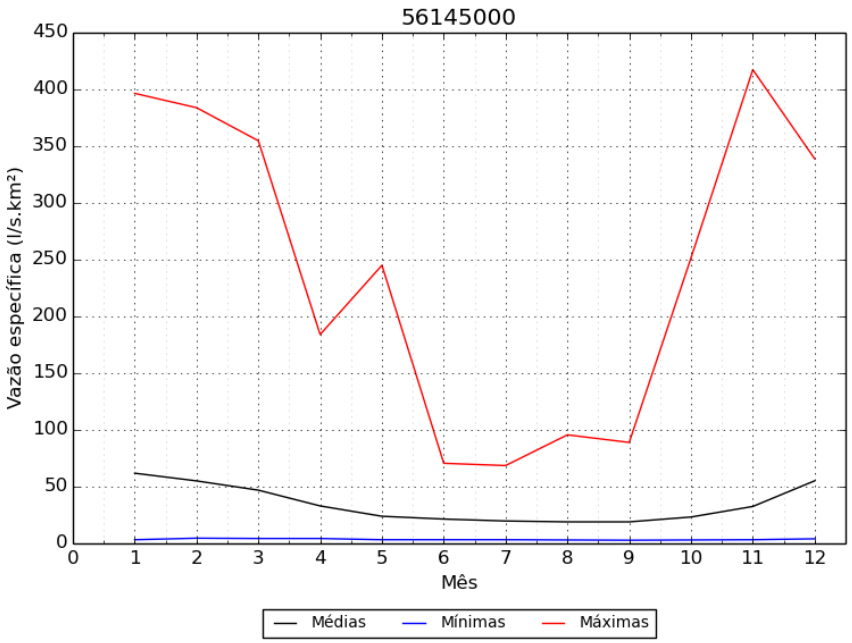


Figura 511 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56240000.

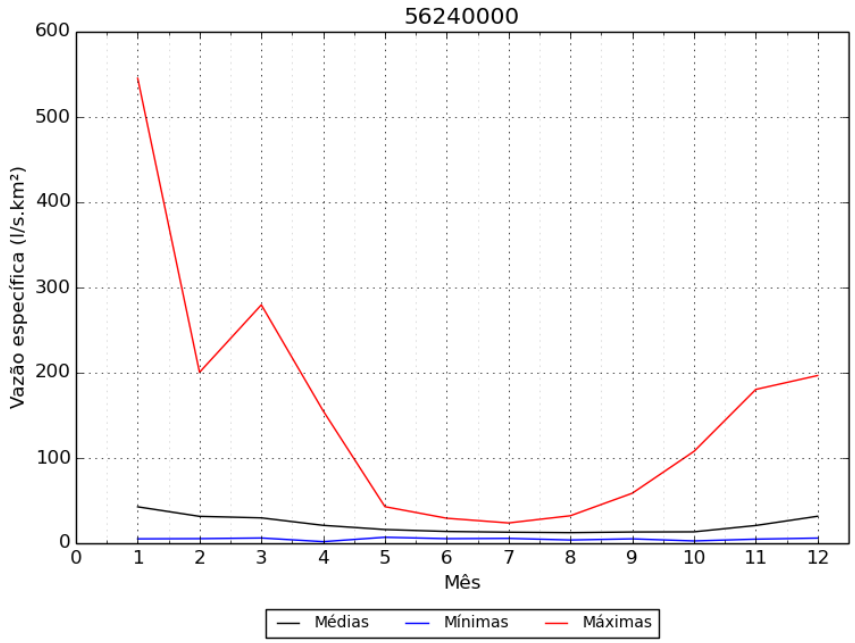


Figura 512 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56335001.

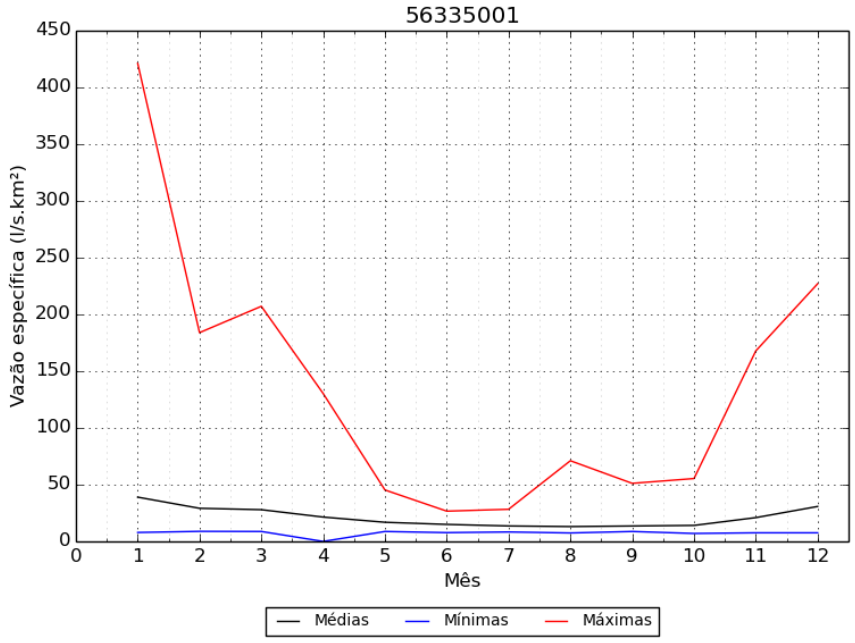


Figura 513 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56337000.

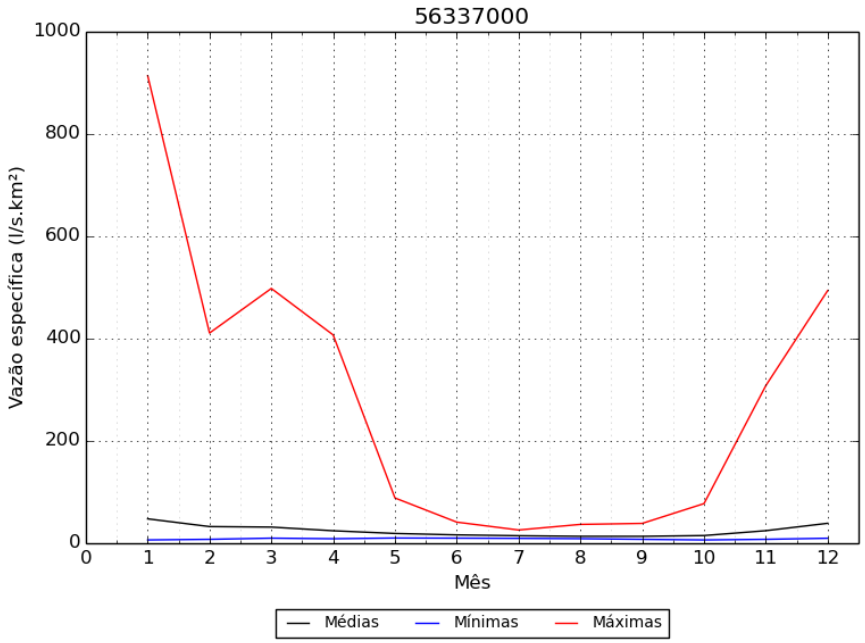


Figura 514 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56385000.

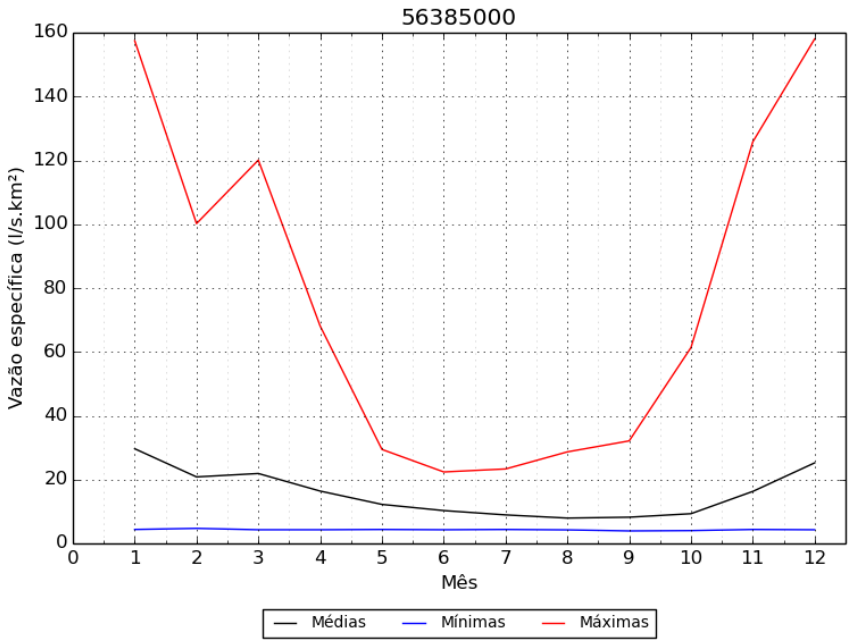


Figura 515 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56145000.

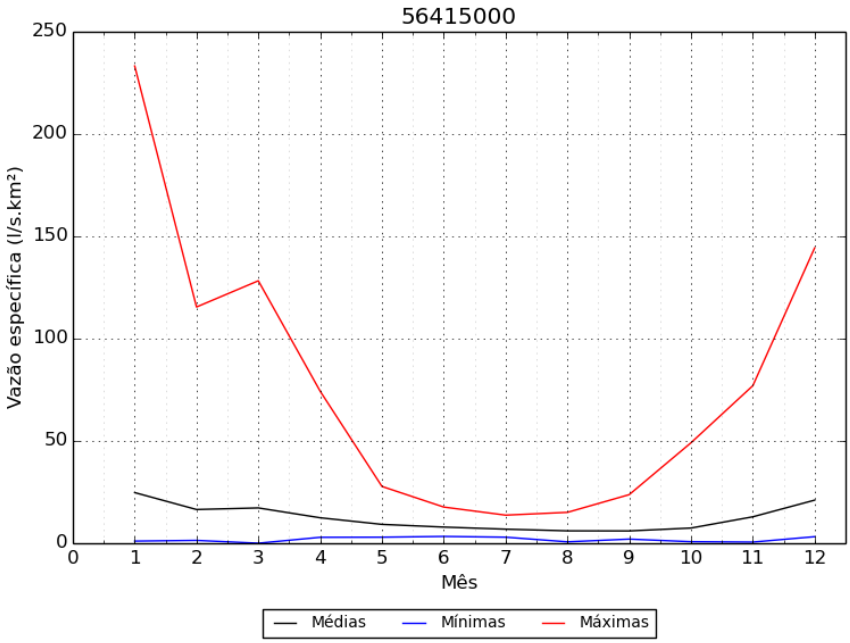


Figura 516 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56425000.

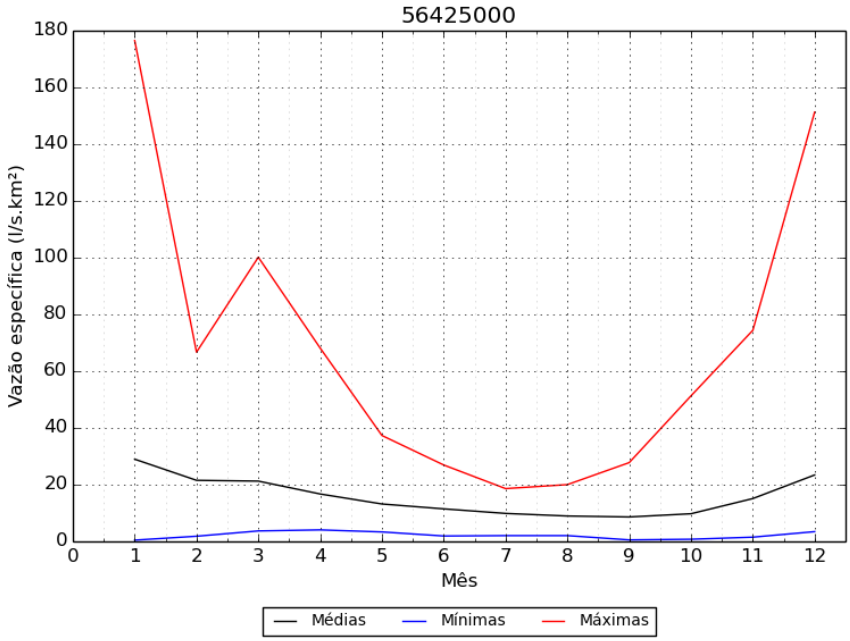


Figura 517 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56460000.

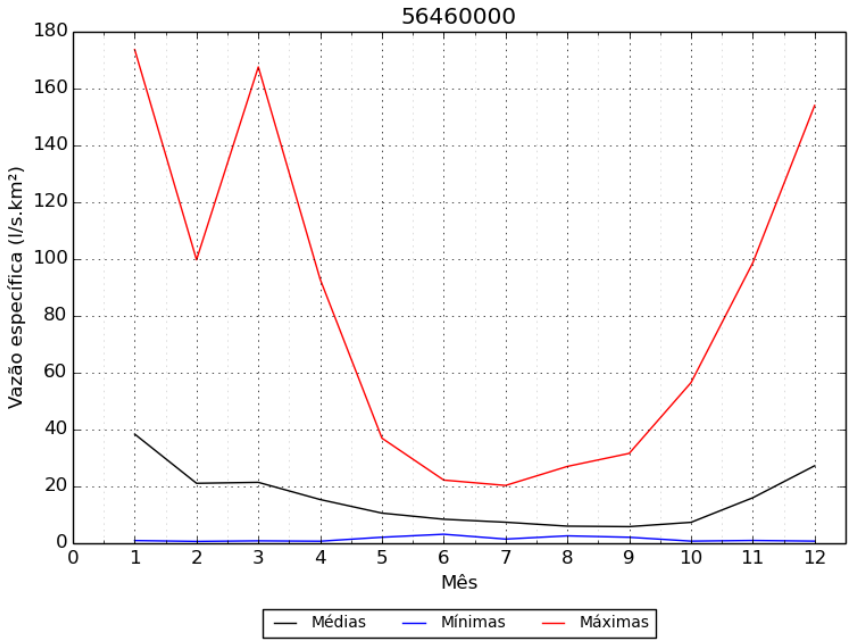


Figura 518 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56484998.

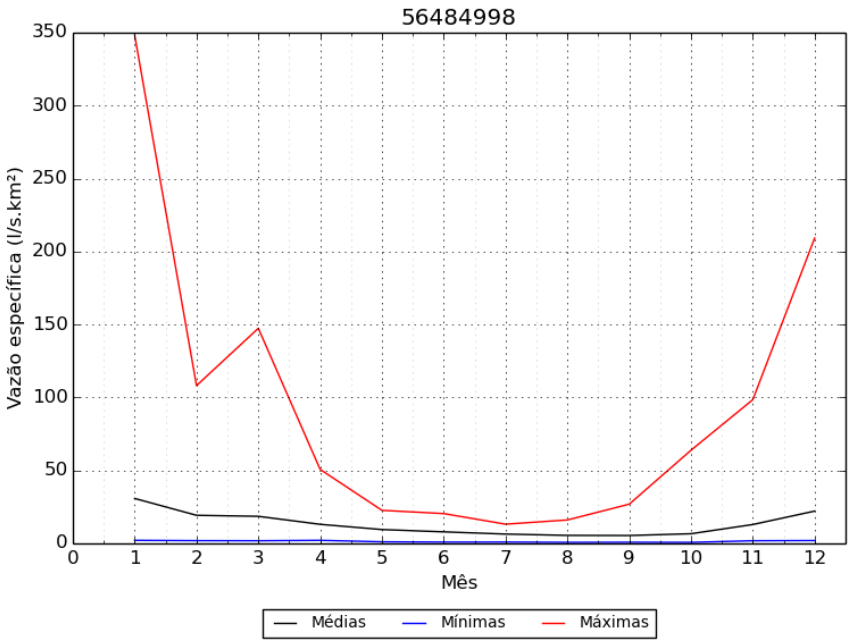


Figura 519 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56500000.

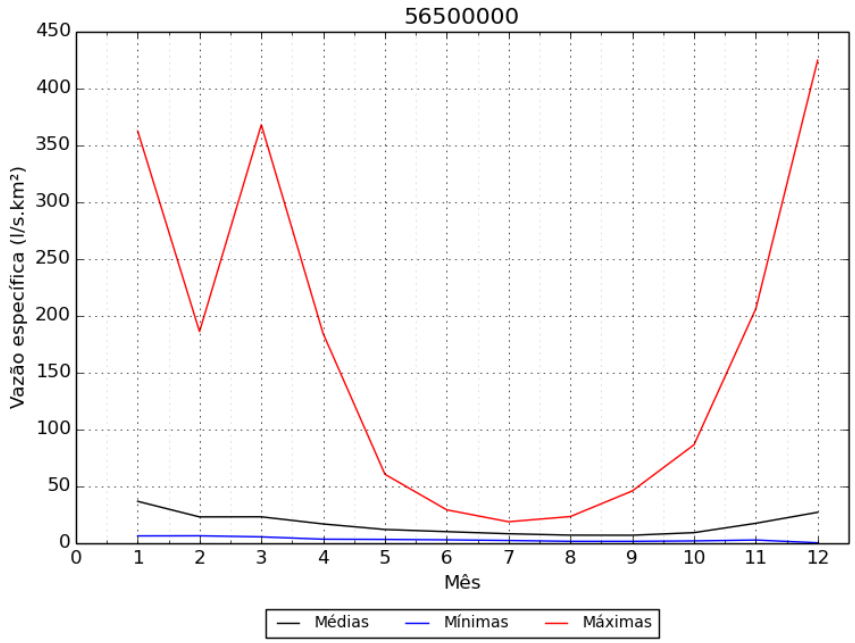


Figura 520 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56510000.

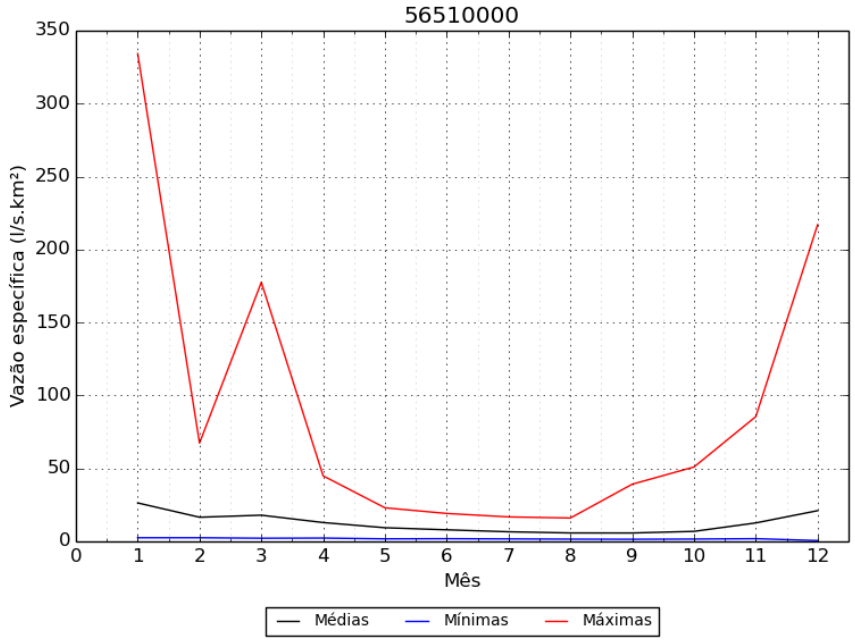


Figura 521 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56539000.

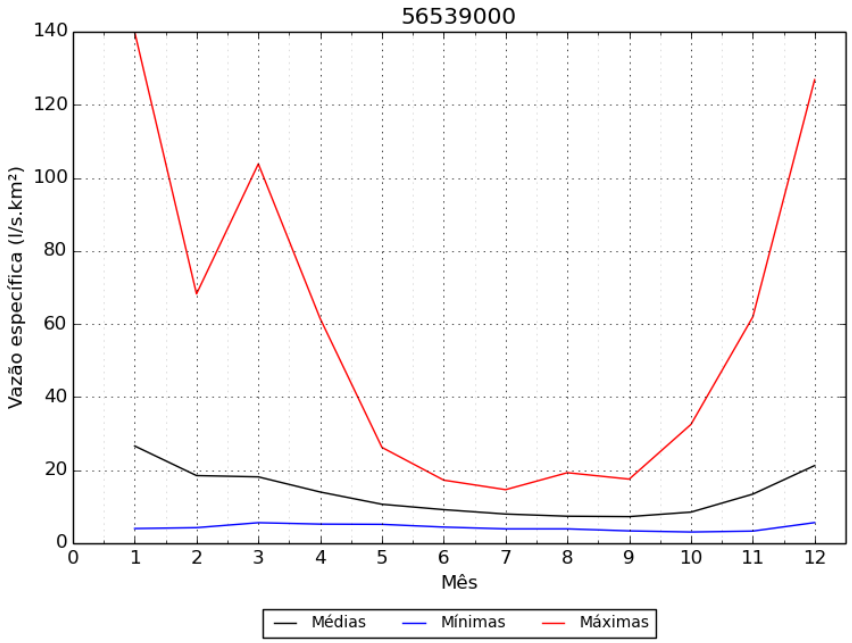


Figura 522 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56570000.

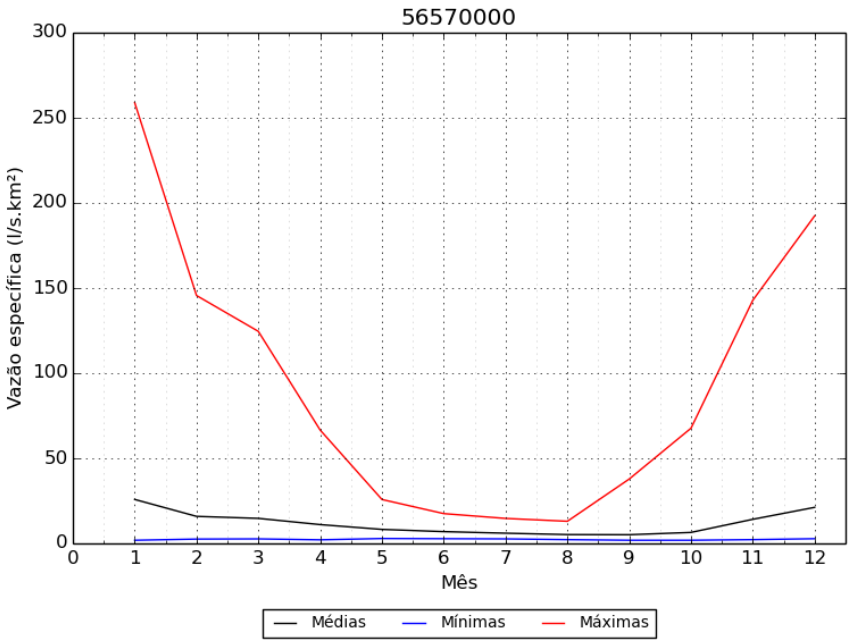


Figura 523 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56610000.

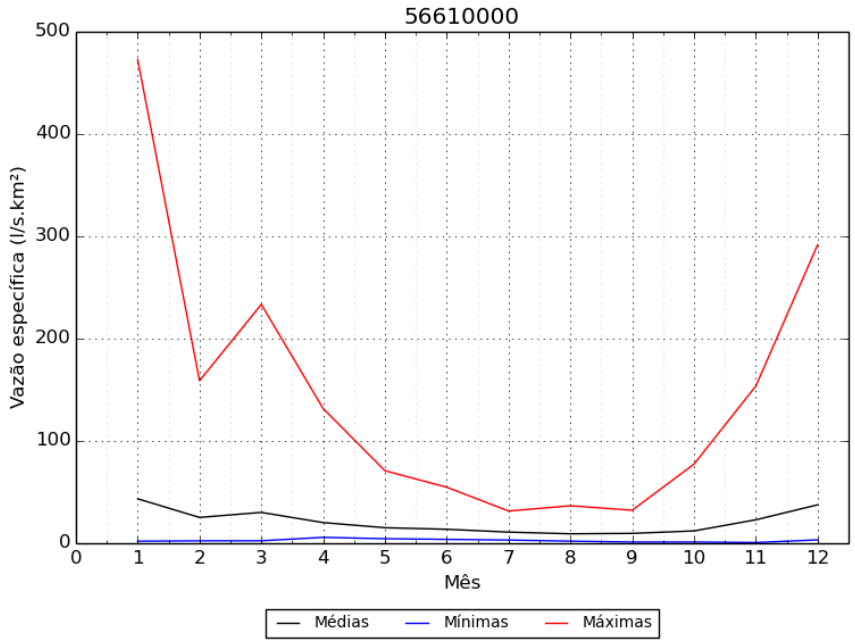


Figura 524 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56664000.

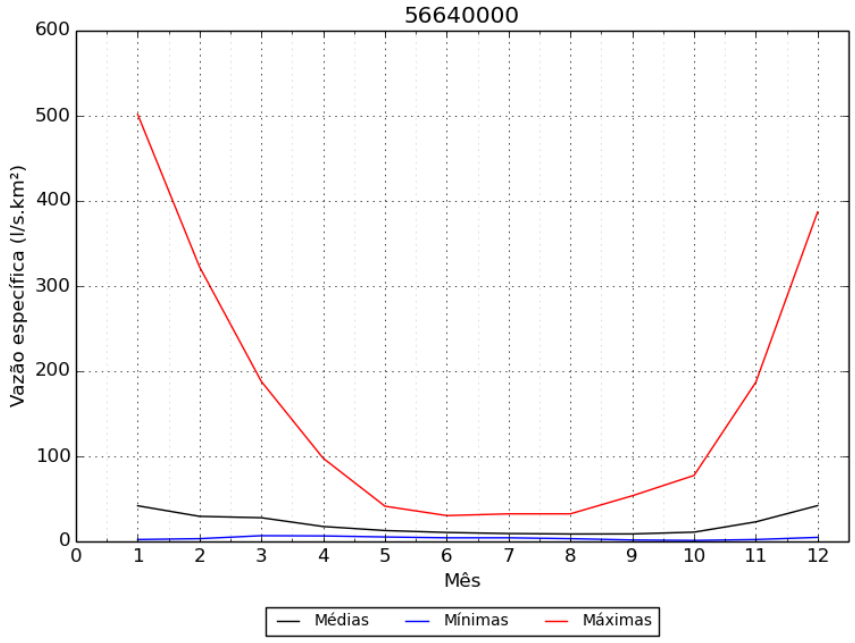


Figura 525 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56659998.

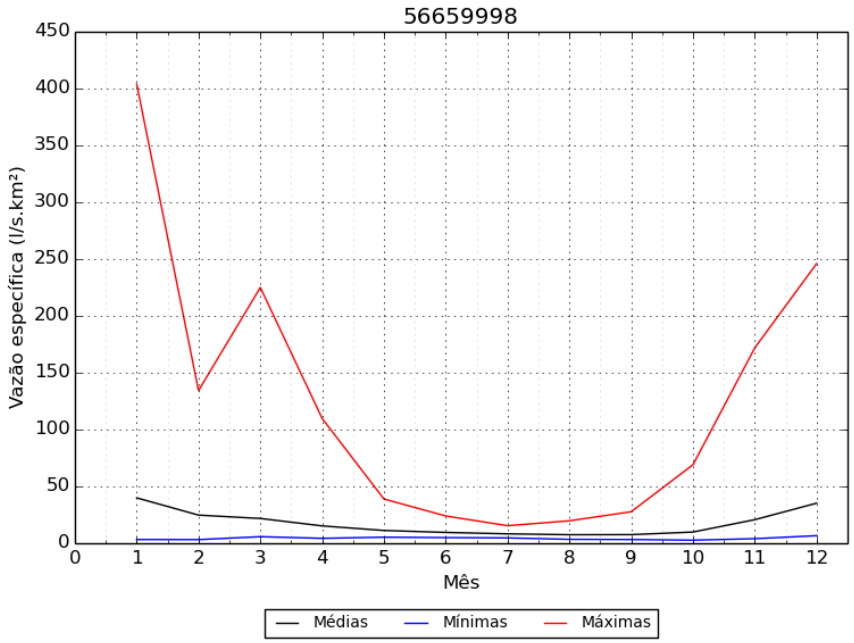


Figura 526 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56696000.

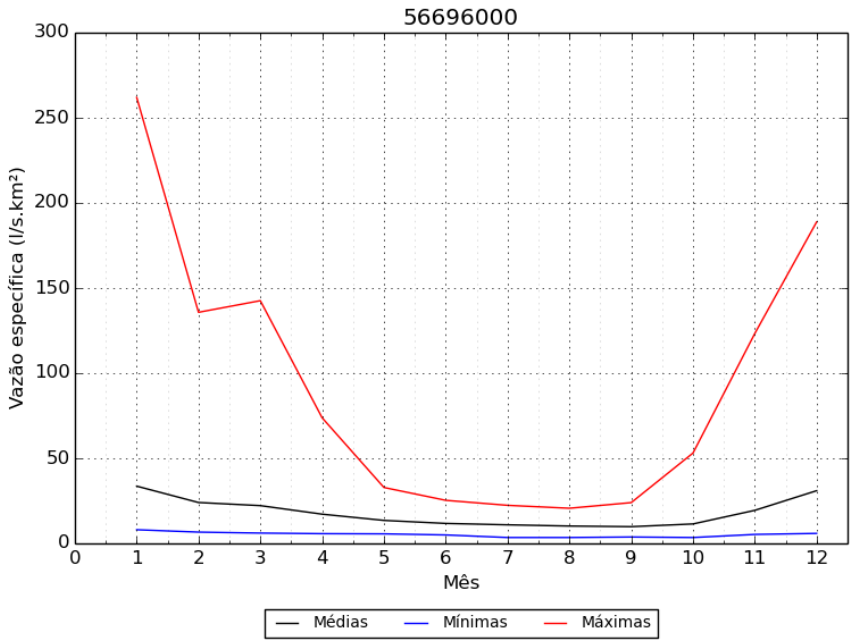


Figura 527 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56719998.

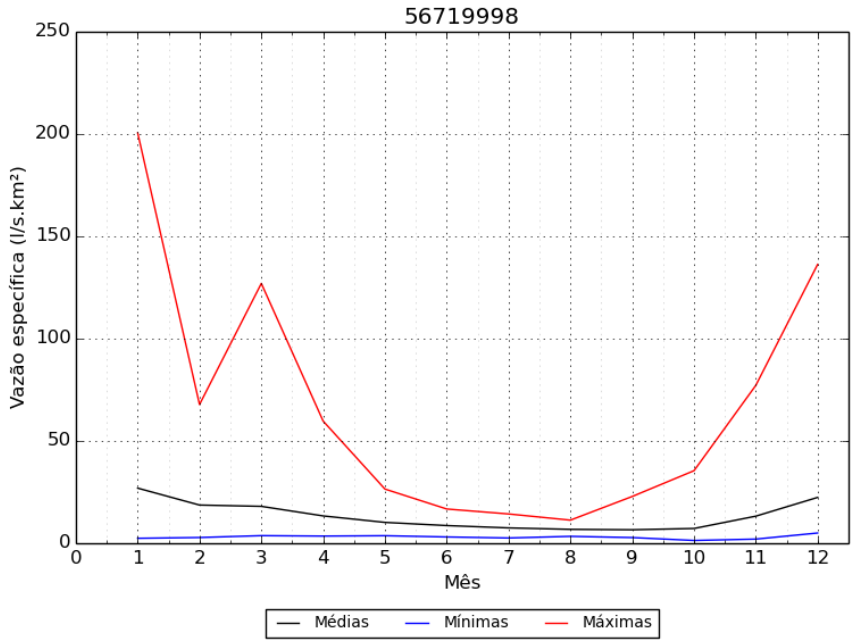


Figura 528 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56750000.

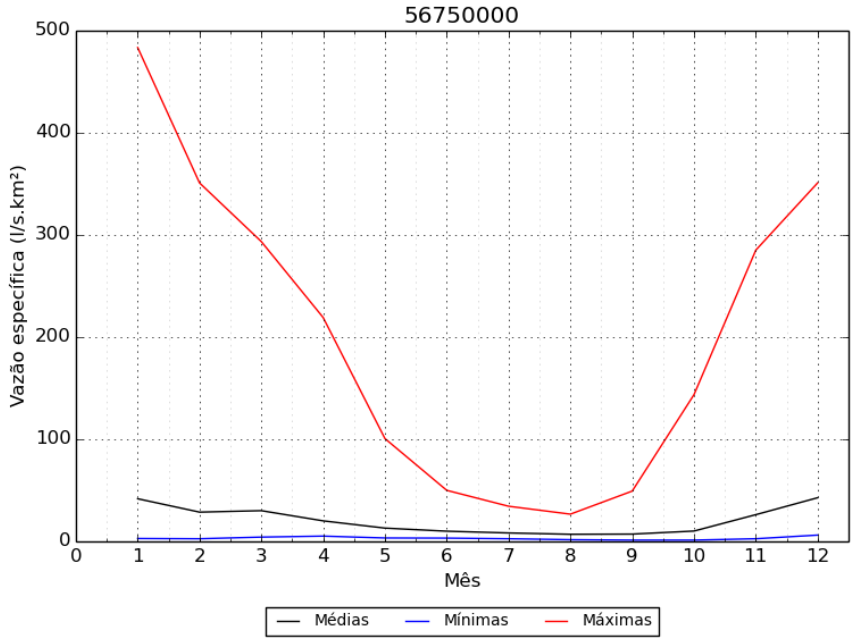


Figura 529 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56765000.

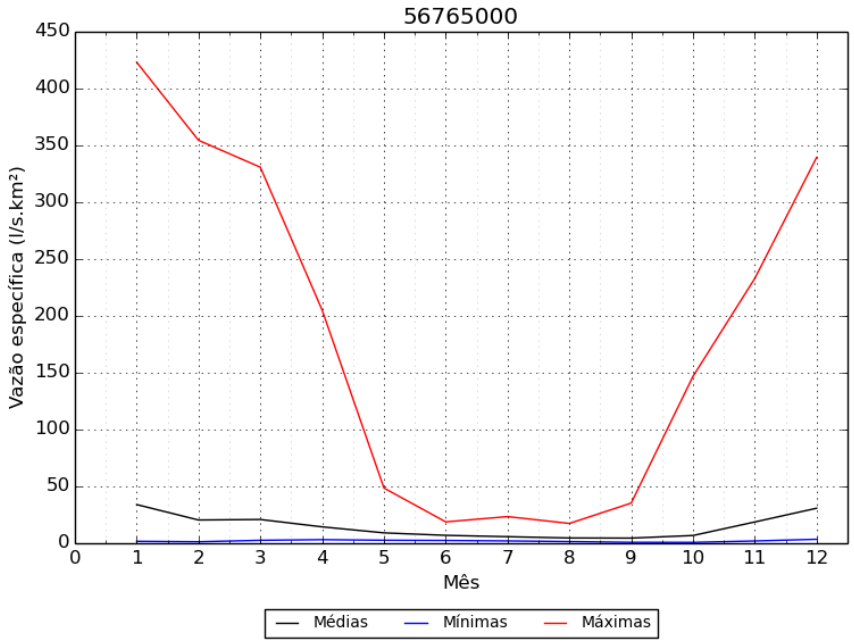


Figura 530 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56775000.

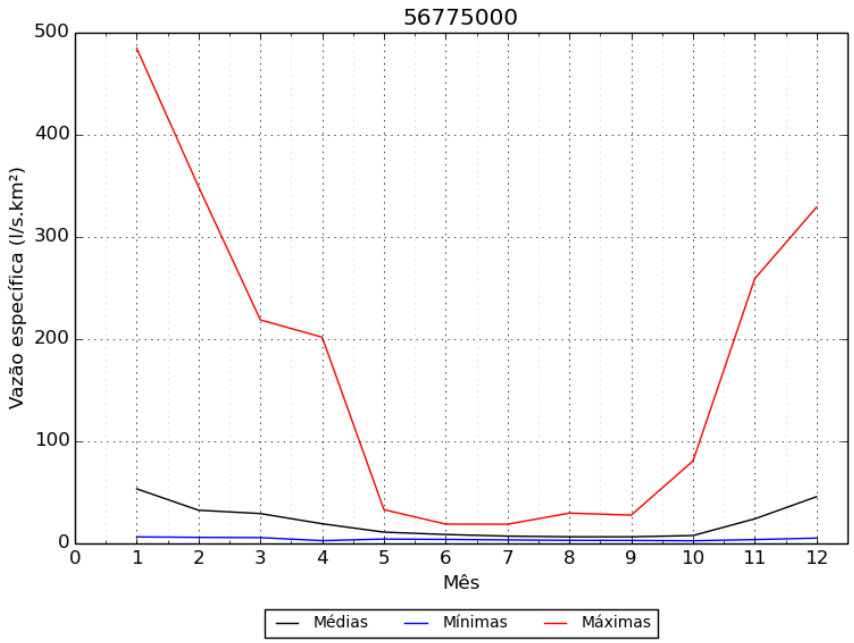


Figura 531 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56787000.

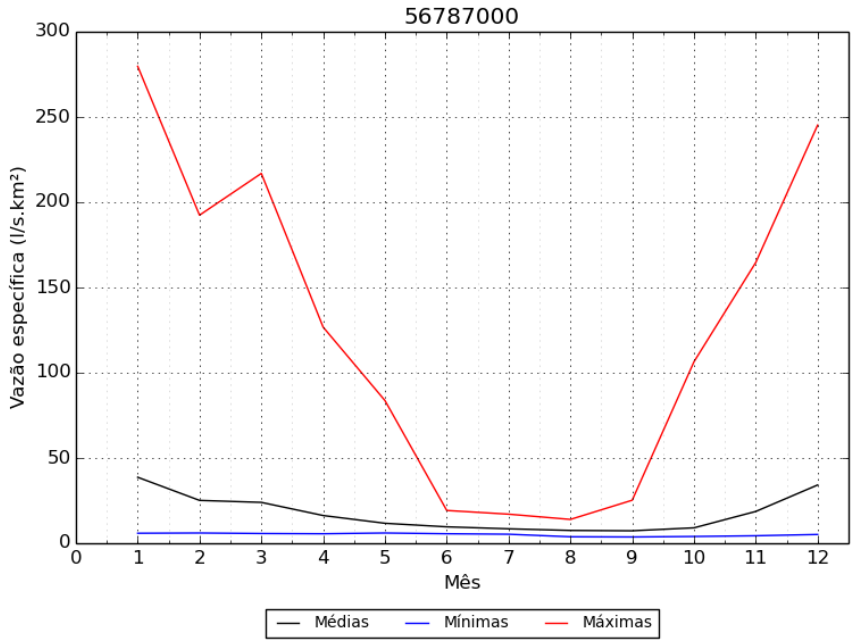


Figura 532 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56800000.

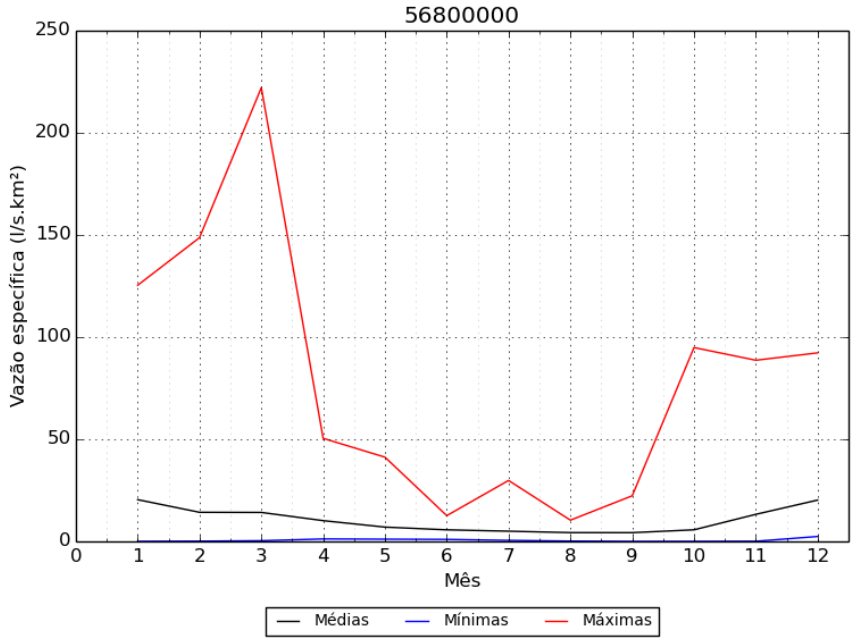


Figura 533 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56825000.

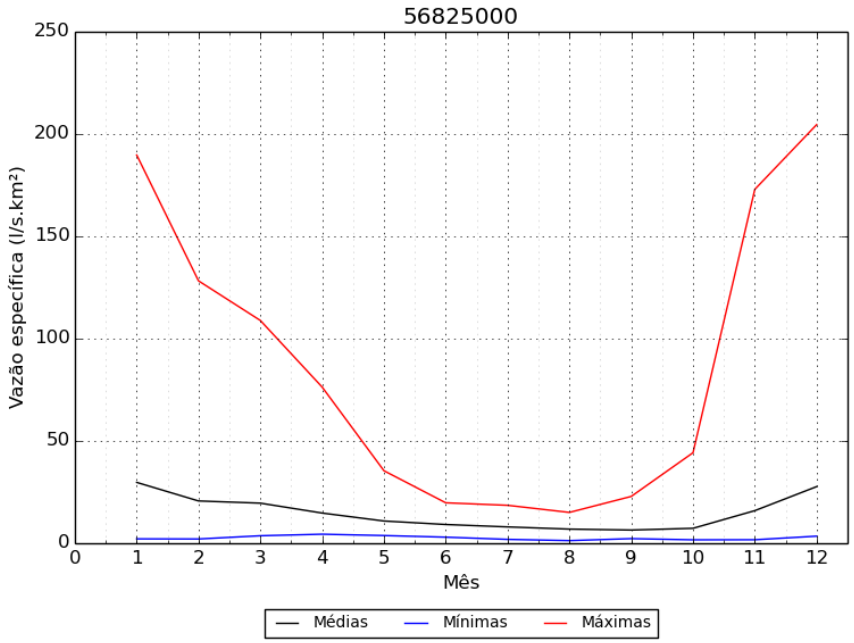


Figura 534 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56845000.

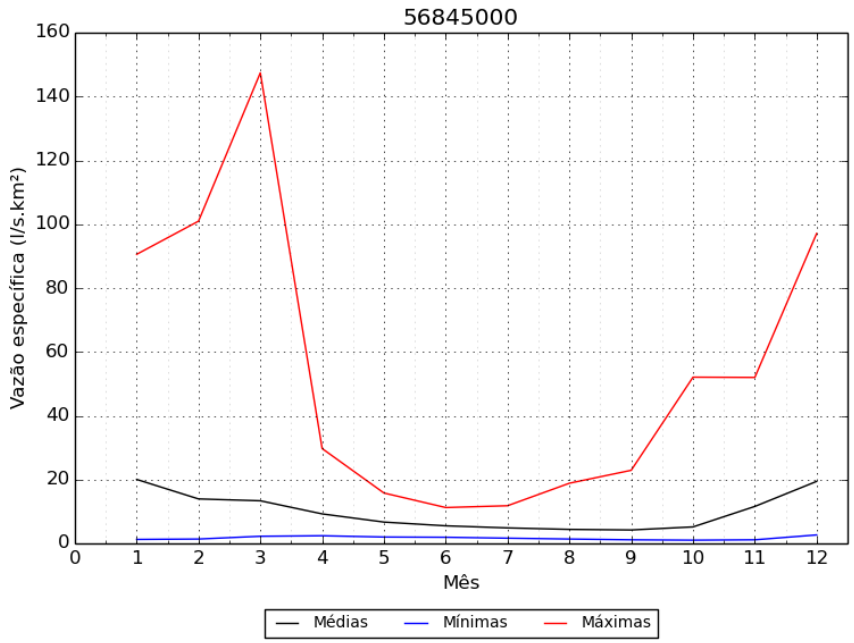


Figura 535 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56846000.

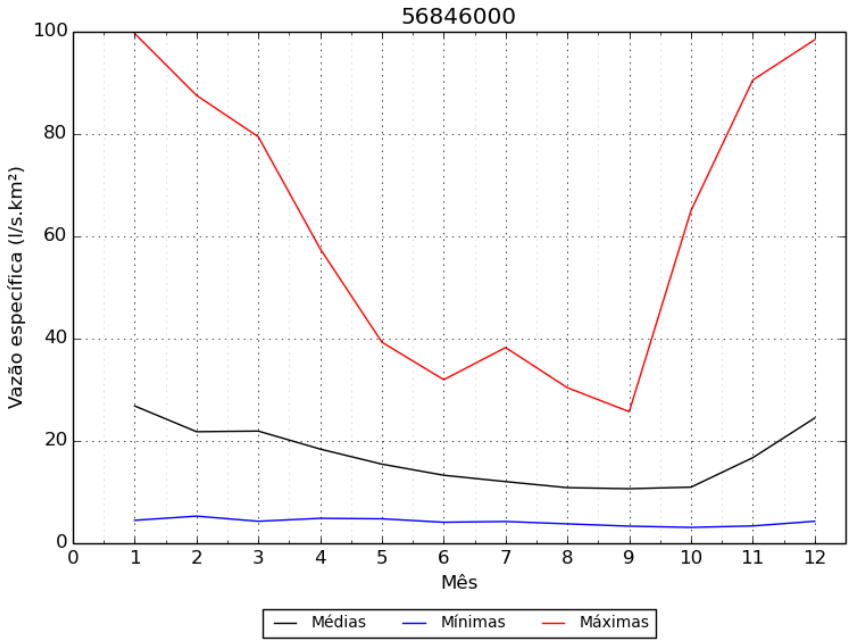


Figura 536 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56850000.

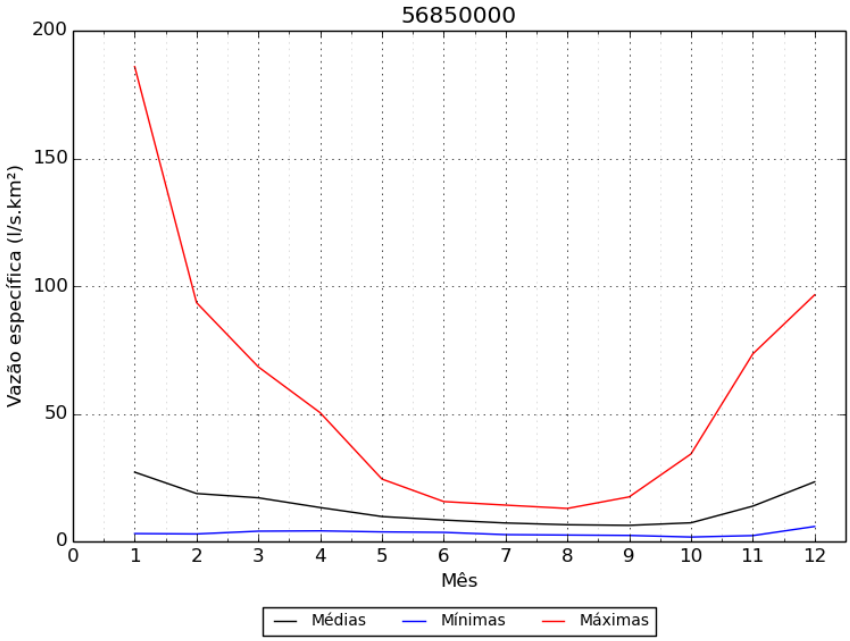


Figura 537 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56851000.

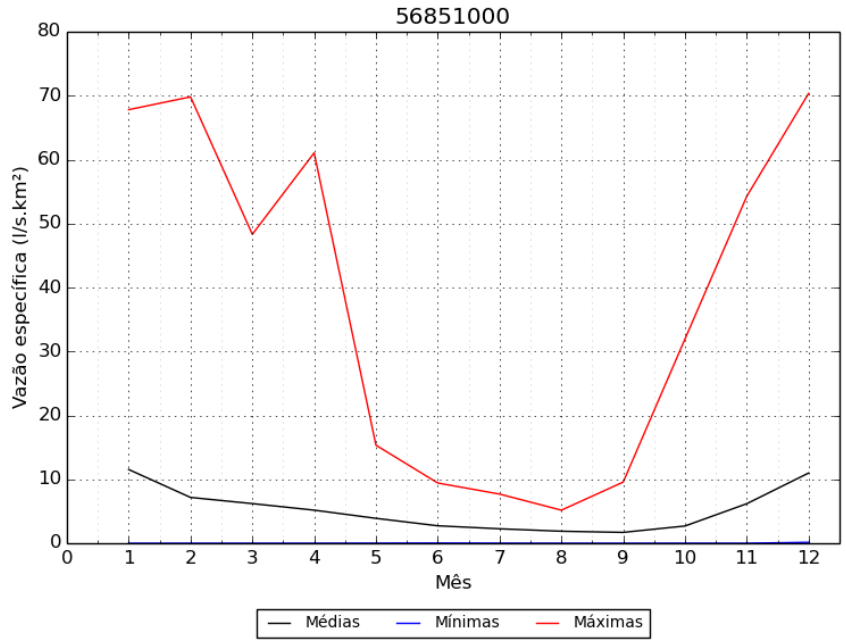


Figura 538 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56860000.

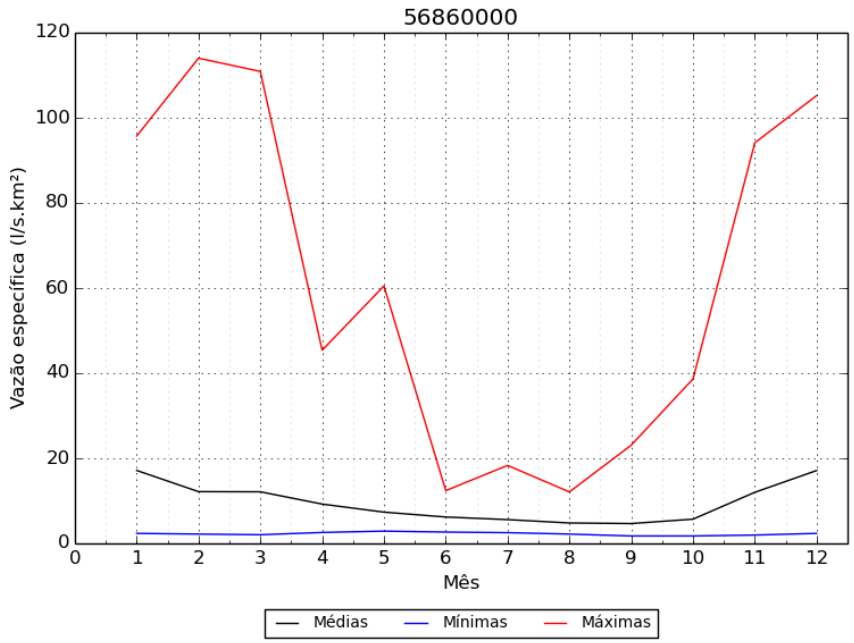


Figura 539 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56870000.

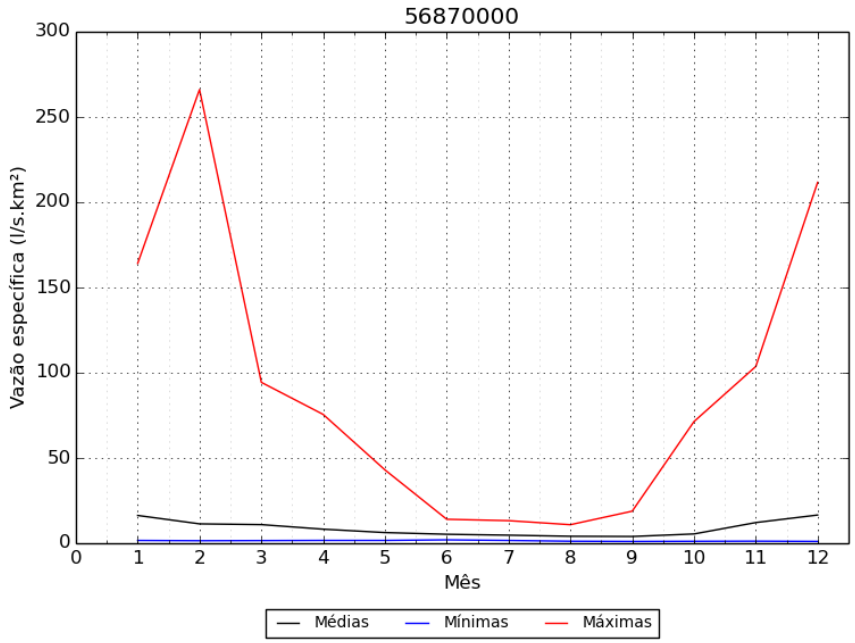


Figura 540 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56891900.

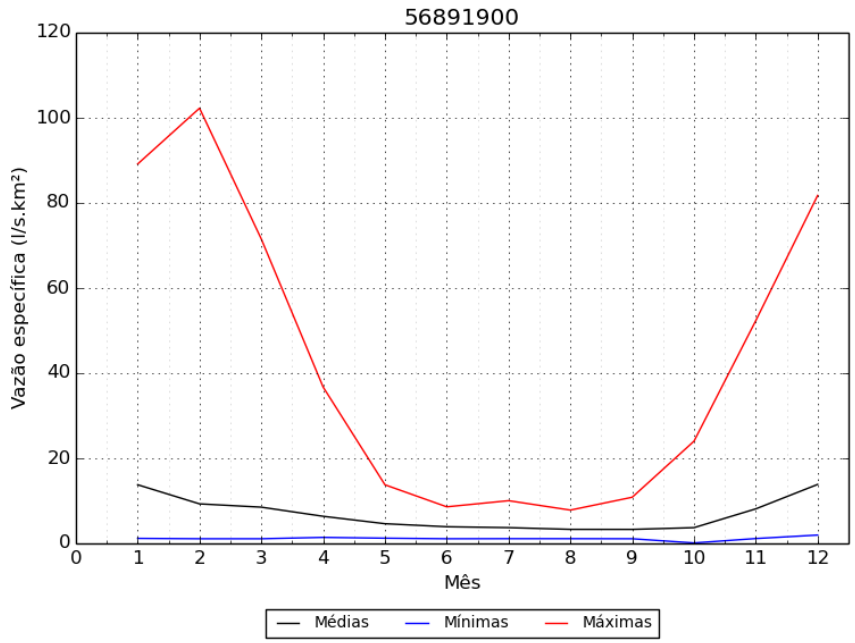


Figura 541 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56920000.

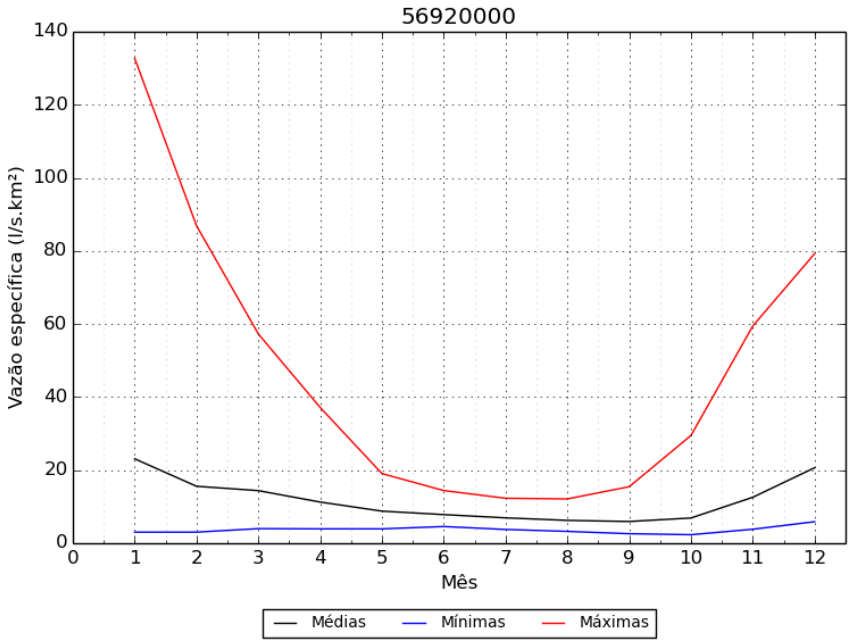


Figura 542 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56935000.

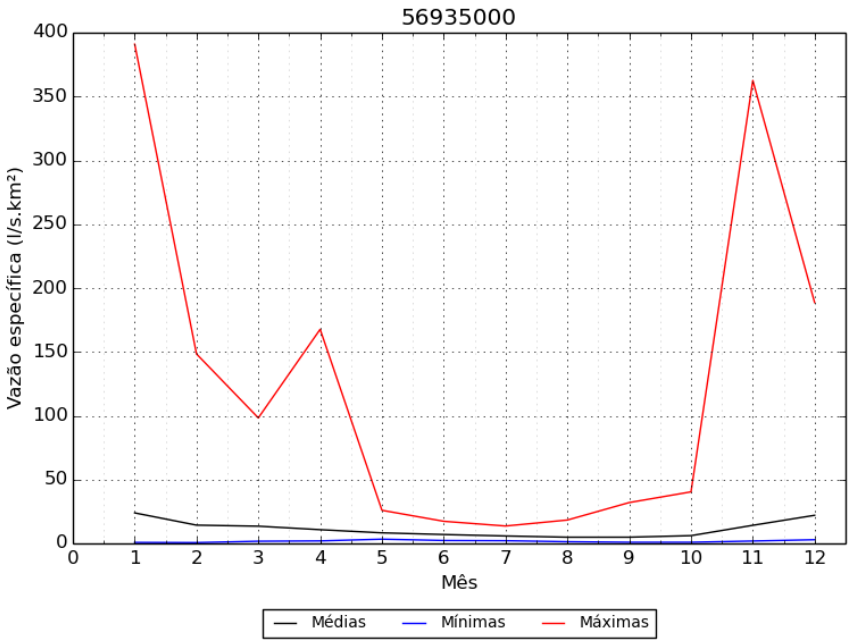


Figura 543 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56940002.

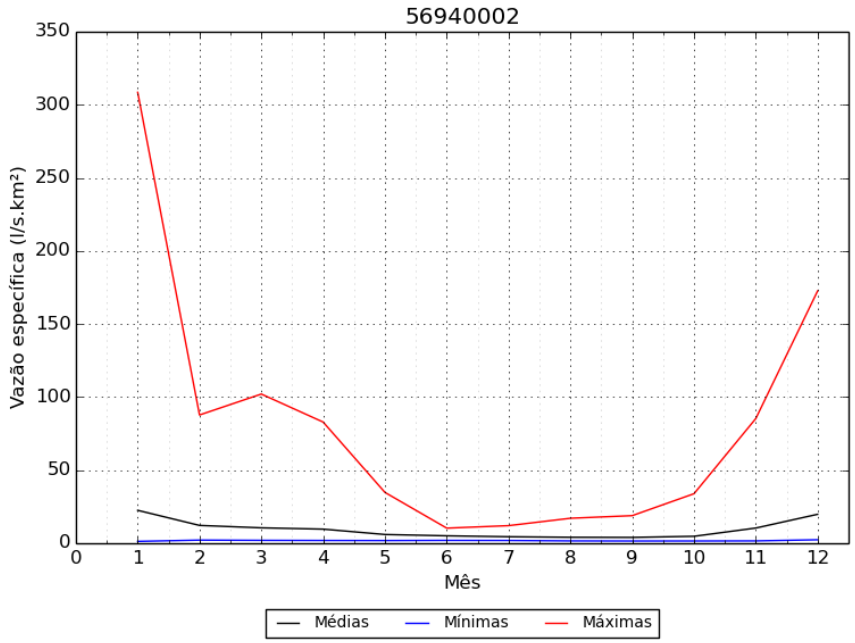


Figura 544 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56960005.

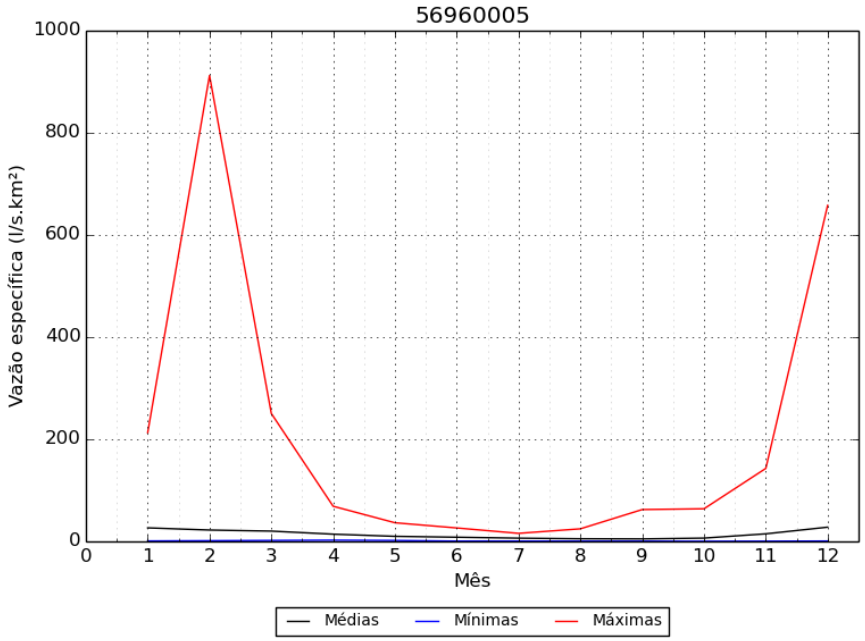


Figura 545 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56976000.

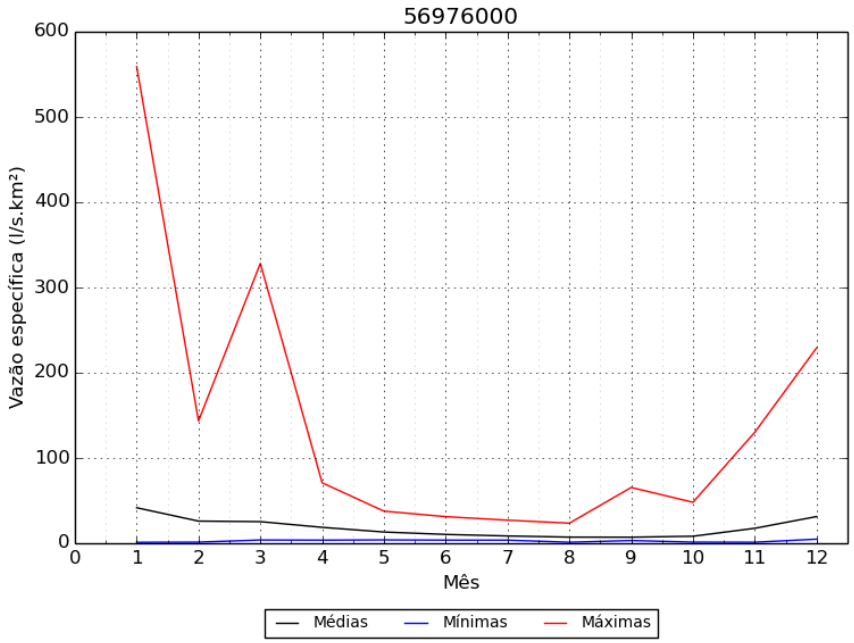


Figura 546 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56978000.

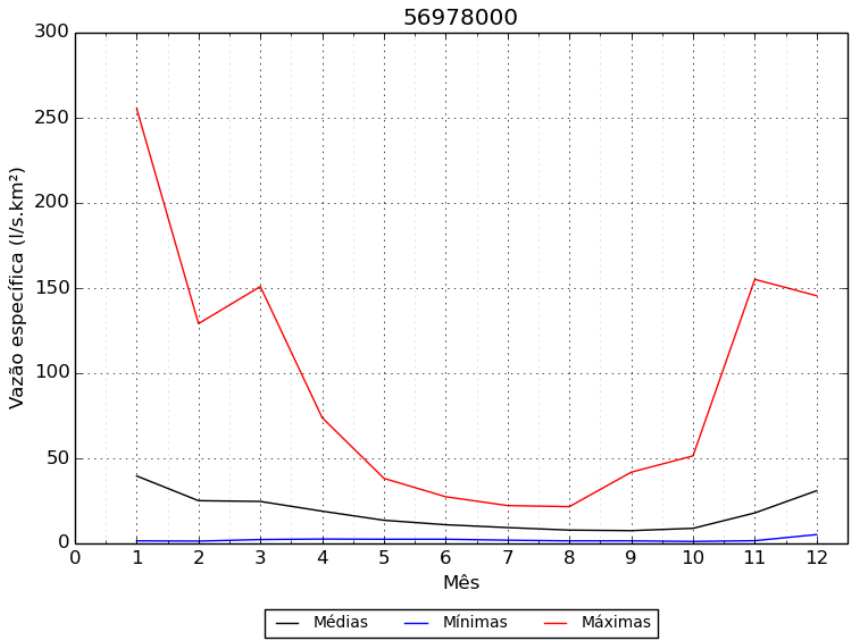


Figura 547 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56983000.

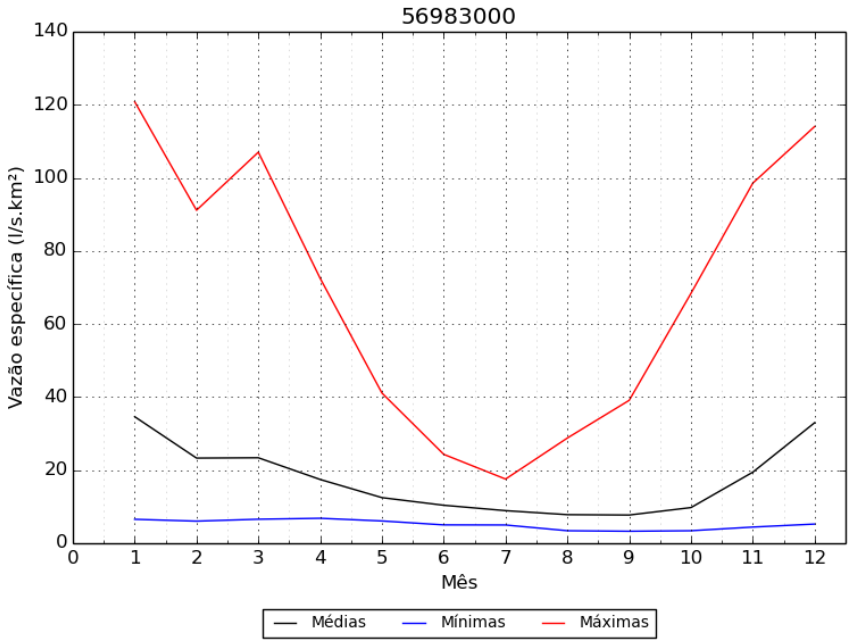


Figura 548 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56988500.

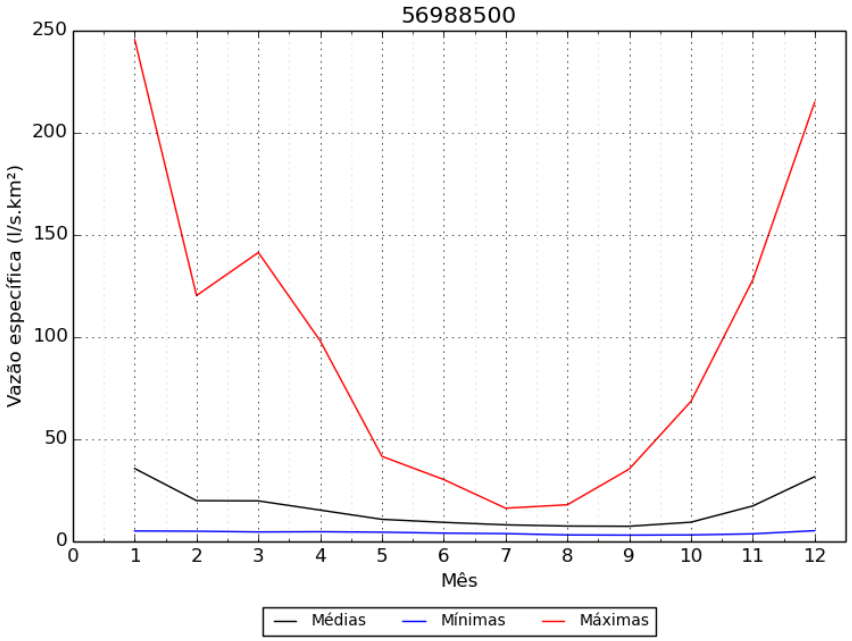


Figura 549 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56989001.

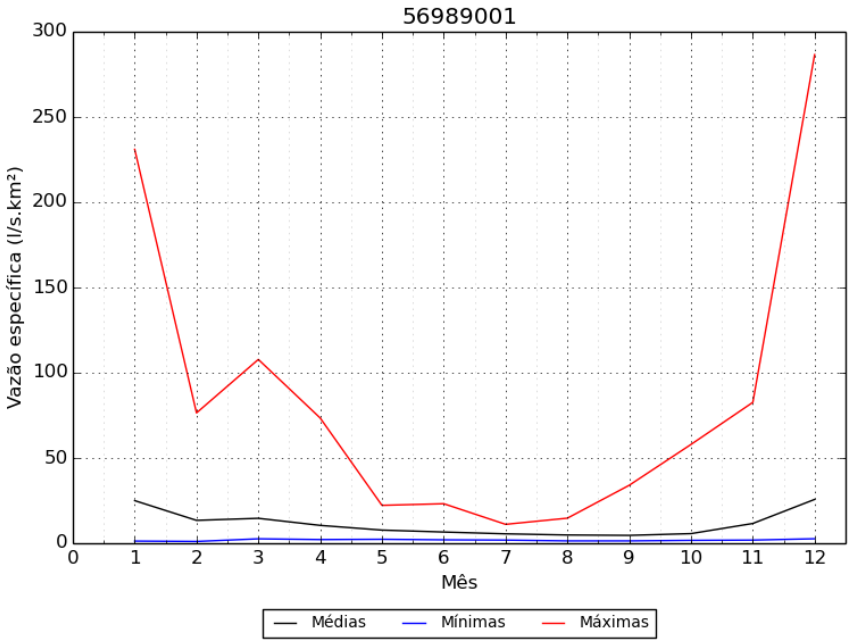


Figura 550 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56989400.

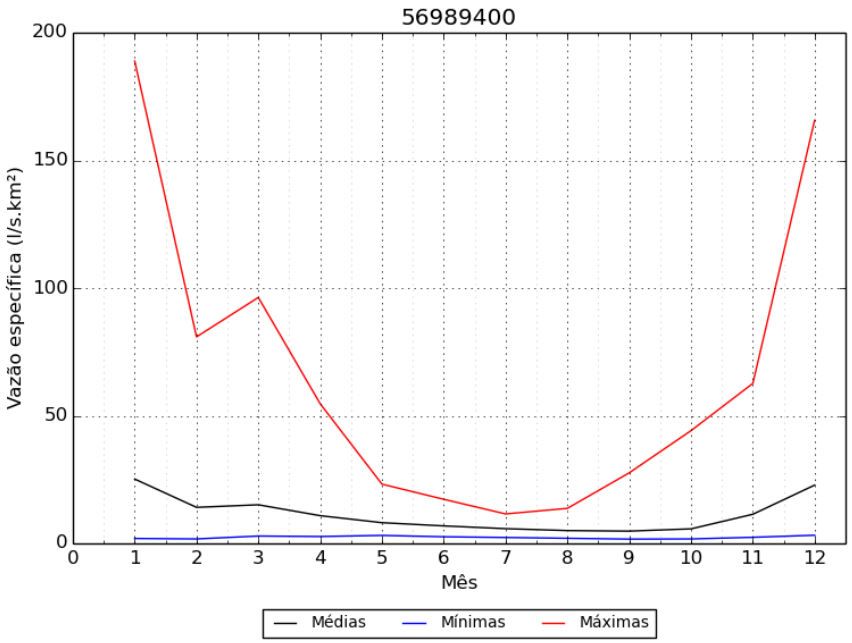


Figura 551 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56990000.

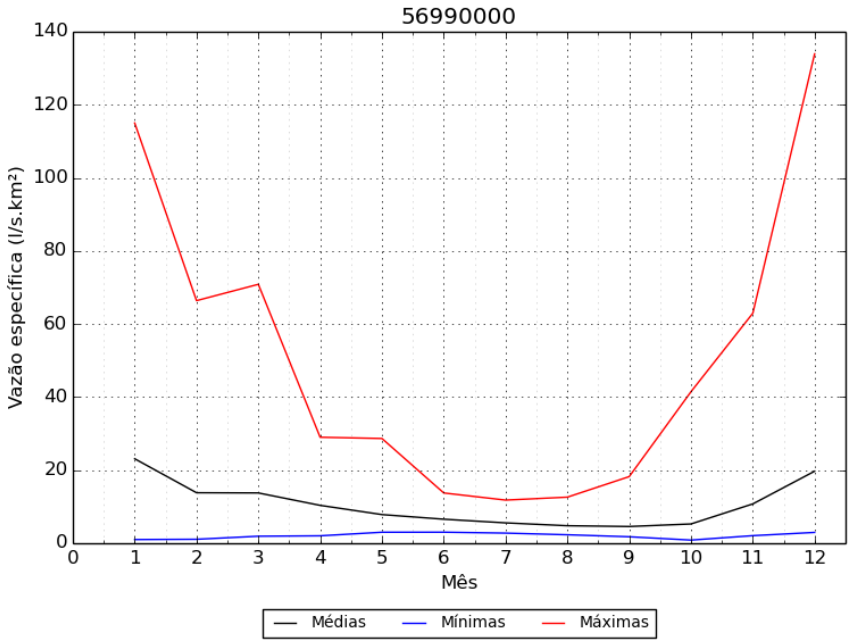


Figura 552 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56990990.

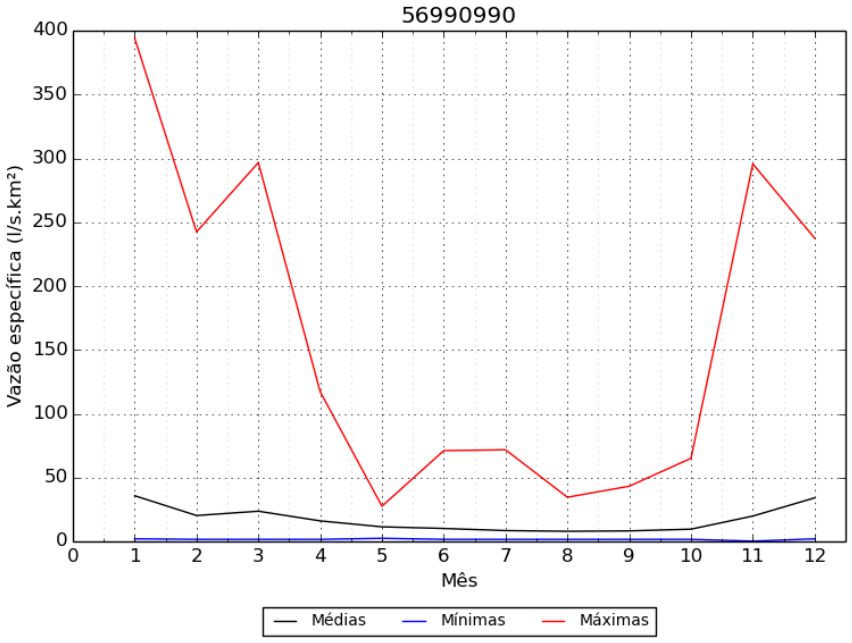


Figura 553 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56991500.

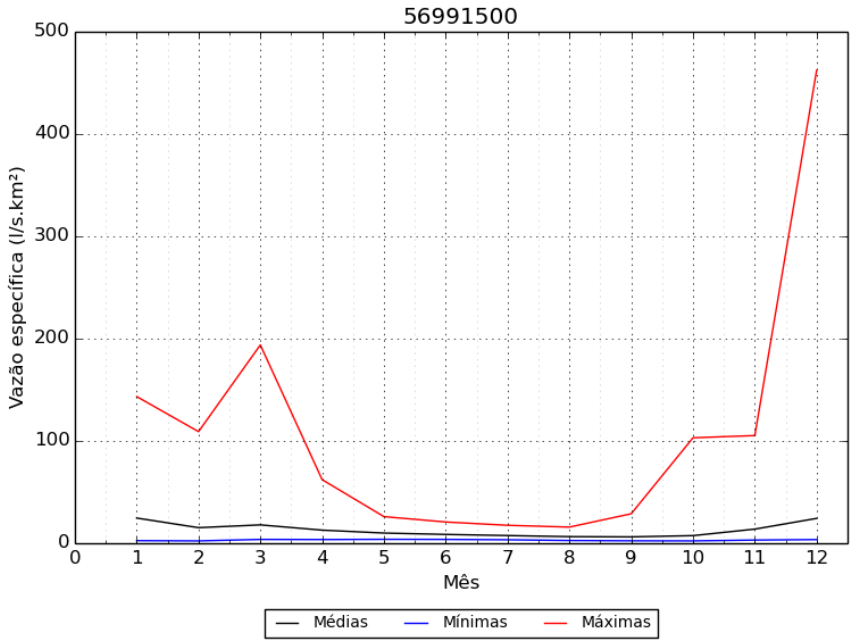


Figura 554 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56992000.

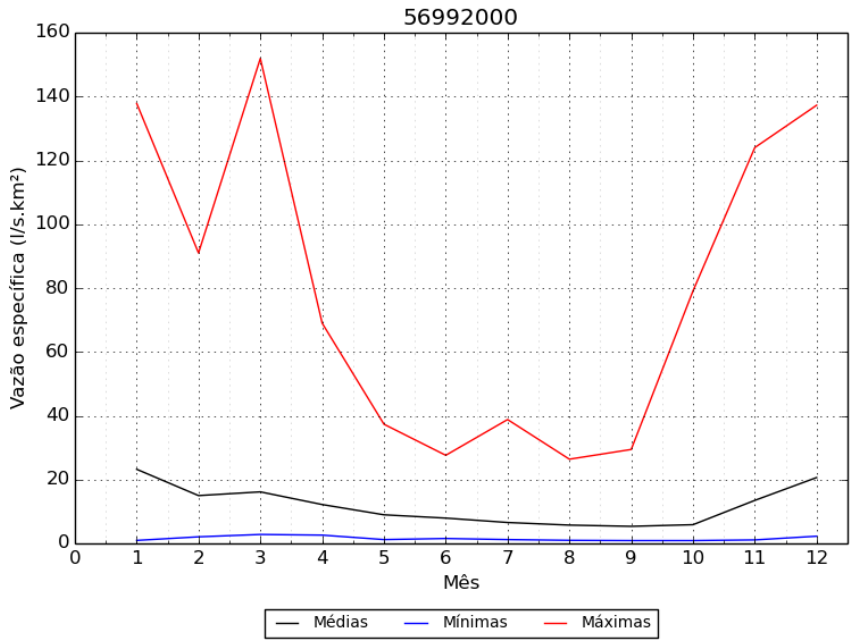


Figura 555 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56993551.

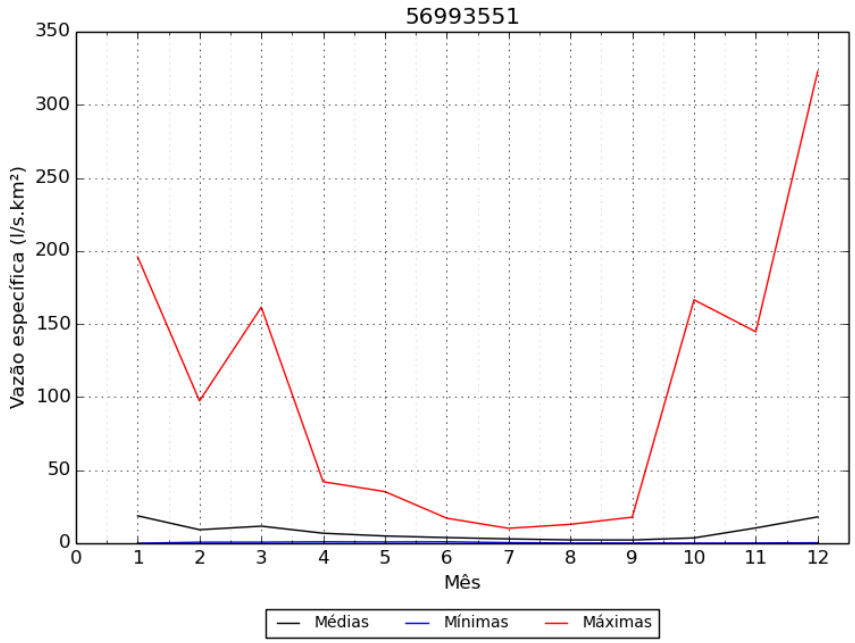


Figura 556 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56994500.

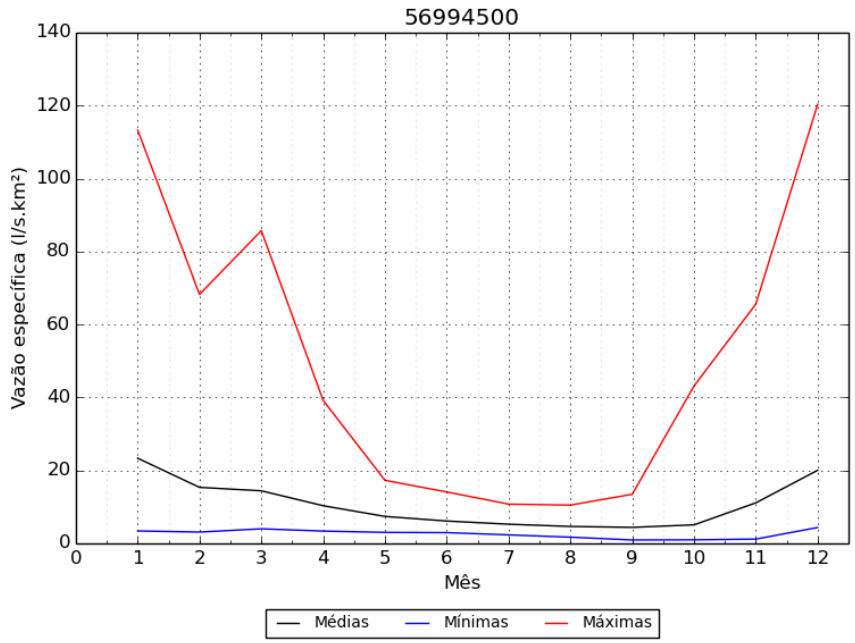


Figura 557 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56994510.

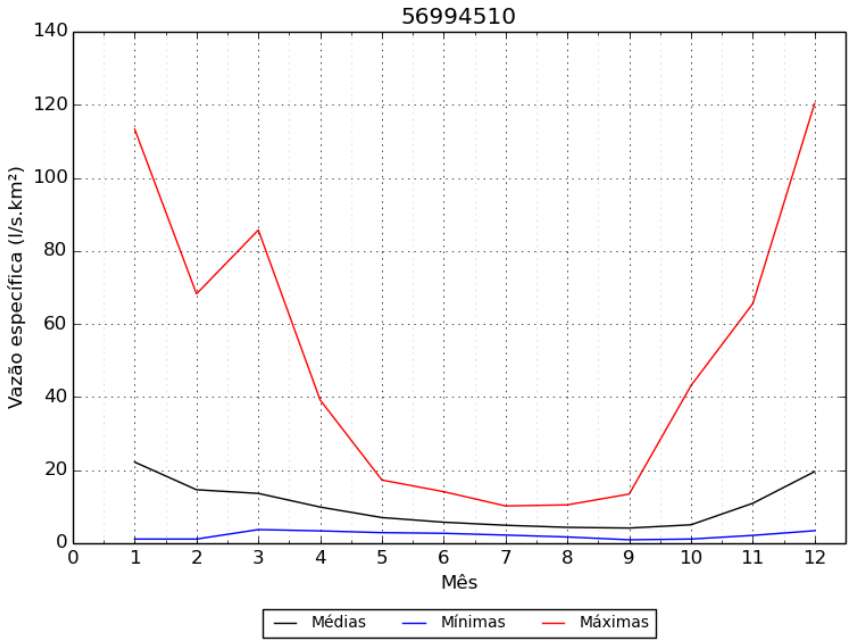


Figura 558 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56995500.

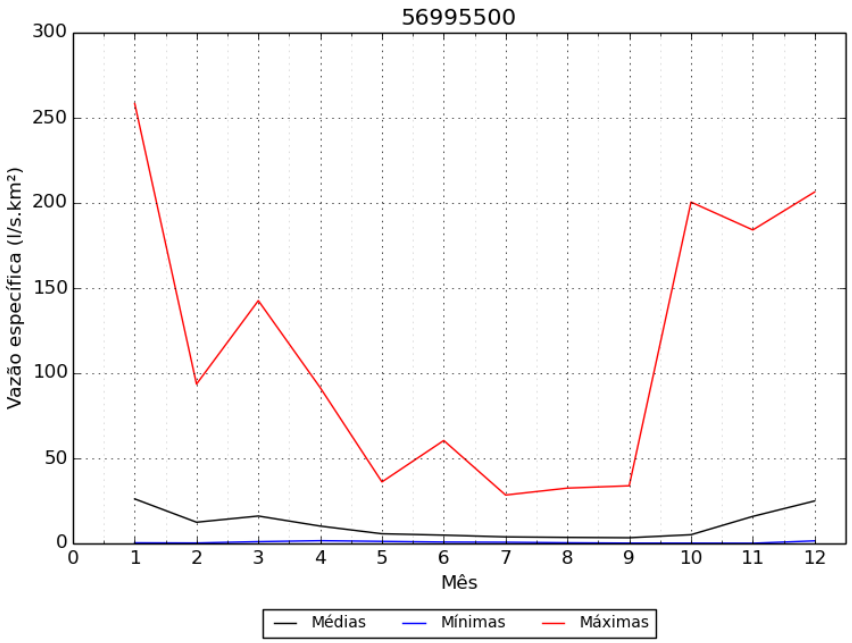


Figura 559 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56998400.

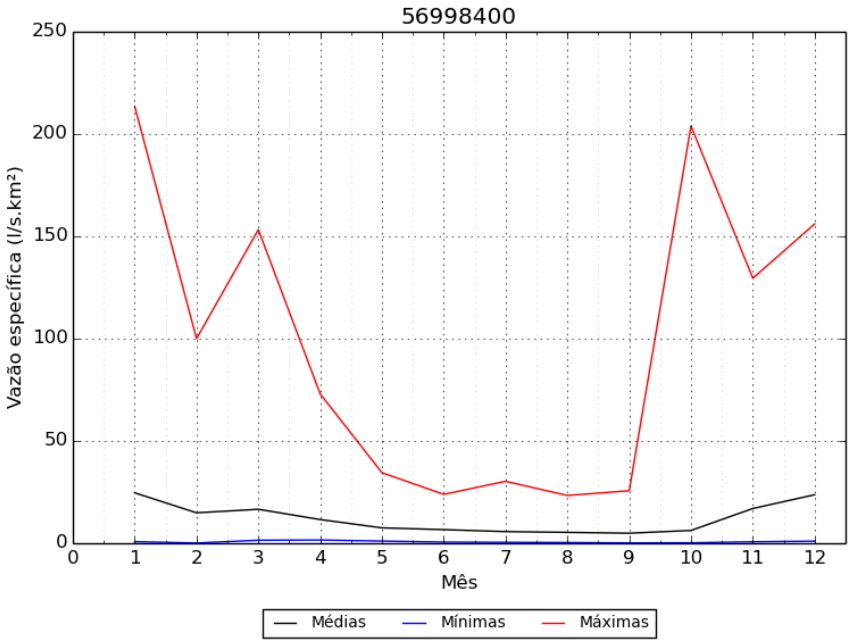


Figura 560 – Curva de permanência para a estação 56028000.

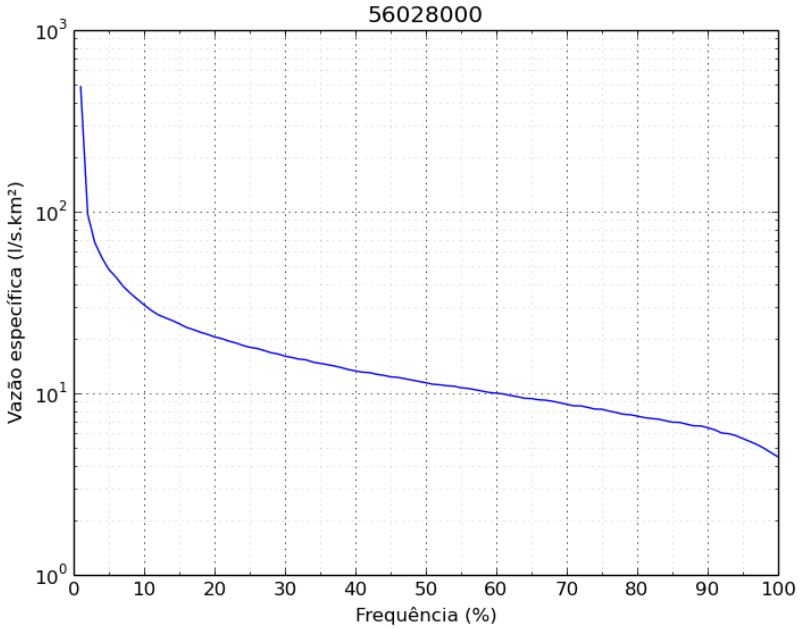


Figura 561 – Curva de permanência para a estação 56055000.

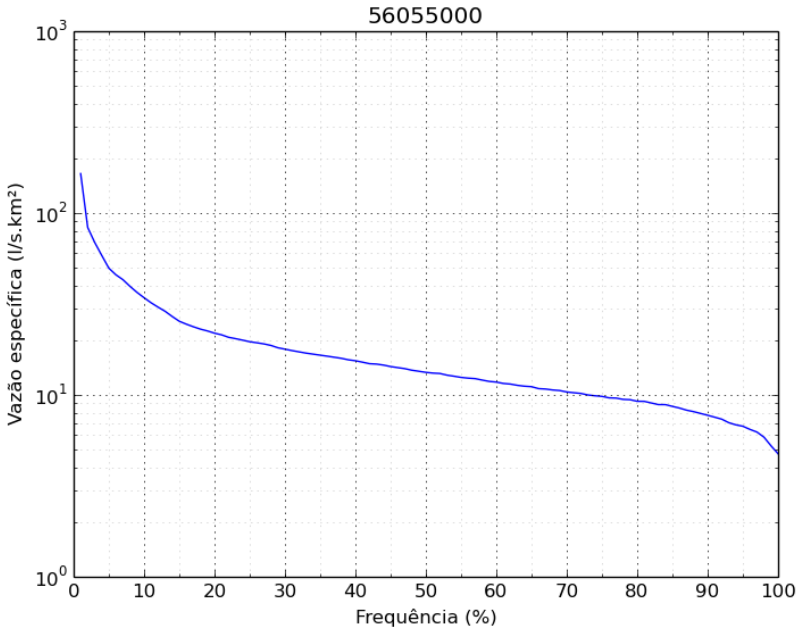


Figura 562 – Curva de permanência para a estação 56065000.

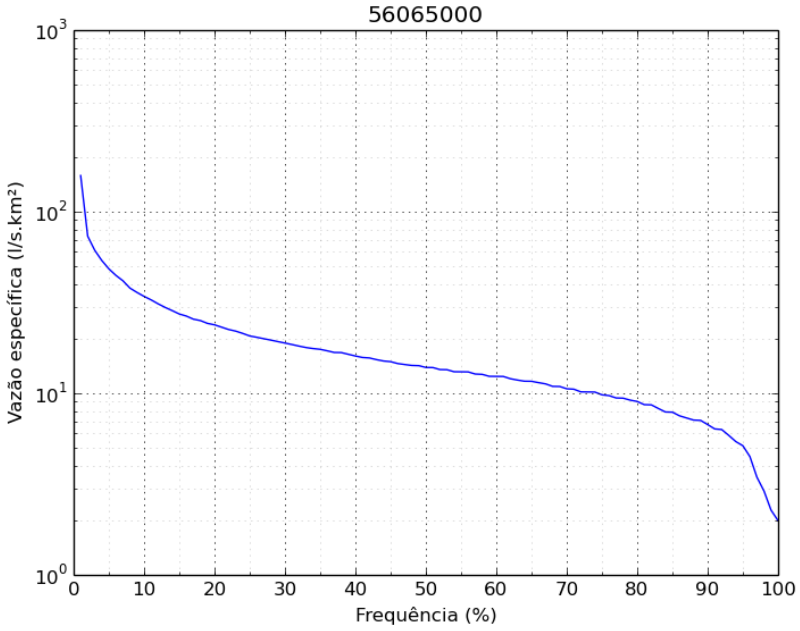


Figura 563 – Curva de permanência para a estação 56075000.

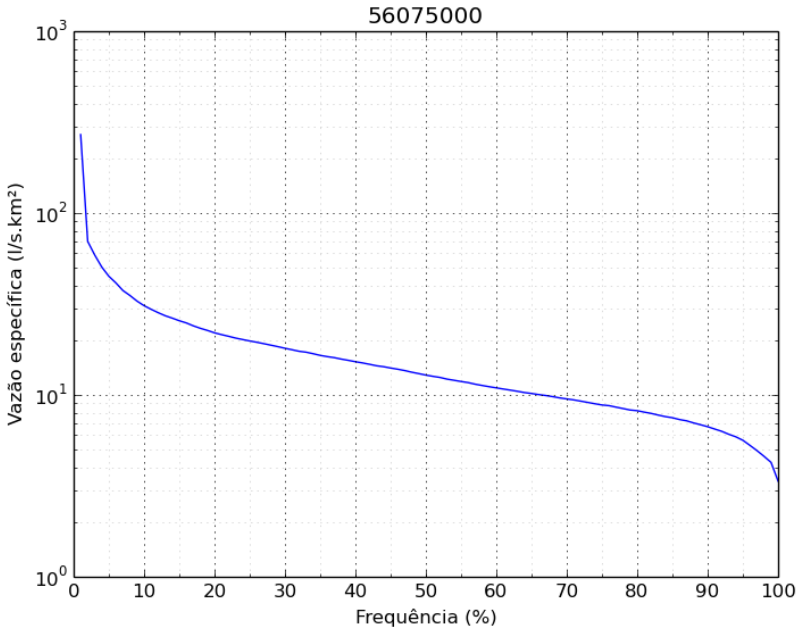


Figura 564 – Curva de permanência para a estação 56085000.

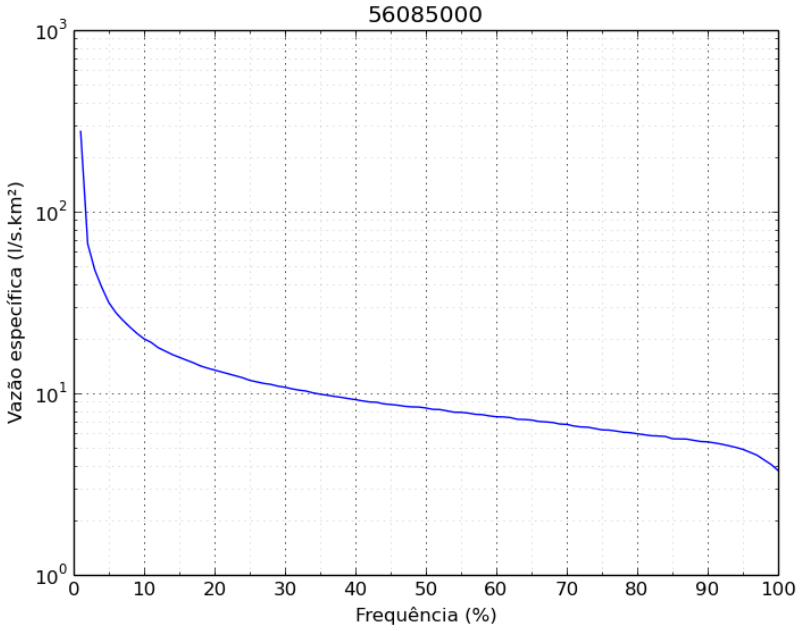


Figura 565 – Curva de permanência para a estação 56090000.

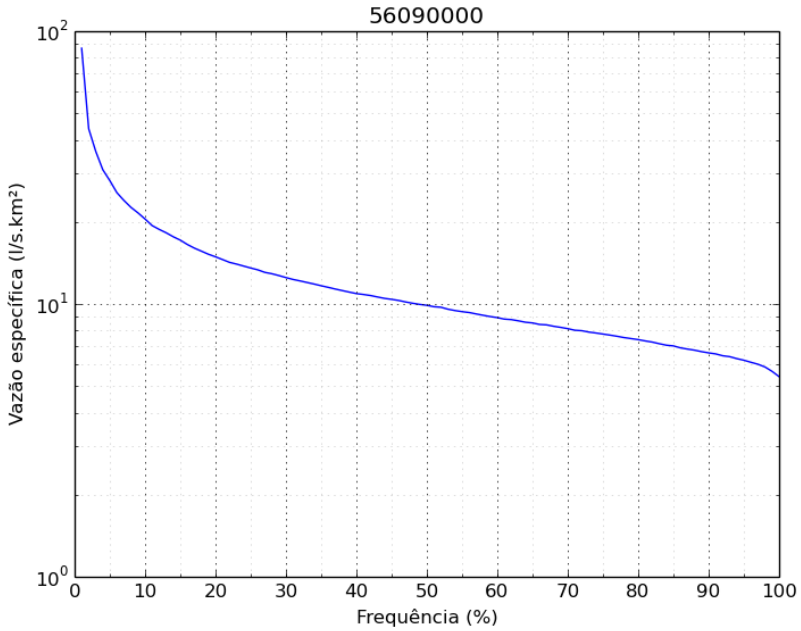


Figura 566 – Curva de permanência para a estação 56110005.

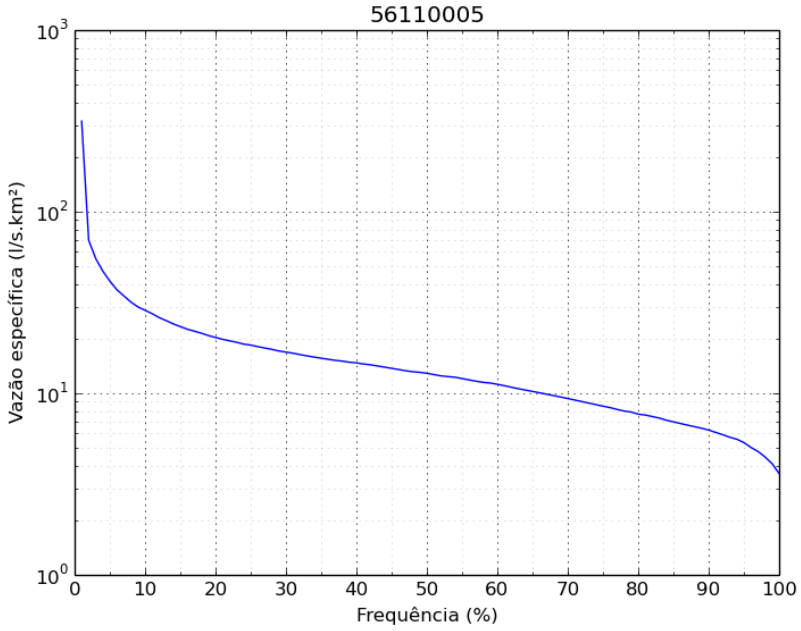


Figura 567 – Curva de permanência para a estação 56145000.

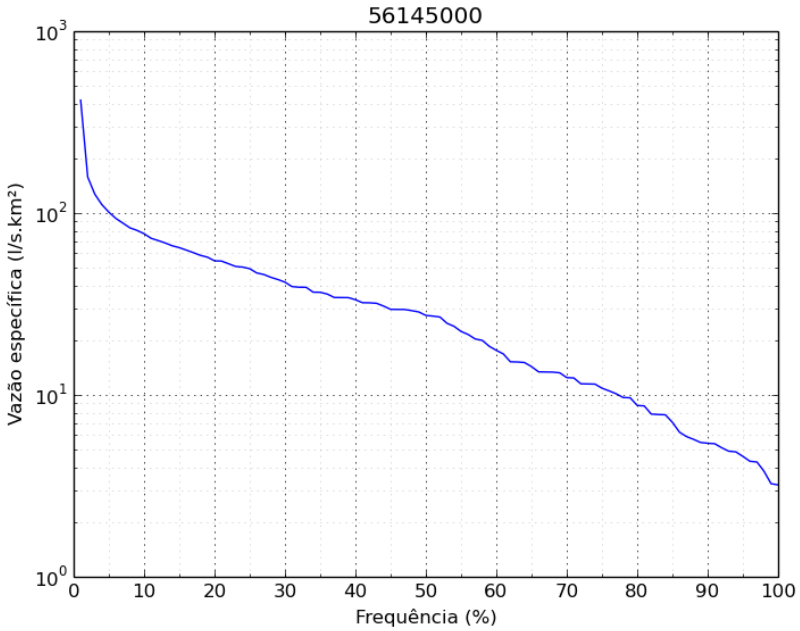


Figura 568 – Curva de permanência para a estação 56240000.

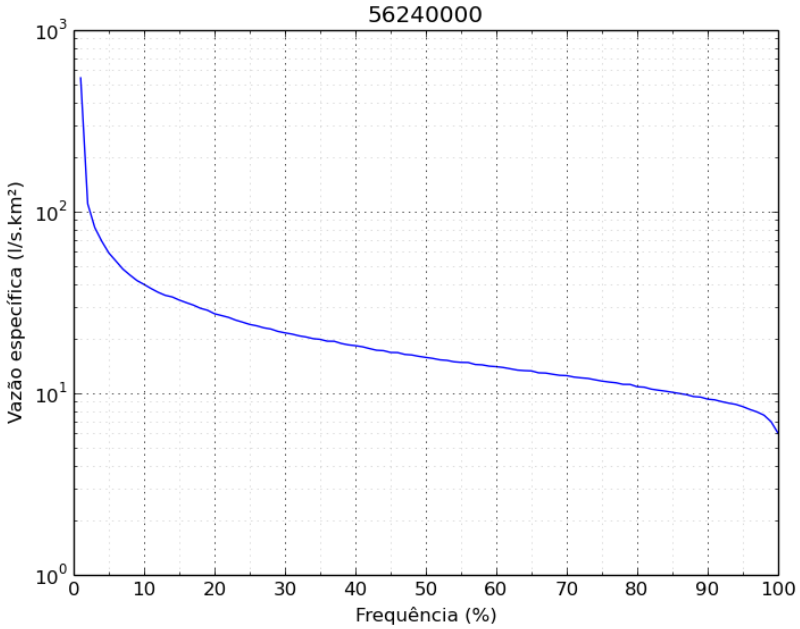


Figura 569 – Curva de permanência para a estação 56335001.

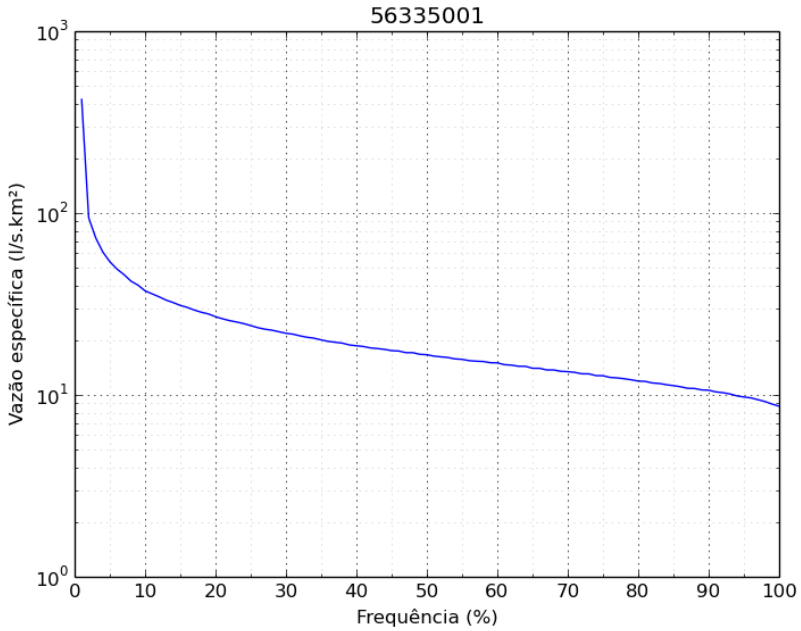


Figura 570 – Curva de permanência para a estação 56337000.

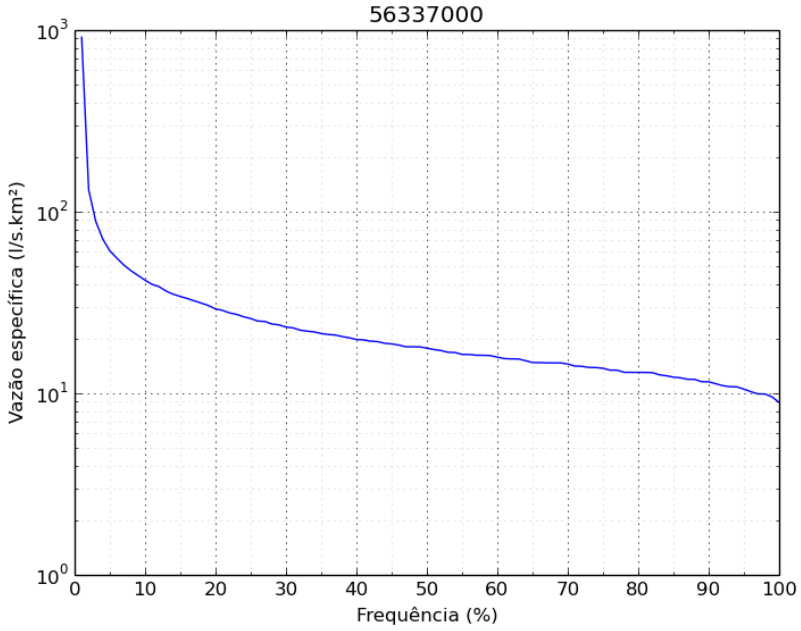


Figura 571 – Curva de permanência para a estação 56385000.

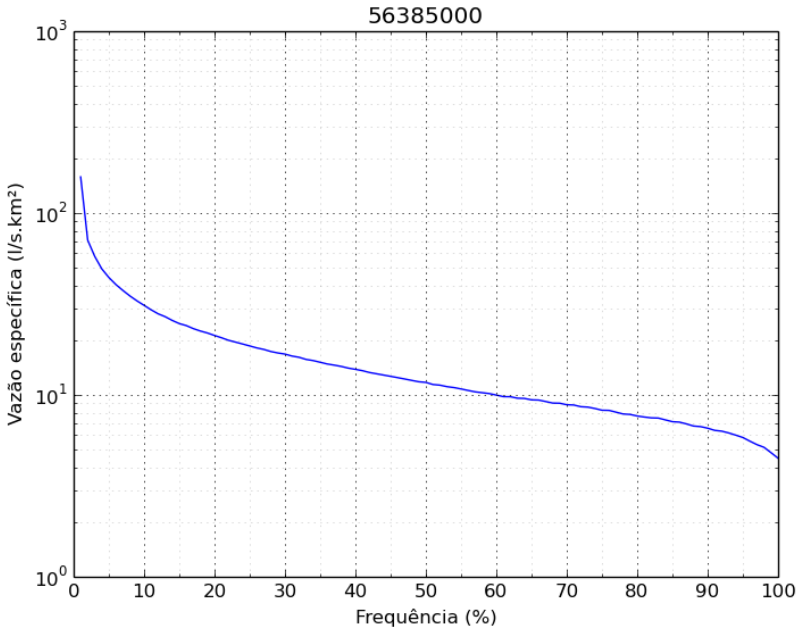


Figura 572 – Curva de permanência para a estação 56415000.

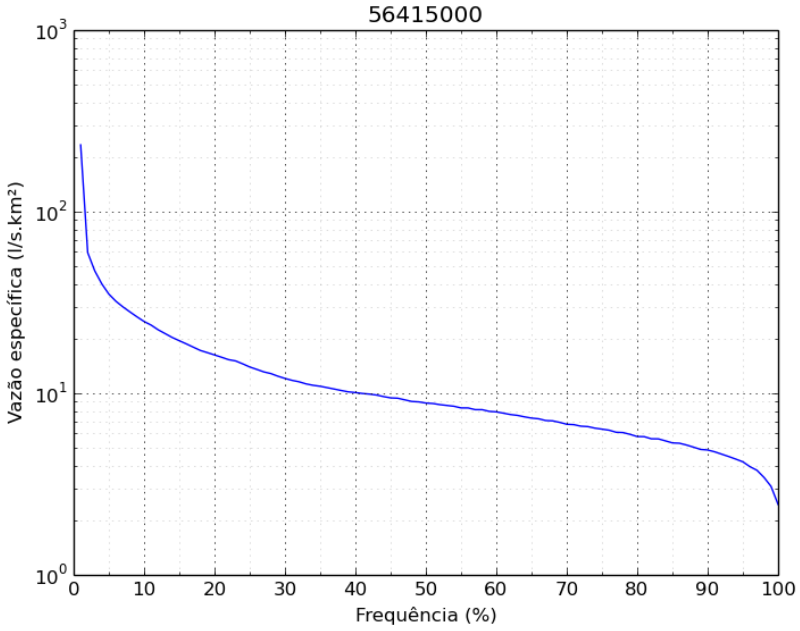


Figura 573 – Curva de permanência para a estação 56425000.

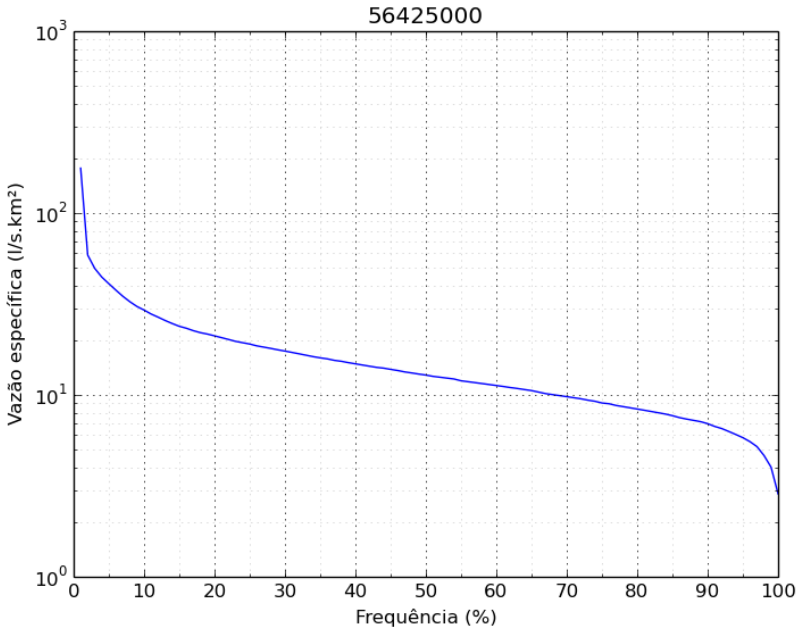


Figura 574 – Curva de permanência para a estação 56460000.

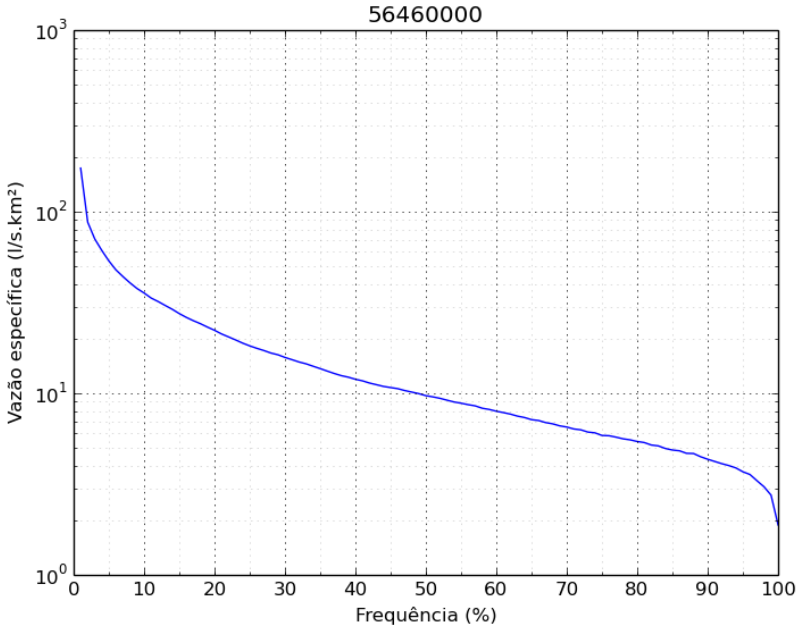


Figura 575 – Curva de permanência para a estação 56484998.

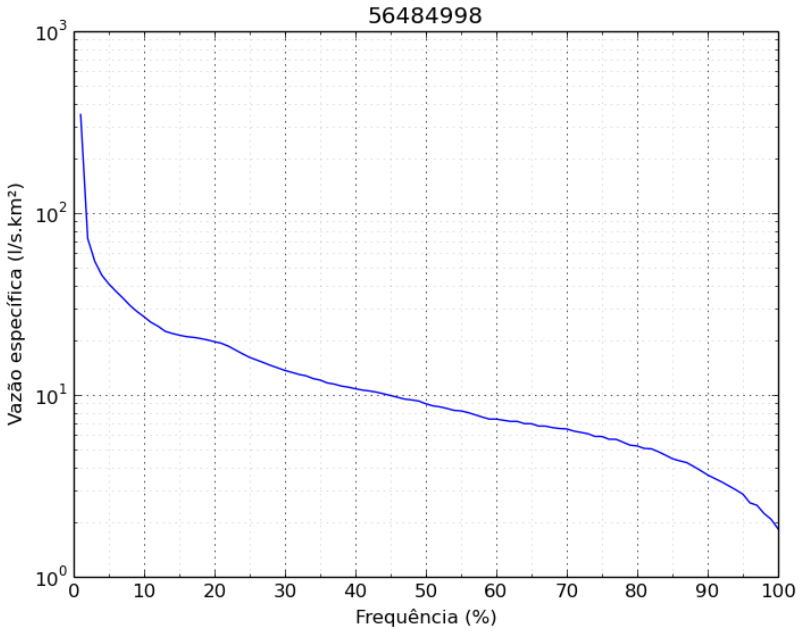


Figura 576 – Curva de permanência para a estação 56500000.

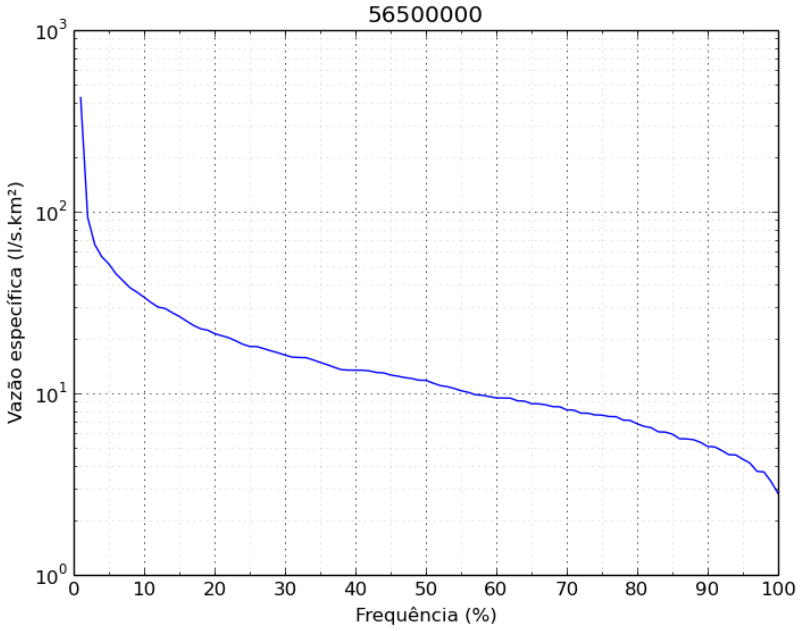


Figura 577 – Curva de permanência para a estação 56510000.

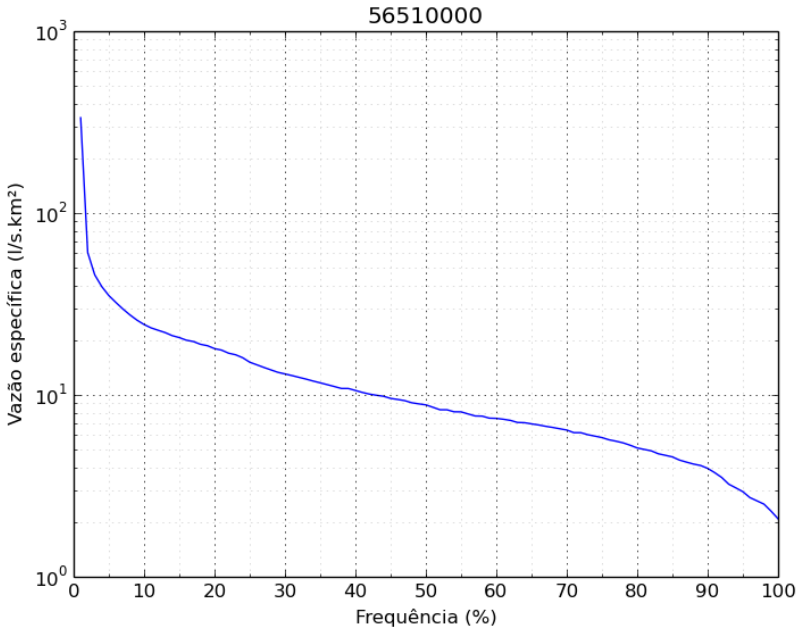


Figura 578 – Curva de permanência para a estação 56539000.

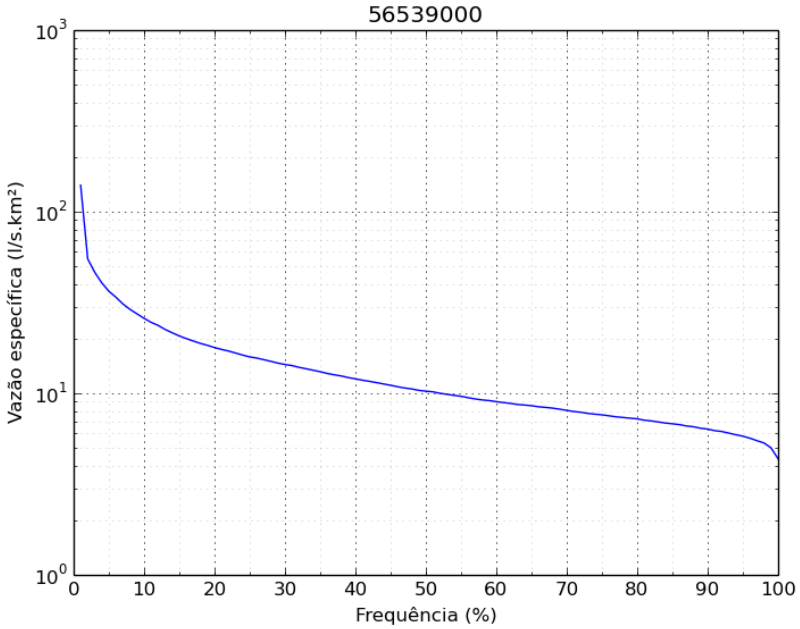


Figura 579 – Curva de permanência para a estação 56570000.

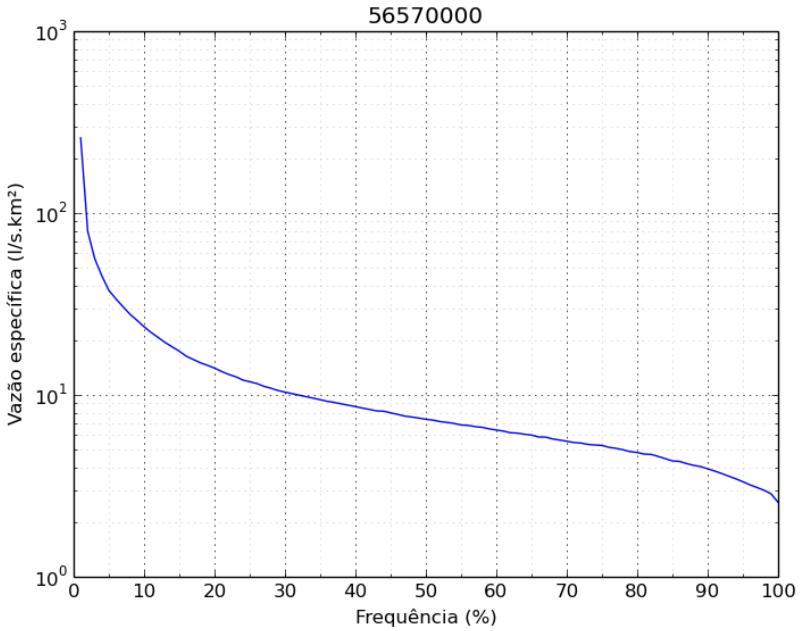


Figura 580 – Curva de permanência para a estação 56610000.

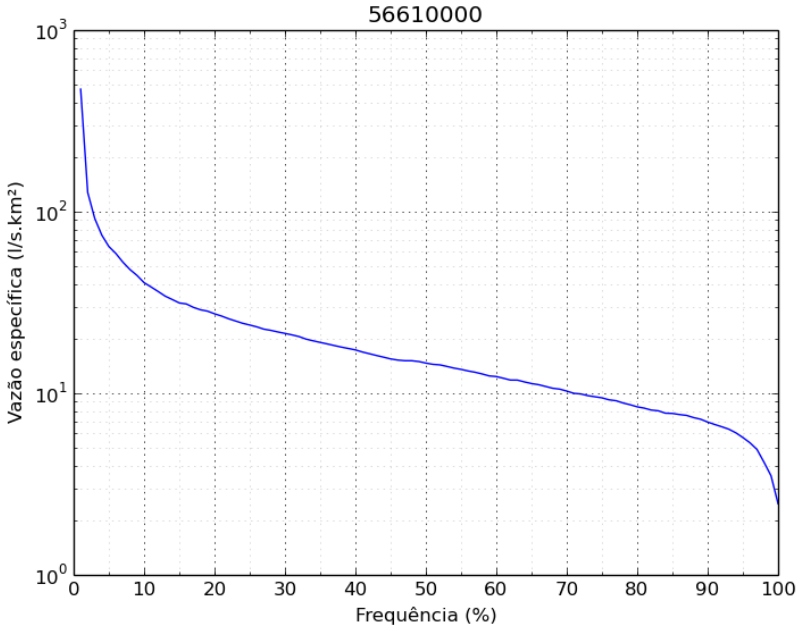


Figura 581 – Curva de permanência para a estação 56640000.

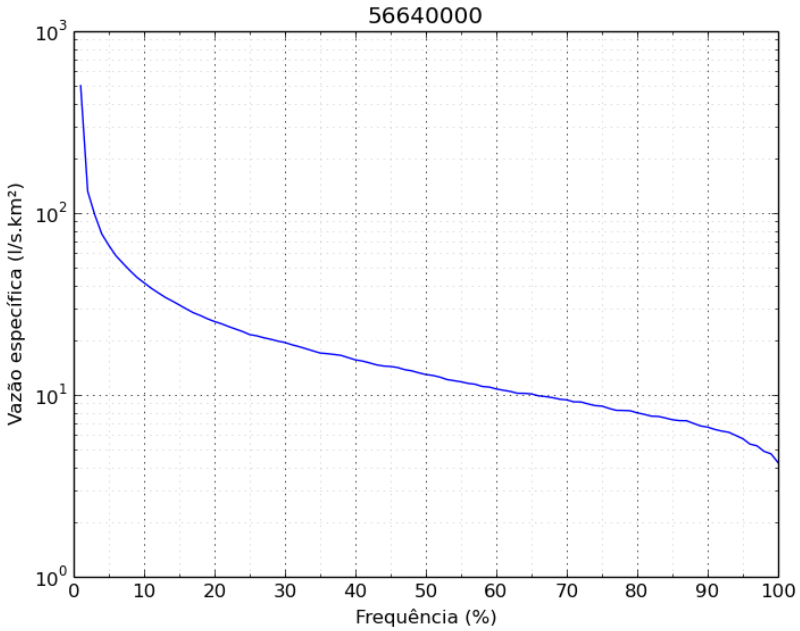


Figura 582 – Curva de permanência para a estação 56659998.

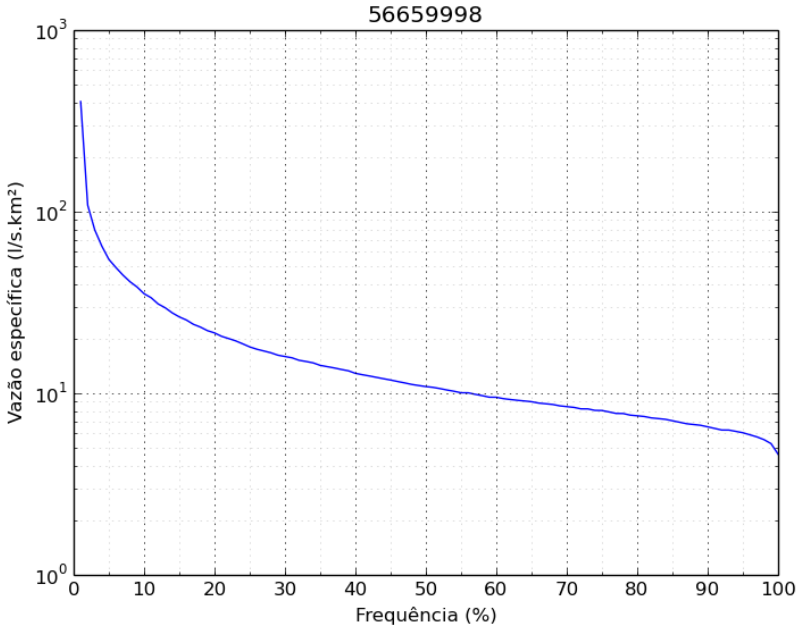


Figura 583 – Curva de permanência para a estação 56696000.

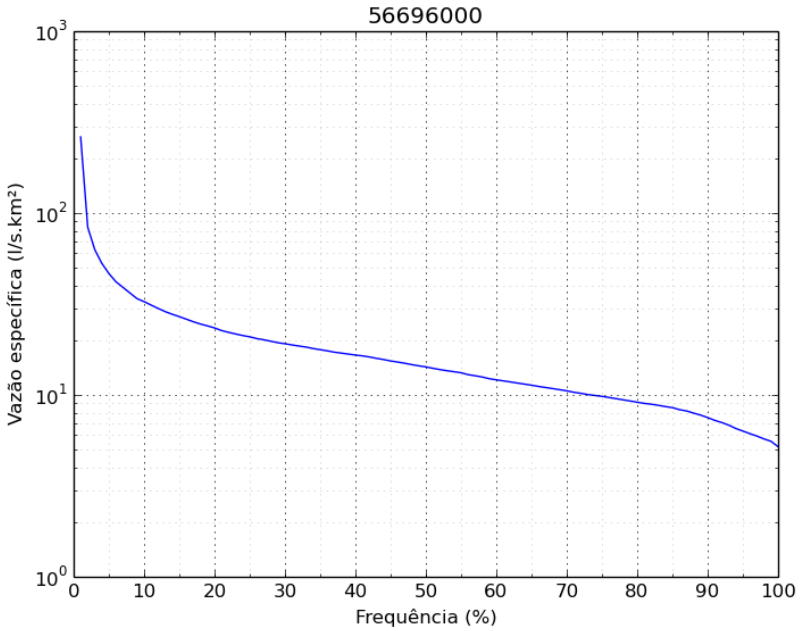


Figura 584 – Curva de permanência para a estação 56719998.

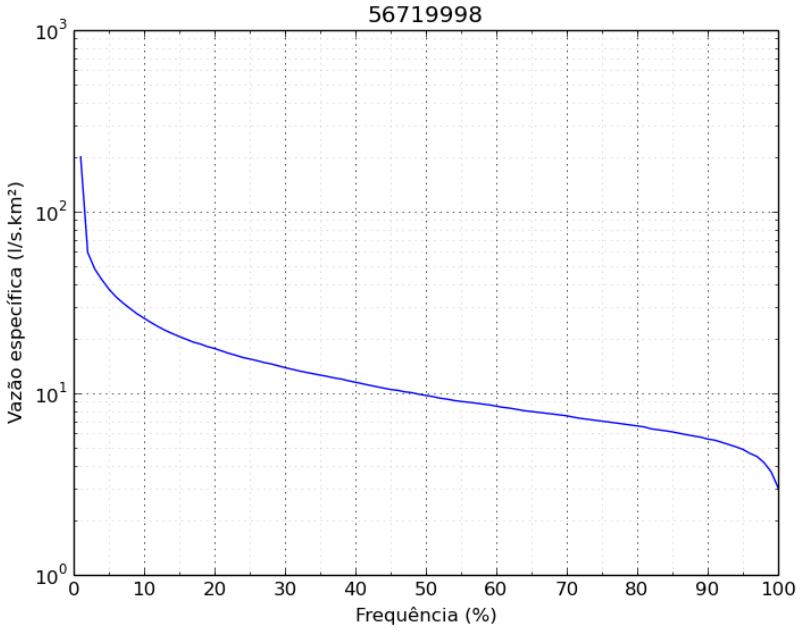


Figura 585 – Curva de permanência para a estação 56750000.

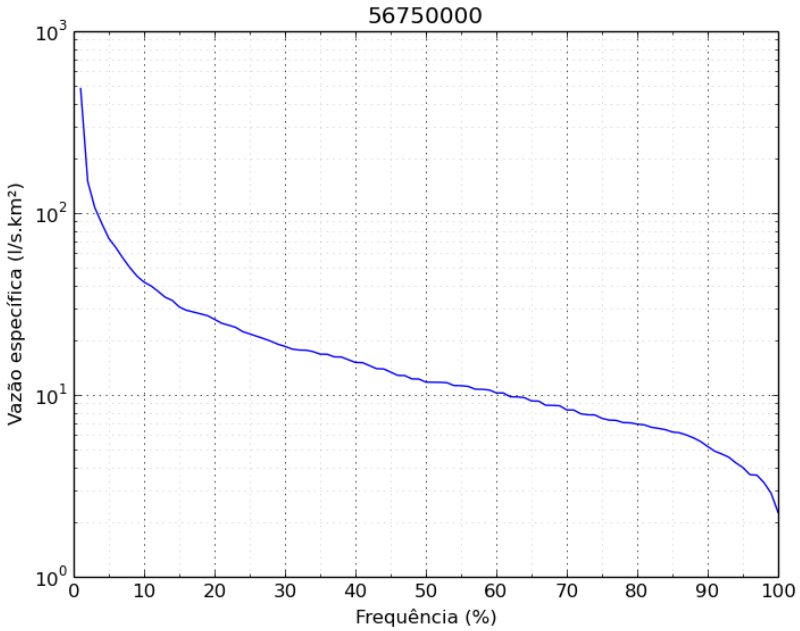


Figura 586 – Curva de permanência para a estação 56765000.

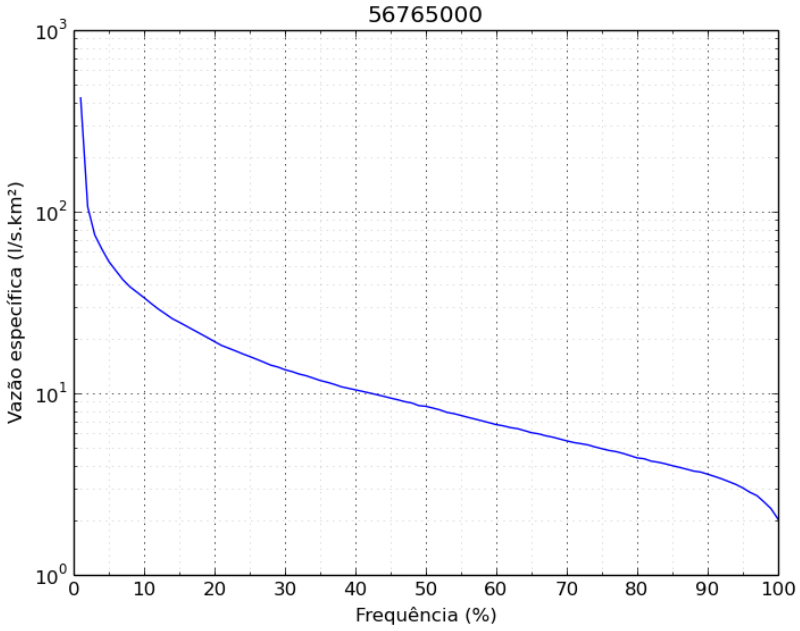


Figura 587 – Curva de permanência para a estação 56775000.

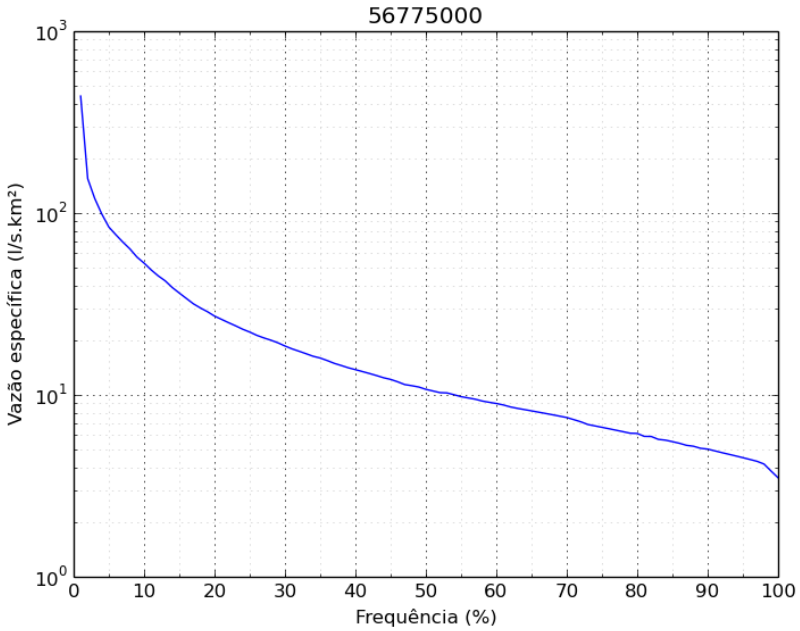


Figura 588 – Curva de permanência para a estação 56787000.

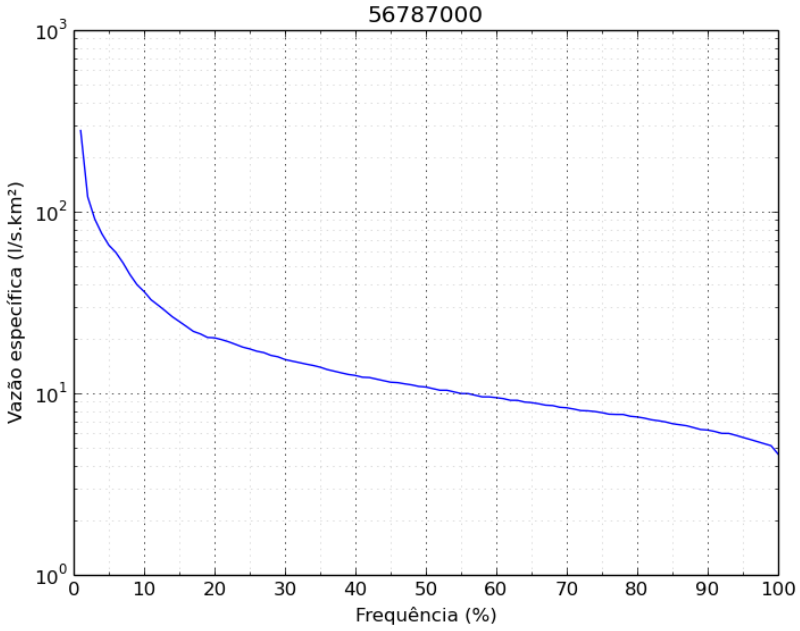


Figura 589 – Curva de permanência para a estação 56800000.

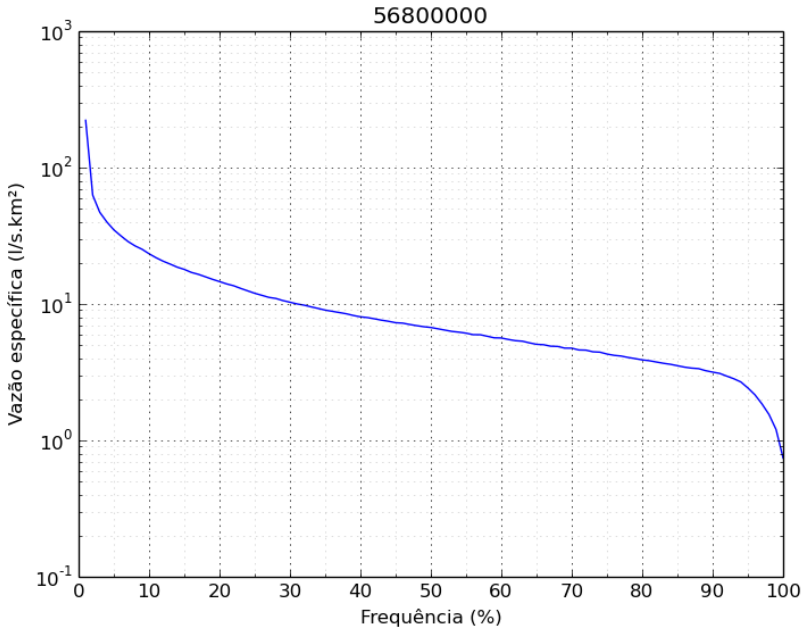


Figura 590 – Curva de permanência para a estação 56825000.

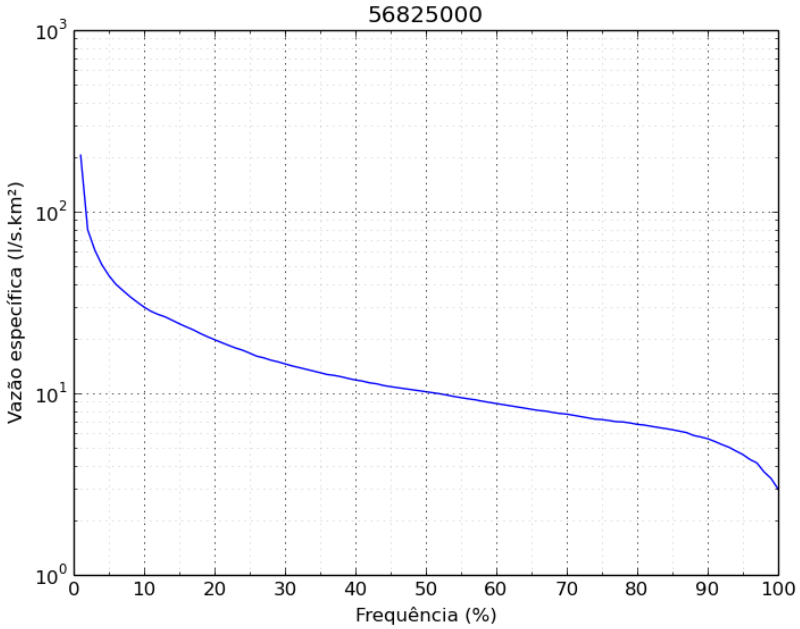


Figura 591 – Curva de permanência para a estação 56845000.

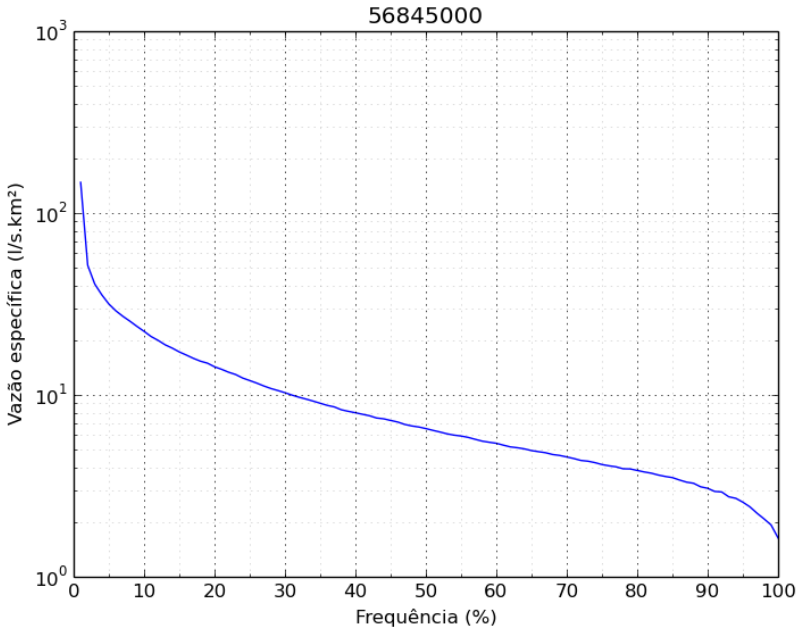


Figura 592 – Curva de permanência para a estação 56846000.

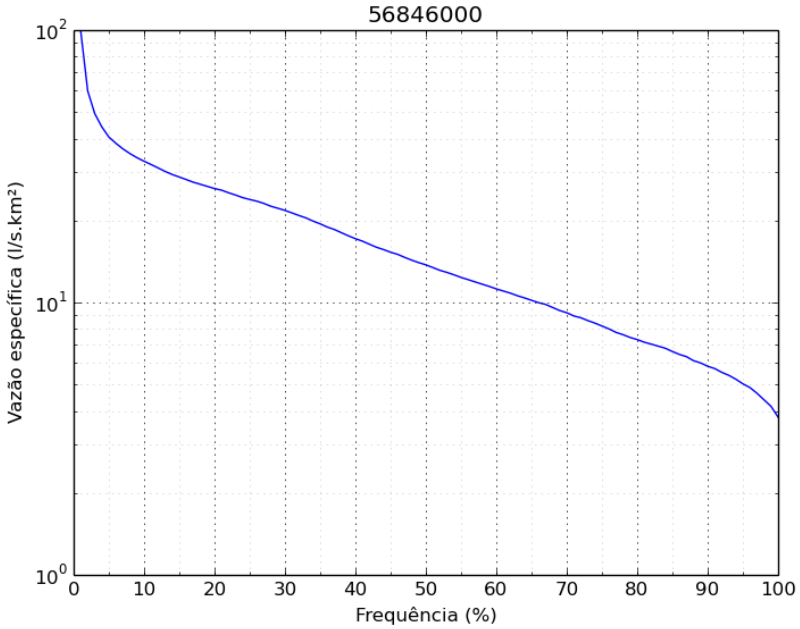


Figura 593 – Curva de permanência para a estação 56850000.

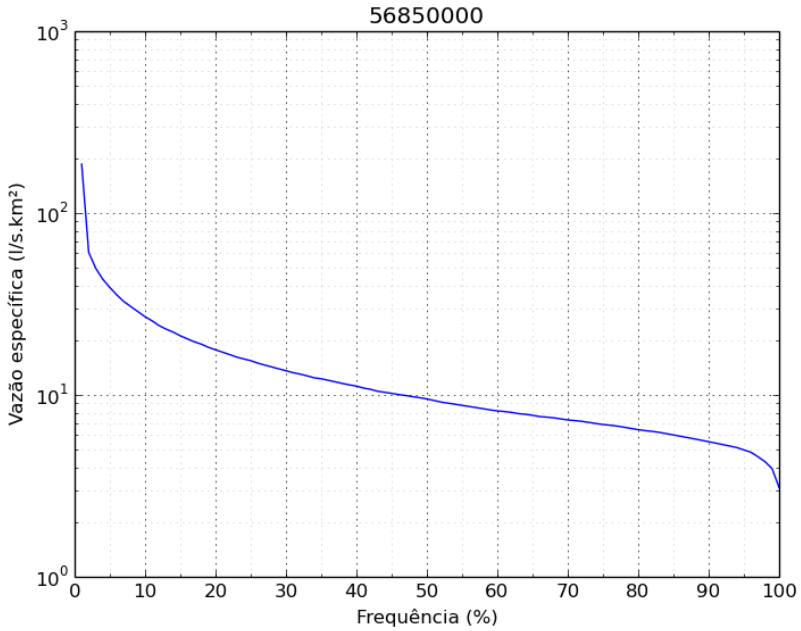


Figura 594 – Curva de permanência para a estação 56851000.

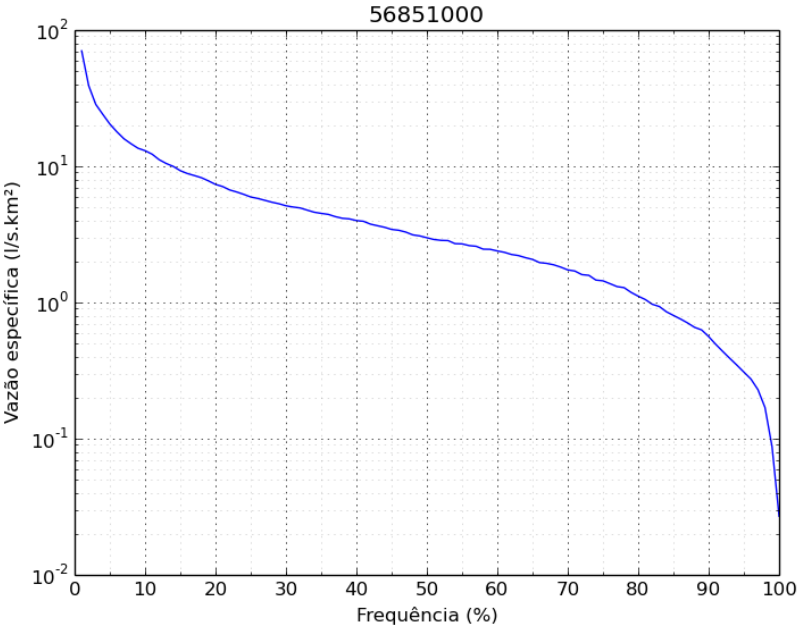


Figura 595 – Curva de permanência para a estação 56860000.

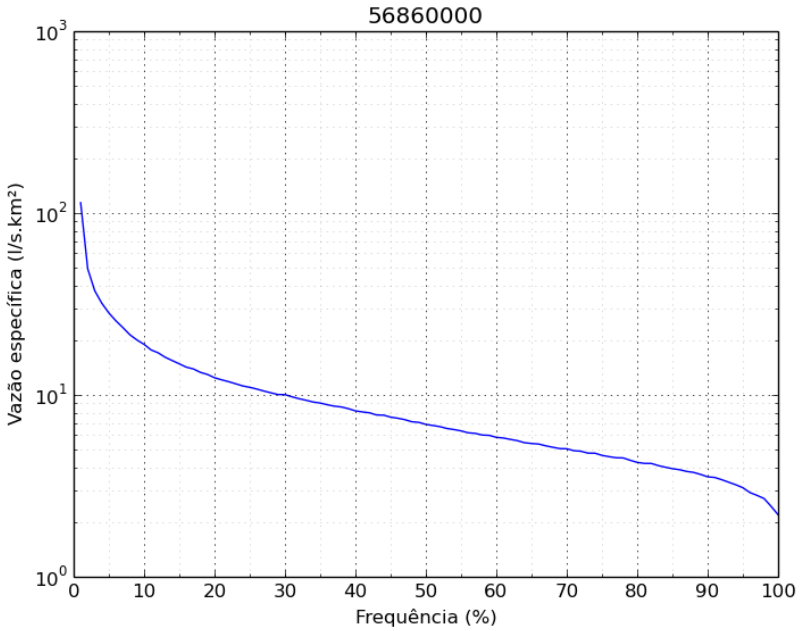


Figura 596 – Curva de permanência para a estação 56870000.

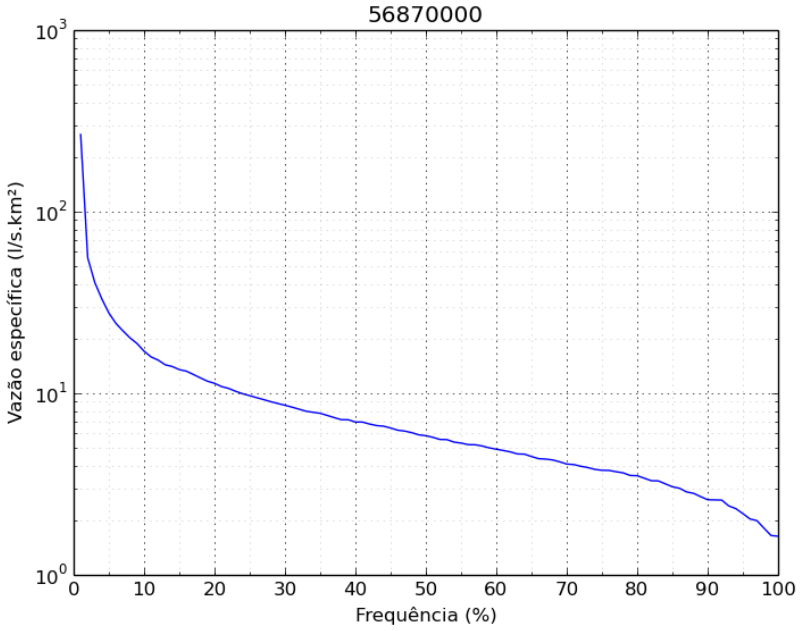


Figura 597 – Curva de permanência para a estação 56891900.

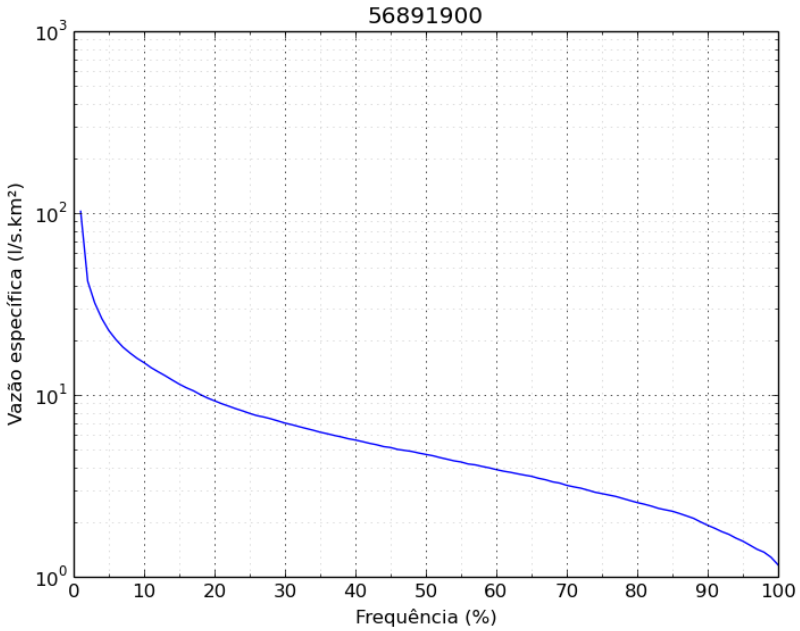


Figura 598 – Curva de permanência para a estação 56920000.

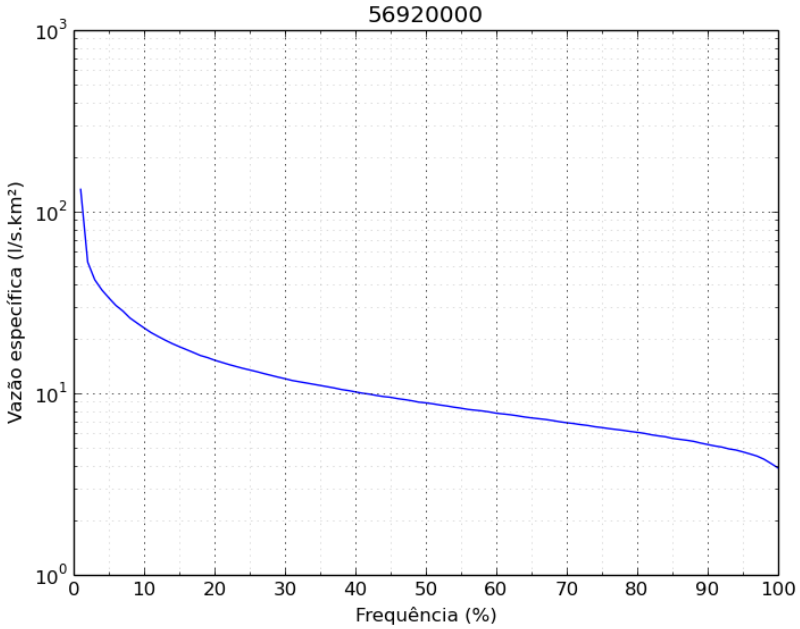


Figura 599 – Curva de permanência para a estação 56935000.

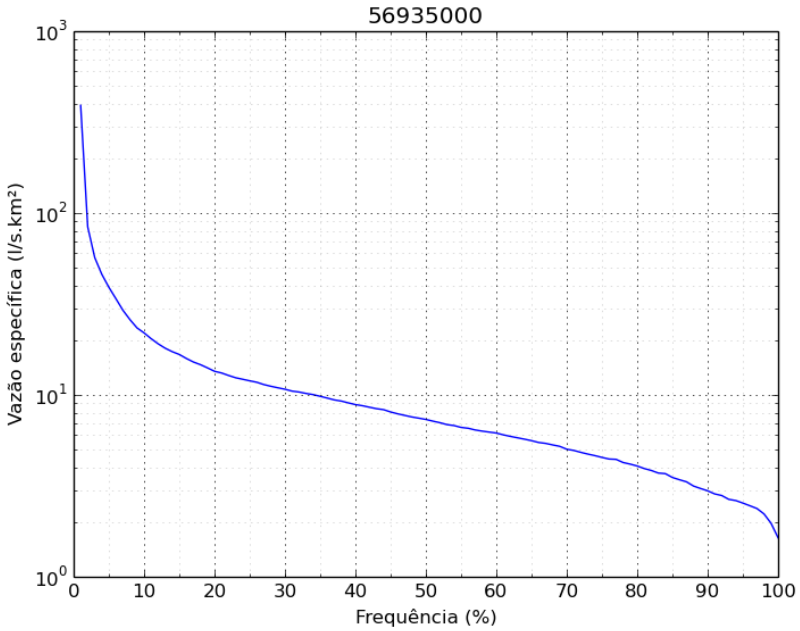


Figura 600 – Curva de permanência para a estação 56940002.

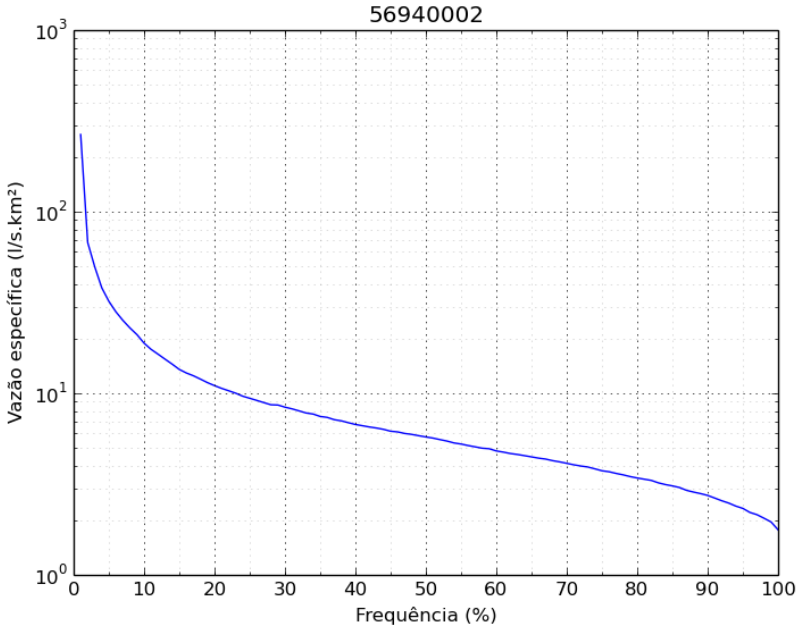


Figura 601 – Curva de permanência para a estação 56960005.

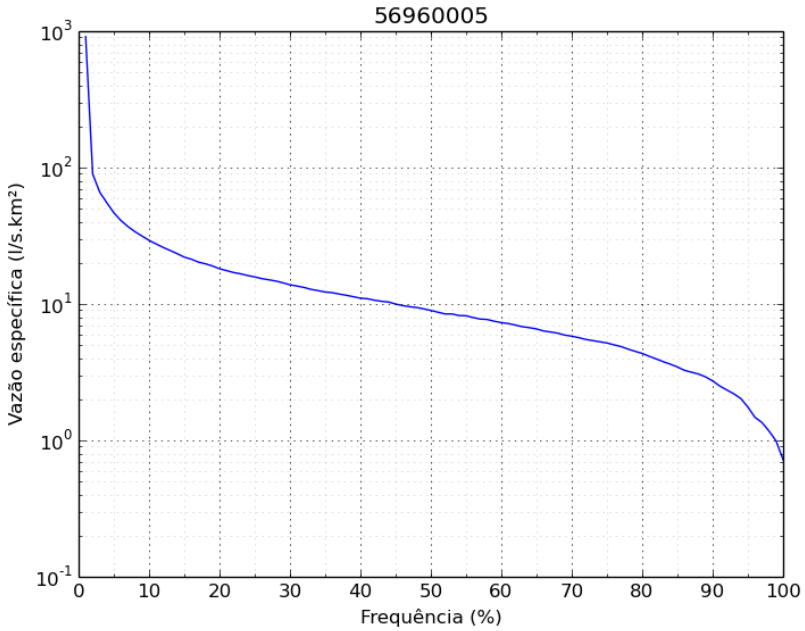


Figura 602 – Curva de permanência para a estação 56976000.

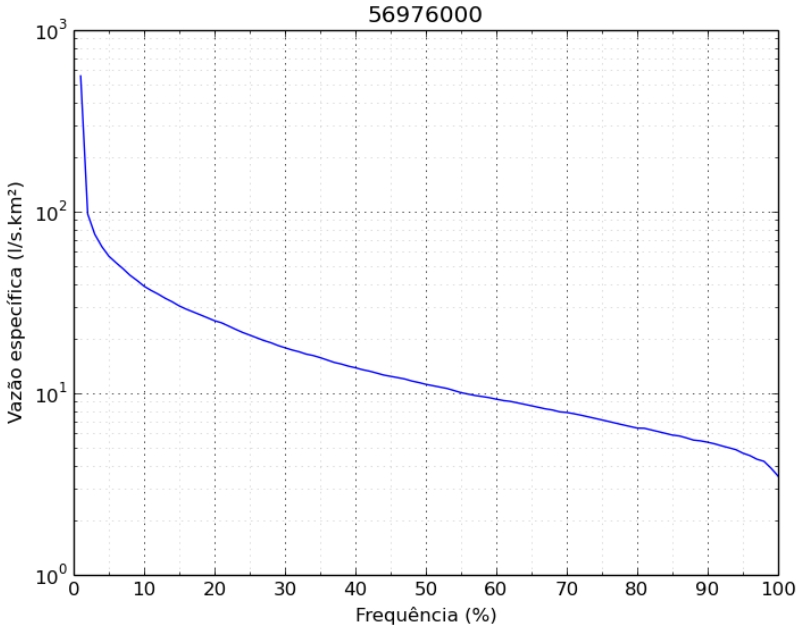


Figura 603 – Curva de permanência para a estação 56978000.

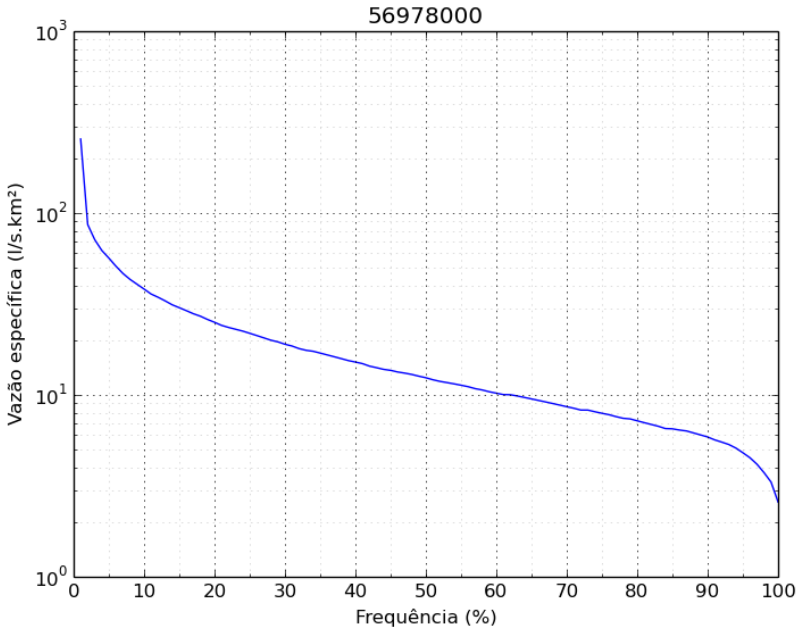


Figura 604 – Curva de permanência para a estação 56983000.

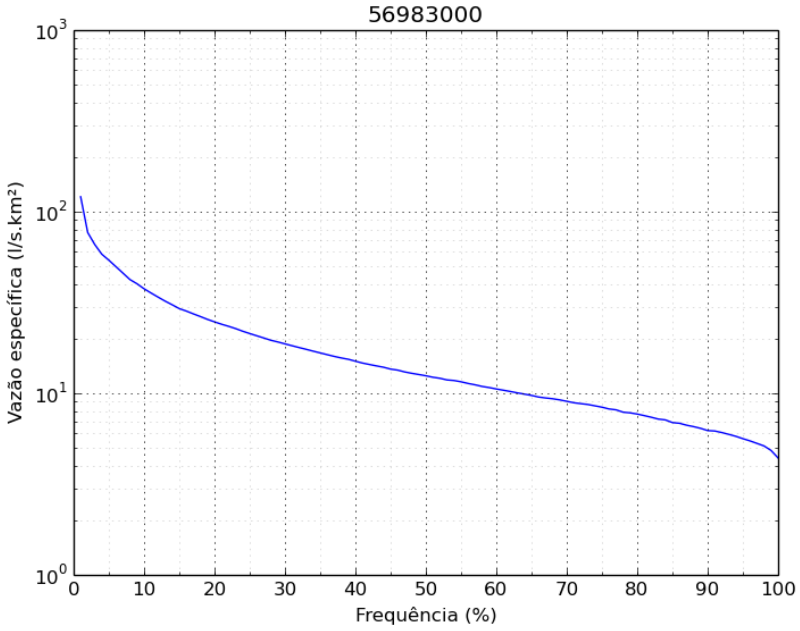


Figura 605 – Curva de permanência para a estação 56988500.

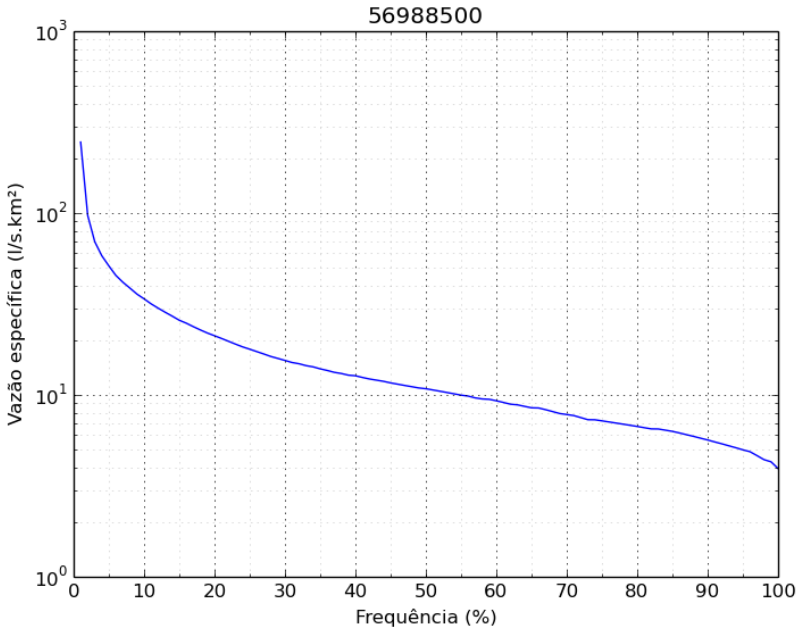


Figura 606 – Curva de permanência para a estação 56989001.

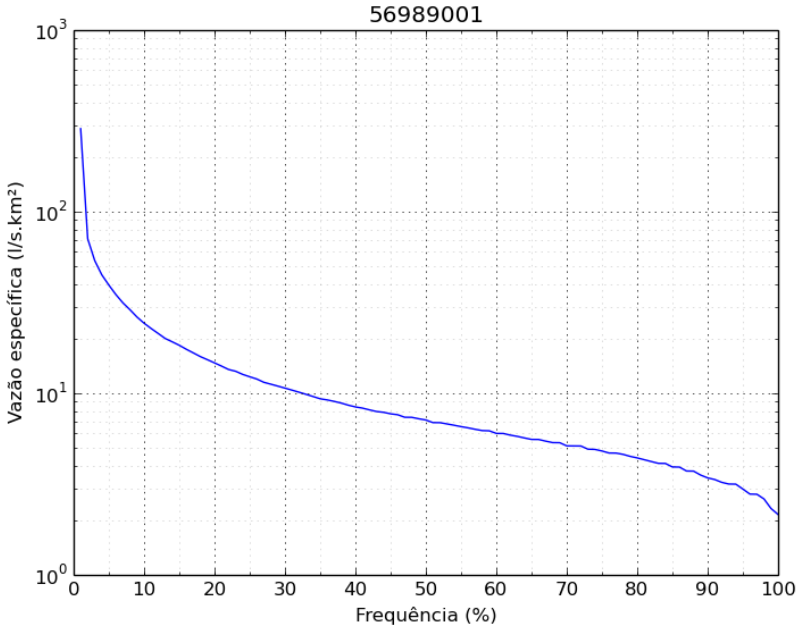


Figura 607 – Curva de permanência para a estação 56989400.

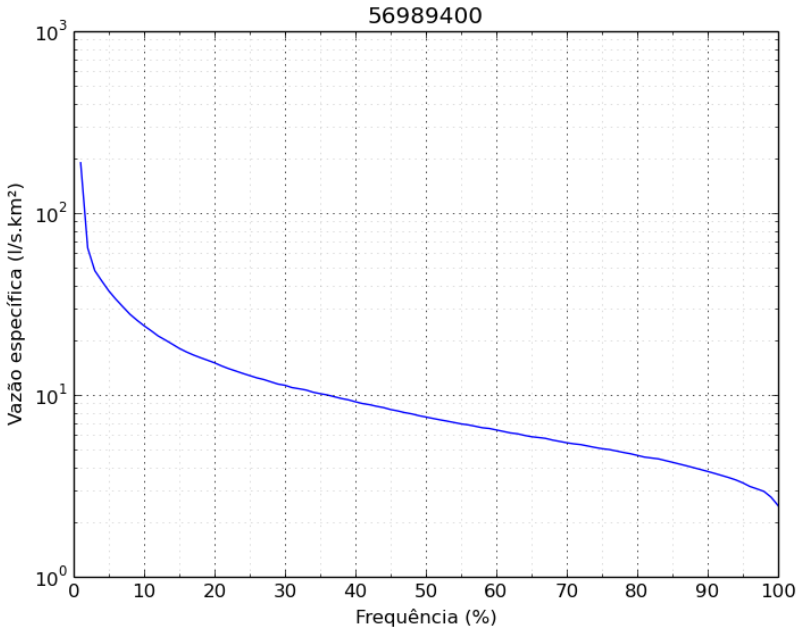


Figura 608 – Curva de permanência para a estação 56990000.

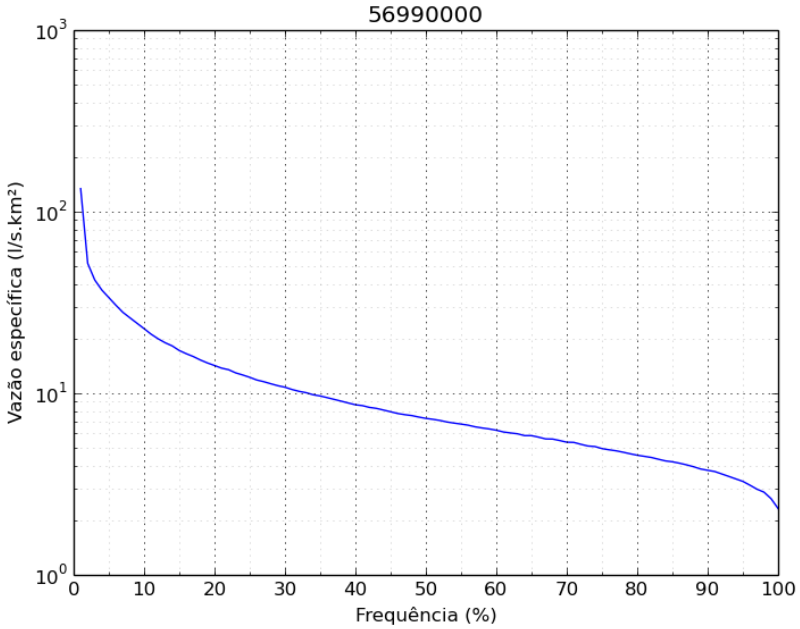


Figura 609 – Curva de permanência para a estação 56990990.

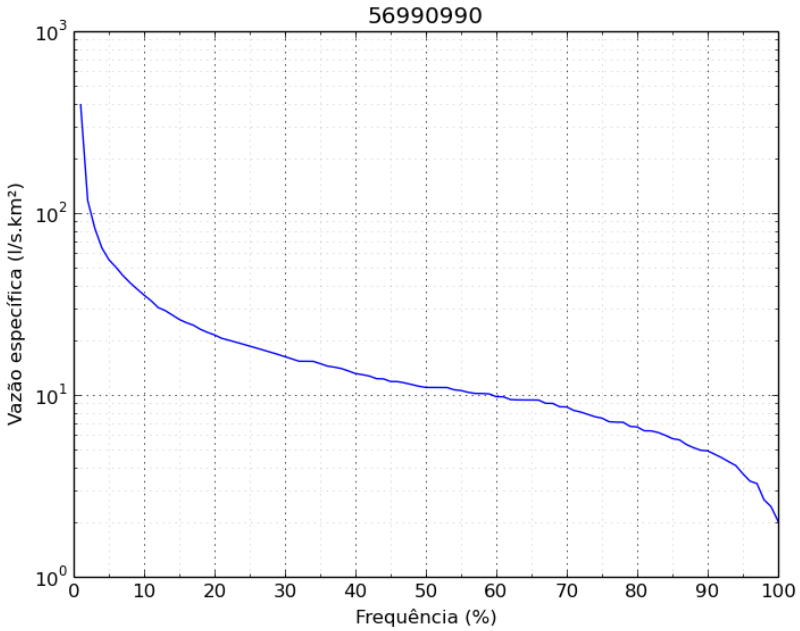


Figura 610 – Curva de permanência para a estação 56991500.

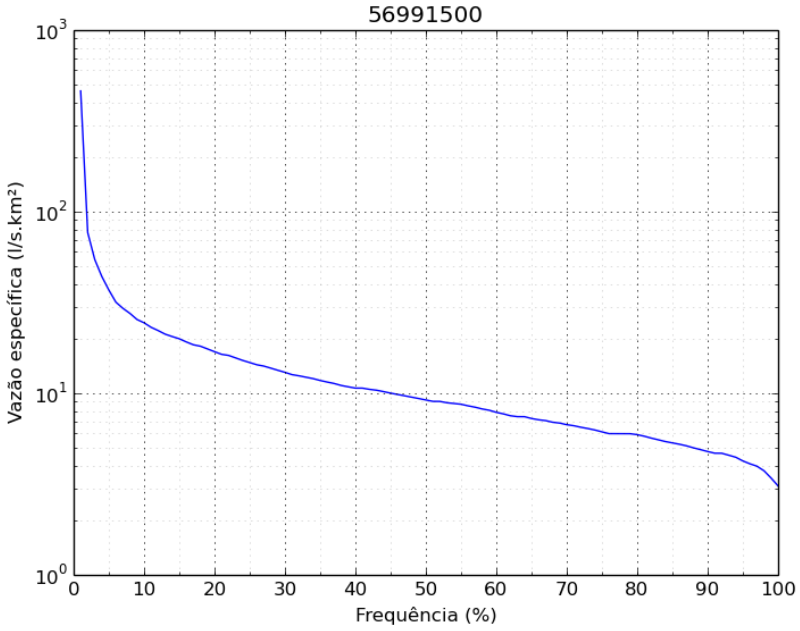


Figura 611 – Curva de permanência para a estação 56992000.

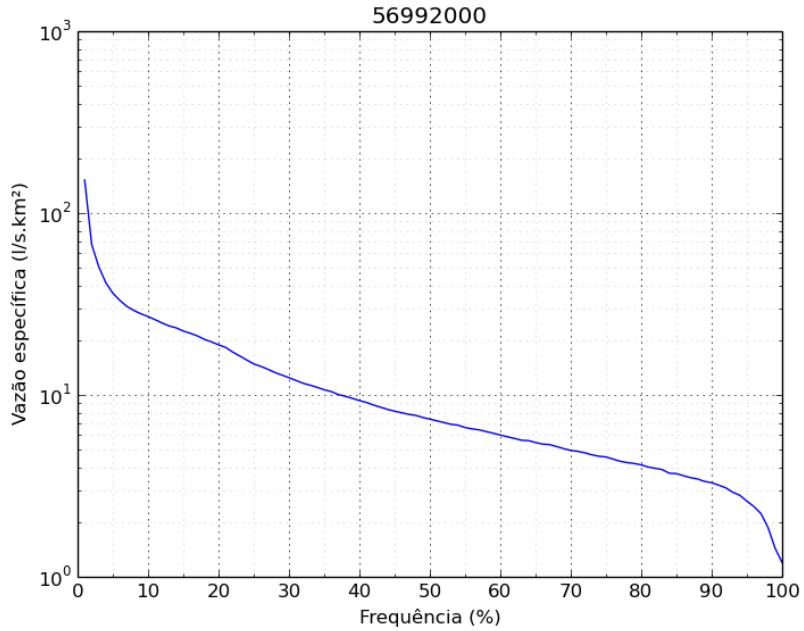


Figura 612 – Curva de permanência para a estação 56993551.

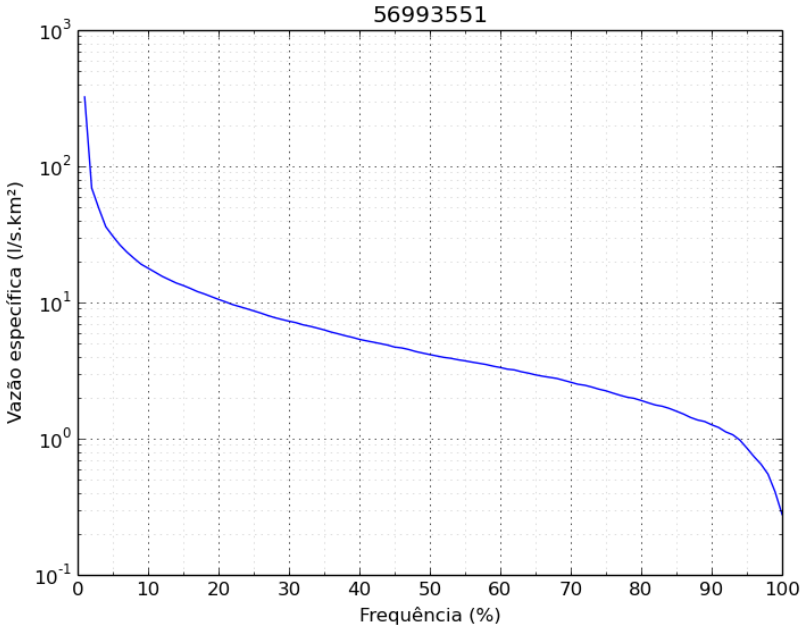


Figura 613 – Curva de permanência para a estação 56994500.

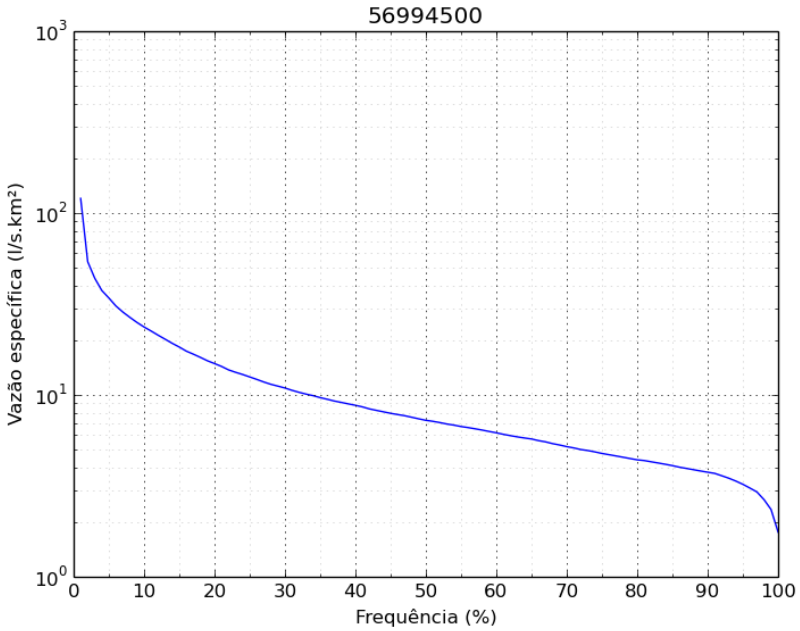


Figura 614 – Curva de permanência para a estação 56994510.

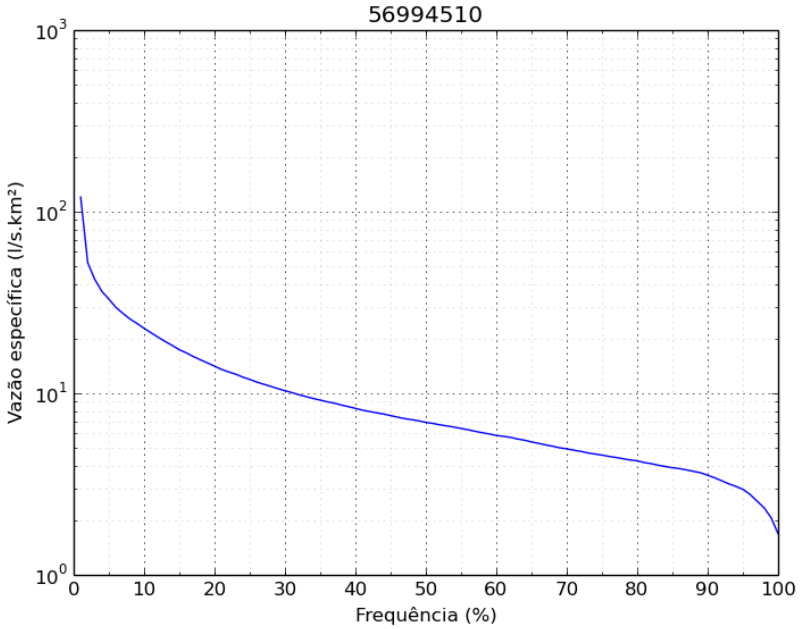


Figura 615 – Curva de permanência para a estação 56995500.

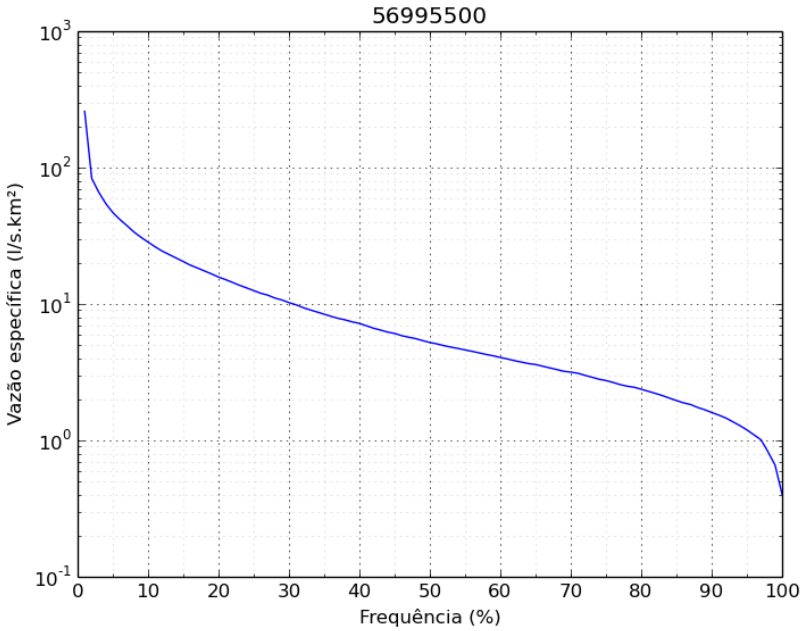


Figura 616 – Curva de permanência para a estação 56998400.

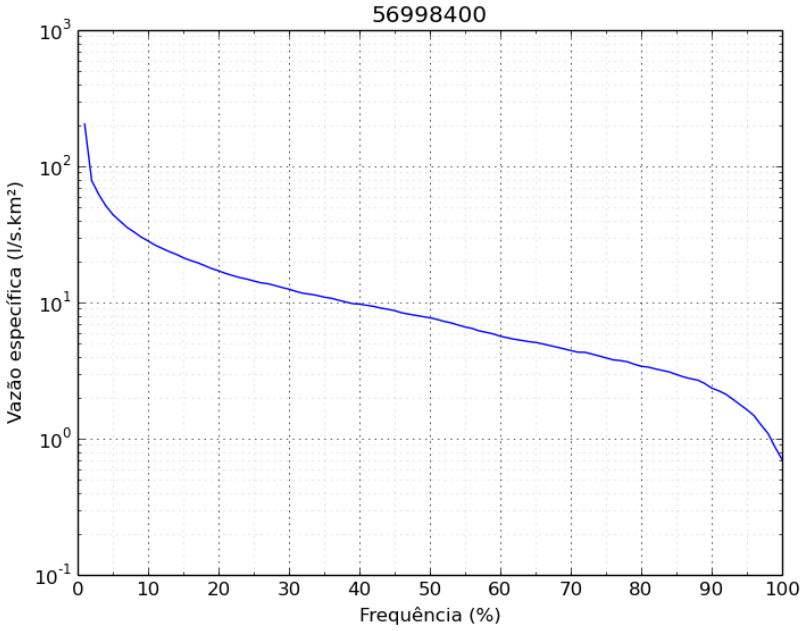


Tabela 162 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56028000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	136,9	230,1	291,8	351,0	385,0	409,0	427,6	485,0	542,2	575,6	599,3	617,7	674,7	864,1
Instantâneas	189,7	329,7	422,3	511,2	562,3	598,3	626,2	712,4	798,3	848,4	884,0	911,6	997,2	1281,5

Tabela 163 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56055000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	101,9	134,6	156,3	177,2	189,1	197,6	204,1	224,3	244,4	256,1	264,5	270,9	291,0	357,6
Instantâneas	139,4	177,4	202,5	226,6	240,5	250,3	257,8	281,2	304,5	318,1	327,8	335,3	358,5	435,6

Tabela 164 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56065000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	77,5	103,8	121,1	137,8	147,4	154,1	159,4	175,5	191,6	201,0	207,7	212,9	228,9	282,2
Instantâneas	109,7	158,9	191,5	222,8	240,8	253,4	263,2	293,5	323,7	341,4	353,9	363,6	393,7	493,7

Tabela 165 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56075000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	85,2	132,6	168,4	204,2	225,1	240,0	251,5	287,3	323,2	344,1	359,0	370,5	406,3	525,2
Instantâneas	91,2	121,4	144,3	167,2	180,6	190,1	197,5	220,4	243,3	256,6	266,1	273,5	296,4	372,4

Tabela 166 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56085000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	138,9	208,4	254,5	298,6	324,1	342,0	355,8	398,7	441,4	466,3	484,0	497,7	540,3	681,6
Instantâneas	214,4	333,0	411,6	486,9	530,3	560,8	584,5	657,5	730,4	772,9	803,1	826,4	899,0	1140,1

Tabela 167 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56090000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	52,7	68,8	79,5	89,7	95,6	99,7	102,9	112,8	122,7	128,5	132,6	135,7	145,6	178,3
Instantâneas	64,1	85,1	99,0	112,3	120,0	125,4	129,6	142,6	155,5	163,0	168,3	172,5	185,3	228,0

Tabela 168 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56110005.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	77,8	136,2	180,4	224,6	250,5	268,8	283,0	327,2	371,4	397,3	415,6	429,8	474,0	620,8
Instantâneas	91,9	180,2	247,0	313,9	353,0	380,7	402,2	469,0	535,9	575,0	602,7	624,2	691,1	913,1

Tabela 169 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56145000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	225,4	303,0	354,4	403,8	432,1	452,1	467,6	515,4	563,0	590,9	610,6	625,9	673,4	831,2
Instantâneas	338,0	499,5	606,4	708,9	767,9	809,5	841,6	941,1	1040,2	1098,1	1139,1	1171,0	1269,8	1597,9

Tabela 170 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56240000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	174,8	294,4	373,5	449,5	493,2	524,0	547,8	621,5	694,9	737,8	768,2	791,8	865,0	1108,0
Instantâneas	244,9	385,9	479,3	568,9	620,4	656,8	684,9	771,7	858,3	908,9	944,7	972,5	1058,9	1345,5

Tabela 171 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56335001.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	147,0	230,8	286,3	339,5	370,1	391,7	408,4	460,0	511,4	541,5	562,8	579,3	630,6	800,8
Instantâneas	221,8	330,5	402,4	471,5	511,2	539,2	560,8	627,8	694,5	733,5	761,1	782,5	849,0	1069,9

Tabela 172 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56337000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	270,1	497,8	648,5	793,0	876,2	934,8	980,1	1120,3	1260,0	1341,6	1399,5	1444,3	1583,6	2046,1
Instantâneas	501,5	939,5	1229,4	1507,5	1667,6	1780,4	1867,6	2137,3	2406,1	2563,1	2674,4	2760,8	3028,8	3918,6

Tabela 173 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56385000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	98,0	127,6	147,1	165,9	176,7	184,3	190,1	208,3	226,5	237,1	244,6	250,4	268,5	328,5
Instantâneas	142,7	180,1	204,8	228,5	242,2	251,8	259,2	282,2	305,2	318,5	328,0	335,4	358,3	434,1

Tabela 174 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56415000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	73,6	117,0	149,9	182,7	202,0	215,6	226,2	259,0	291,9	311,1	324,7	335,3	368,2	477,3
Instantâneas	109,8	181,7	236,1	290,5	322,3	344,9	362,4	416,8	471,2	503,0	525,6	543,1	597,5	778,2

Tabela 175 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56425000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	69,4	102,7	124,7	145,9	158,0	166,6	173,2	193,8	214,2	226,1	234,6	241,2	261,5	329,2
Instantâneas	82,5	117,2	140,1	162,2	174,8	183,8	190,7	212,0	233,3	245,7	254,5	261,4	282,6	353,0

Tabela 176 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56460000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	103,5	141,7	166,9	191,1	205,0	214,8	222,4	245,9	269,3	283,0	292,7	300,2	323,5	400,9
Instantâneas	140,6	180,4	206,7	231,9	246,5	256,7	264,6	289,1	313,5	327,8	337,9	345,7	370,1	450,9

Tabela 177 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56484998.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	90,0	163,1	218,4	273,7	306,1	329,0	346,8	402,1	457,4	489,8	512,7	530,5	585,8	769,6
Instantâneas	127,7	211,7	275,3	338,9	376,1	402,5	423,0	486,6	550,2	587,4	613,8	634,3	697,9	909,1

Tabela 178 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56500000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	155,5	252,9	317,5	379,3	414,9	440,0	459,4	519,5	579,3	614,2	638,9	658,1	717,8	915,8
Instantâneas	256,6	451,7	580,8	704,7	775,9	826,1	865,0	985,1	1104,8	1174,7	1224,3	1262,7	1382,1	1778,4

Tabela 179 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56510000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	80,5	146,5	196,4	246,3	275,6	296,3	312,4	362,3	412,2	441,5	462,2	478,3	528,2	694,1
Instantâneas	101,9	173,5	227,6	281,8	313,5	335,9	353,4	407,5	461,7	493,3	515,8	533,3	587,4	767,3

Tabela 180 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56539000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	63,7	96,3	117,8	138,4	150,3	158,7	165,2	185,2	205,2	216,8	225,1	231,5	251,4	317,5
Instantâneas	78,6	114,9	139,0	162,0	175,3	184,6	191,9	214,2	236,5	249,5	258,8	265,9	288,1	361,9

Tabela 181 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56570000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	117,8	171,5	207,0	241,0	260,6	274,5	285,1	318,2	351,1	370,4	384,0	394,6	427,4	536,4
Instantâneas	194,2	303,9	376,6	446,2	486,3	514,6	536,4	604,0	671,4	710,7	738,6	760,2	827,4	1050,3

Tabela 182 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56610000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	163,2	265,2	332,8	397,6	434,9	461,1	481,5	544,3	606,9	643,5	669,4	689,5	752,0	959,3
Instantâneas	226,4	347,5	427,7	504,6	548,8	580,0	604,1	678,7	753,0	796,4	827,2	851,0	925,1	1171,1

Tabela 183 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56640000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	216,7	329,7	404,6	476,3	517,6	546,7	569,2	638,9	708,2	748,7	777,5	799,7	868,9	1098,5
Instantâneas	272,3	379,3	450,2	518,1	557,2	584,8	606,1	672,0	737,7	776,0	803,2	824,3	889,8	1107,2

Tabela 184 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56659998.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	159,7	248,7	307,7	364,2	396,7	419,7	437,4	492,2	546,9	578,8	601,4	619,0	673,5	854,3
Instantâneas	187,5	285,6	350,6	412,9	448,7	474,0	493,5	554,0	614,2	649,4	674,3	693,6	753,7	953,0

Tabela 185 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56696000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	101,6	155,9	191,9	226,3	246,2	260,2	271,0	304,4	337,7	357,2	371,0	381,7	414,9	525,3
Instantâneas	123,7	187,2	229,2	269,5	292,8	309,1	321,8	360,9	399,9	422,6	438,8	451,3	490,2	619,2

Tabela 186 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56719998.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	71,6	112,1	138,9	164,6	179,4	189,9	197,9	222,9	247,8	262,3	272,6	280,6	305,4	387,7
Instantâneas	88,9	132,5	161,3	189,0	204,9	216,1	224,8	251,6	278,4	294,0	305,1	313,7	340,3	428,9

Tabela 187 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56750000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	211,6	300,4	359,2	415,6	448,1	470,9	488,6	543,3	597,9	629,7	652,3	669,8	724,2	904,6
Instantâneas	329,4	477,3	575,2	669,1	723,1	761,2	790,6	881,7	972,5	1025,5	1063,1	1092,2	1182,7	1483,1

Tabela 188 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56765000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	171,2	273,7	341,6	406,7	444,1	470,5	491,0	554,1	617,0	653,8	679,8	700,0	762,8	971,1
Instantâneas	273,3	475,6	609,6	738,0	811,9	864,0	904,3	1028,9	1153,1	1225,6	1277,0	1316,9	1440,7	1851,7

Tabela 189 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56775000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	175,1	266,4	326,9	384,9	418,3	441,8	460,0	516,2	572,3	605,0	628,2	646,2	702,1	887,7
Instantâneas	214,0	315,8	383,3	447,9	485,1	511,4	531,6	594,4	656,9	693,4	719,3	739,3	801,7	1008,6

Tabela 190 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56787000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	153,4	213,8	253,8	292,1	314,2	329,8	341,8	379,0	416,1	437,7	453,1	465,0	501,9	624,7
Instantâneas	225,0	303,1	354,9	404,5	433,1	453,2	468,8	516,9	564,9	592,9	612,8	628,2	676,0	834,9

Tabela 191 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56800000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	73,9	100,1	117,4	134,0	143,6	150,3	155,6	171,7	187,7	197,1	203,8	208,9	225,0	278,2
Instantâneas	95,5	128,3	150,0	170,8	182,8	191,2	197,8	218,0	238,1	249,8	258,2	264,6	284,7	351,3

Tabela 192 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56825000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	96,5	139,8	168,5	196,0	211,8	222,9	231,6	258,2	284,8	300,3	311,3	319,9	346,4	434,3
Instantâneas	131,3	204,4	252,8	299,2	325,9	344,8	359,3	404,3	449,2	475,4	494,0	508,4	553,1	701,6

Tabela 193 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56845000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	56,7	84,1	102,3	119,7	129,7	136,8	142,3	159,2	176,0	185,8	192,8	198,2	215,0	270,7
Instantâneas	76,0	118,0	145,8	172,5	187,8	198,6	207,0	232,9	258,6	273,7	284,4	292,6	318,3	403,6

Tabela 194 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56846000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	55,6	77,9	92,6	106,8	114,9	120,6	125,1	138,8	152,5	160,5	166,1	170,5	184,1	229,4
Instantâneas	78,6	108,5	128,2	147,2	158,1	165,8	171,7	190,1	208,5	219,2	226,8	232,6	250,9	311,6

Tabela 195 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56850000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	65,6	98,3	119,9	140,6	152,6	161,0	167,5	187,6	207,6	219,4	227,7	234,1	254,1	320,4
Instantâneas	71,2	104,7	127,0	148,3	160,5	169,2	175,9	196,5	217,1	229,2	237,7	244,3	264,9	333,0

Tabela 196 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56851000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	38,0	56,0	67,9	79,3	85,9	90,5	94,1	105,2	116,3	122,7	127,3	130,8	141,9	178,4
Instantâneas	43,8	69,5	86,4	102,7	112,1	118,7	123,8	139,6	155,4	164,5	171,1	176,1	191,8	243,9

Tabela 197 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56860000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	57,0	84,3	102,4	119,7	129,7	136,7	142,1	158,9	175,7	185,5	192,4	197,8	214,5	270,0
Instantâneas	64,4	98,9	121,8	143,8	156,4	165,3	172,2	193,5	214,7	227,1	235,9	242,7	263,8	334,0

Tabela 198 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56870000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	68,4	115,2	150,6	185,9	206,6	221,3	232,7	268,0	303,4	324,1	338,7	350,1	385,5	503,0
Instantâneas	88,6	159,1	212,4	265,7	296,9	319,0	336,2	389,5	442,8	474,0	496,2	513,3	566,6	743,8

Tabela 199 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56891900.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	38,2	59,8	74,1	87,8	95,7	101,2	105,5	118,8	132,1	139,8	145,3	149,5	162,7	206,6
Instantâneas	38,2	60,5	75,3	89,5	97,7	103,4	107,9	121,7	135,4	143,4	149,1	153,5	167,1	212,5

Tabela 200 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56920000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	56,3	82,5	99,8	116,5	126,0	132,8	138,0	154,1	170,2	179,6	186,2	191,4	207,4	260,6
Instantâneas	65,7	95,5	115,2	134,1	145,0	152,6	158,6	176,9	195,2	205,9	213,4	219,3	237,5	298,1

Tabela 201 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56935000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	129,4	218,1	285,2	352,3	391,6	419,4	441,0	508,1	575,2	614,4	642,3	663,9	731,0	953,8
Instantâneas	203,6	294,0	362,4	430,8	470,8	499,2	521,3	589,7	658,1	698,1	726,5	748,5	816,9	1044,1

Tabela 202 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56940002.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	83,4	151,7	196,8	240,1	265,1	282,6	296,2	338,2	380,1	404,5	421,9	435,3	477,1	615,7
Instantâneas	105,6	186,4	239,9	291,2	320,7	341,6	357,7	407,4	457,0	486,0	506,6	522,5	571,9	736,2

Tabela 203 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56960005.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	90,6	252,9	375,7	498,5	570,3	621,3	660,8	783,5	906,3	978,1	1029,1	1068,6	1191,4	1599,2
Instantâneas	144,2	169,7	189,0	208,3	219,6	227,6	233,8	253,1	272,4	283,7	291,7	297,9	317,3	381,4

Tabela 204 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56976000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	114,5	225,2	309,0	392,8	441,8	476,6	503,5	587,3	671,1	720,1	754,9	781,8	865,6	1143,9
Instantâneas	171,8	324,5	440,0	555,5	623,0	671,0	708,1	823,6	939,1	1006,7	1054,6	1091,8	1207,3	1591,0

Tabela 205 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56978000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	102,8	156,6	192,3	226,5	246,2	260,0	270,8	303,9	337,0	356,3	370,0	380,6	413,5	523,0
Instantâneas	137,5	192,5	228,9	263,8	283,9	298,1	309,0	342,9	376,7	396,4	410,4	421,2	454,8	566,6

Tabela 206 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56983000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	92,4	107,5	117,5	127,2	132,7	136,6	139,6	149,0	158,2	163,7	167,5	170,5	179,8	210,6
Instantâneas	123,1	144,5	158,6	172,2	180,0	185,5	189,8	203,0	216,1	223,7	229,2	233,4	246,5	289,9

Tabela 207 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56988500.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	123,7	175,3	209,4	242,2	261,0	274,3	284,6	316,4	348,0	366,5	379,6	389,8	421,3	526,1
Instantâneas	192,7	266,3	315,0	361,8	388,6	407,6	422,2	467,6	512,7	539,1	557,8	572,3	617,3	766,9

Tabela 208 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56989001.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	103,5	166,0	207,4	247,0	269,8	285,9	298,4	336,9	375,2	397,6	413,5	425,8	464,0	590,9
Instantâneas	161,3	279,3	357,4	432,4	475,5	505,9	529,4	602,1	674,5	716,8	746,8	770,1	842,3	1082,1

Tabela 209 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56989400.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	84,1	126,9	155,2	182,4	198,1	209,1	217,6	244,0	270,3	285,6	296,5	305,0	331,2	418,2
Instantâneas	120,7	188,3	233,0	275,9	300,6	318,0	331,4	373,1	414,5	438,7	455,9	469,2	510,6	647,8

Tabela 210 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56990000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	64,5	90,3	107,4	123,9	133,3	140,0	145,1	161,0	176,9	186,2	192,8	197,9	213,7	266,2
Instantâneas	83,1	120,3	144,9	168,5	182,1	191,7	199,1	222,0	244,8	258,1	267,6	274,9	297,7	373,2

Tabela 211 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56990990.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	158,0	234,2	284,7	333,1	361,0	380,7	395,8	442,8	489,6	517,0	536,4	551,4	598,1	753,0
Instantâneas	255,8	391,9	482,0	568,4	618,1	653,1	680,2	764,0	847,6	896,3	930,9	957,7	1041,0	1317,4

Tabela 212 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56991500.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	98,0	179,7	241,6	303,4	339,6	365,3	385,2	447,0	508,9	545,0	570,7	590,6	652,5	857,9
Instantâneas	167,2	333,8	459,9	586,0	659,7	712,0	752,6	878,7	1004,8	1078,5	1130,8	1171,4	1297,5	1716,3

Tabela 213 – Vazões máximas (l/s/km^2) para a estação 56992000.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	84,6	113,0	131,8	149,8	160,2	167,5	173,2	190,6	208,1	218,2	225,5	231,0	248,4	306,1
Instantâneas	110,7	144,7	167,2	188,8	201,2	209,9	216,7	237,7	258,5	270,7	279,3	286,0	306,9	375,9

Tabela 214 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56993551.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	95,0	147,9	188,0	228,0	251,4	268,0	280,9	321,0	361,0	384,4	401,1	414,0	454,0	587,0
Instantâneas	133,0	199,4	249,7	300,0	329,4	350,3	366,5	416,7	467,0	496,4	517,3	533,5	583,8	750,8

Tabela 215 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56994500.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	59,7	82,9	98,3	113,1	121,6	127,6	132,2	146,5	160,8	169,1	175,1	179,6	193,9	241,1
Instantâneas	69,8	101,2	121,9	141,8	153,3	161,3	167,6	186,9	206,1	217,4	225,3	231,5	250,7	314,4

Tabela 216 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56994510.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	58,0	82,5	98,8	114,3	123,3	129,6	134,5	149,6	164,6	173,4	179,6	184,5	199,5	249,3
Instantâneas	66,5	99,5	121,4	142,4	154,5	163,0	169,6	190,0	210,3	222,2	230,6	237,1	257,3	324,6

Tabela 217 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56995500.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	109,2	158,1	190,5	221,6	239,5	252,1	261,8	292,0	322,0	339,5	352,0	361,6	391,6	491,0
Instantâneas	142,9	210,0	254,4	297,0	321,6	338,8	352,2	393,5	434,7	458,8	475,8	489,0	530,1	666,4

Tabela 218 – Vazões máximas (l/s/km²) para a estação 56998400.

	Tempo de Retorno (anos)													
	2	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**1000**	**10000**
Diárias	95,8	138,3	166,4	193,3	208,8	219,8	228,2	254,4	280,4	295,6	306,4	314,8	340,8	427,0
Instantâneas	140,0	207,8	252,7	295,8	320,6	338,1	351,6	393,4	435,1	459,4	476,6	490,0	531,5	669,4

Tabela 219 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56028000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,95	4,47	3,84	3,57	3,41	3,30	3,22	3,11	3,03	2,91	2,83
	15	6,24	4,76	4,13	3,87	3,71	3,60	3,52	3,41	3,34	3,22	3,15
	30	6,66	5,18	4,57	4,31	4,16	4,06	3,98	3,88	3,81	3,70	3,63
	60	7,12	5,55	4,92	4,66	4,51	4,41	4,34	4,23	4,16	4,06	3,99
	90	7,62	6,00	5,33	5,05	4,89	4,78	4,70	4,59	4,51	4,39	4,32
	120	7,97	6,29	5,61	5,34	5,18	5,07	4,99	4,88	4,81	4,69	4,63
	150	8,34	6,65	6,00	5,74	5,59	5,49	5,42	5,32	5,25	5,15	5,09
	180	8,84	7,07	6,42	6,17	6,03	5,94	5,87	5,78	5,72	5,63	5,58

Tabela 220 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56055000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	7,19	5,41	4,47	4,00	3,70	3,48	3,31	3,06	2,87	2,56	2,36
	15	7,41	5,59	4,72	4,32	4,08	3,90	3,77	3,59	3,45	3,24	3,10
	30	7,86	6,01	5,12	4,71	4,46	4,28	4,14	3,95	3,81	3,58	3,44
	60	8,30	6,60	5,57	5,03	4,66	4,39	4,17	3,83	3,58	3,14	2,84
	90	8,81	7,06	6,02	5,48	5,11	4,83	4,62	4,29	4,04	3,60	3,31
	120	9,29	7,41	6,32	5,76	5,38	5,10	4,88	4,55	4,30	3,87	3,57
	150	9,39	7,39	6,33	5,81	5,48	5,24	5,05	4,77	4,57	4,22	4,00
	180	9,87	7,76	6,66	6,12	5,78	5,53	5,34	5,06	4,85	4,51	4,29

Tabela 221 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56065000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,44	3,61	2,30	1,71	1,35	1,10	0,91	0,63	0,44	0,13	0,00
	15	6,79	3,85	2,45	1,81	1,41	1,13	0,91	0,60	0,39	0,03	0,00
	30	7,24	4,16	2,69	2,01	1,59	1,30	1,08	0,75	0,52	0,15	0,00
	60	7,77	4,58	3,11	2,44	2,03	1,75	1,54	1,23	1,02	0,67	0,45
	90	7,83	4,91	3,40	2,67	2,20	1,87	1,61	1,23	0,95	0,49	0,20
	120	8,24	5,27	3,74	3,01	2,54	2,20	1,94	1,56	1,29	0,83	0,53
	150	8,45	5,36	3,80	3,07	2,61	2,28	2,02	1,65	1,39	0,95	0,67
	180	8,98	5,74	4,11	3,34	2,86	2,51	2,25	1,86	1,59	1,13	0,83

Tabela 222 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56075000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,98	3,58	3,01	2,78	2,64	2,55	2,48	2,39	2,32	2,22	2,17
	15	5,53	4,00	3,30	2,99	2,80	2,67	2,57	2,43	2,33	2,17	2,08
	30	6,06	4,45	3,68	3,33	3,12	2,97	2,85	2,69	2,57	2,38	2,27
	60	6,73	5,21	4,56	4,28	4,11	4,00	3,91	3,79	3,71	3,59	3,51
	90	7,27	5,92	5,07	4,61	4,28	4,04	3,84	3,54	3,31	2,89	2,60
	120	7,62	6,21	5,35	4,90	4,59	4,36	4,18	3,90	3,68	3,31	3,06
	150	7,98	6,41	5,50	5,03	4,72	4,49	4,31	4,03	3,82	3,46	3,22
	180	8,47	6,77	5,82	5,33	5,02	4,78	4,60	4,32	4,11	3,76	3,52

Tabela 223 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56085000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,23	3,82	3,15	2,83	2,64	2,50	2,40	2,25	2,14	1,97	1,86
	15	5,38	4,03	3,43	3,16	3,00	2,89	2,81	2,69	2,60	2,47	2,39
	30	5,68	4,38	3,80	3,54	3,38	3,27	3,19	3,08	3,00	2,87	2,79
	60	6,16	4,81	4,18	3,90	3,72	3,60	3,51	3,38	3,29	3,14	3,05
	90	6,42	5,22	4,73	4,53	4,41	4,33	4,28	4,20	4,14	4,06	4,01
	120	6,63	5,42	4,95	4,76	4,65	4,57	4,52	4,44	4,39	4,32	4,27
	150	6,89	5,54	5,00	4,79	4,66	4,58	4,51	4,43	4,37	4,29	4,23
	180	7,17	5,70	5,11	4,87	4,73	4,63	4,56	4,47	4,40	4,30	4,24

Tabela 224 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56090000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,29	5,28	4,96	4,84	4,78	4,74	4,71	4,67	4,65	4,62	4,60
	15	6,50	5,45	5,10	4,97	4,90	4,86	4,82	4,78	4,76	4,72	4,70
	30	6,62	5,65	5,37	5,28	5,23	5,20	5,18	5,15	5,14	5,12	5,11
	60	6,96	6,01	5,75	5,66	5,62	5,59	5,58	5,55	5,54	5,52	5,51
	90	7,20	6,17	5,88	5,78	5,73	5,70	5,68	5,66	5,64	5,62	5,61
	120	7,42	6,32	6,01	5,90	5,84	5,81	5,79	5,76	5,74	5,71	5,70
	150	7,94	6,57	6,09	5,91	5,81	5,74	5,70	5,64	5,60	5,54	5,51
	180	8,24	6,73	6,16	5,93	5,80	5,71	5,65	5,56	5,51	5,42	5,37

Tabela 225 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56110005.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,43	3,87	3,04	2,64	2,38	2,19	2,05	1,83	1,67	1,41	1,24
	15	5,71	4,04	3,22	2,84	2,59	2,42	2,29	2,10	1,96	1,74	1,60
	30	6,02	4,27	3,53	3,21	3,03	2,90	2,81	2,68	2,59	2,45	2,36
	60	6,61	4,81	4,04	3,70	3,50	3,37	3,27	3,12	3,02	2,87	2,78
	90	7,02	5,21	4,45	4,13	3,94	3,81	3,71	3,57	3,48	3,34	3,25
	120	7,31	5,38	4,56	4,22	4,01	3,87	3,77	3,62	3,52	3,37	3,27
	150	7,97	6,00	5,19	4,84	4,64	4,50	4,40	4,26	4,16	4,01	3,92
	180	8,40	6,23	5,32	4,93	4,70	4,54	4,43	4,27	4,16	3,99	3,89

Tabela 226 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56145000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,70	3,17	2,88	2,75	2,66	2,59	2,54	2,47	2,42	2,33	2,27
	15	3,79	3,25	2,95	2,79	2,69	2,61	2,55	2,46	2,39	2,28	2,20
	30	3,89	3,33	3,00	2,83	2,72	2,63	2,56	2,46	2,38	2,24	2,15
	60	4,16	3,62	3,28	3,09	2,96	2,86	2,78	2,66	2,57	2,40	2,28
	90	4,33	3,55	3,21	3,06	2,97	2,91	2,87	2,80	2,76	2,69	2,65
	120	4,35	3,58	3,36	3,28	3,24	3,22	3,20	3,18	3,16	3,15	3,14
	150	4,57	3,69	3,44	3,36	3,32	3,30	3,28	3,26	3,25	3,23	3,22
	180	4,90	3,86	3,56	3,46	3,41	3,37	3,35	3,33	3,31	3,28	3,27

Tabela 227 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56240000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	8,20	5,82	4,39	3,63	3,12	2,74	2,44	1,97	1,62	1,01	0,59
	15	8,78	6,42	4,92	4,10	3,53	3,10	2,75	2,21	1,80	1,06	0,55
	30	9,58	7,88	7,11	6,76	6,55	6,40	6,29	6,14	6,03	5,85	5,74
	60	10,75	8,89	7,97	7,53	7,26	7,07	6,92	6,70	6,55	6,29	6,13
	90	10,98	9,11	8,21	7,79	7,54	7,36	7,22	7,02	6,88	6,65	6,51
	120	11,22	9,80	9,12	8,82	8,63	8,49	8,39	8,25	8,14	7,98	7,87
	150	11,43	9,99	9,31	9,01	8,82	8,69	8,59	8,44	8,34	8,18	8,08
	180	12,06	10,46	9,69	9,34	9,12	8,97	8,85	8,68	8,56	8,36	8,24

Tabela 228 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56335001.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	9,63	8,51	8,04	7,84	7,72	7,64	7,59	7,50	7,45	7,36	7,31
	15	10,14	8,95	8,42	8,19	8,05	7,95	7,88	7,78	7,71	7,60	7,54
	30	10,98	9,82	9,31	9,08	8,95	8,85	8,78	8,68	8,61	8,51	8,44
	60	12,07	10,71	9,99	9,63	9,41	9,24	9,11	8,92	8,78	8,55	8,39
	90	12,47	11,11	10,44	10,12	9,93	9,79	9,68	9,52	9,41	9,23	9,11
	120	12,74	11,58	10,87	10,49	10,23	10,04	9,88	9,64	9,45	9,13	8,91
	150	13,05	11,74	10,95	10,53	10,24	10,03	9,86	9,59	9,40	9,05	8,81
	180	13,54	12,12	11,24	10,77	10,45	10,21	10,01	9,71	9,49	9,08	8,81

Tabela 229 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56337000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	11,04	9,07	8,22	7,85	7,63	7,48	7,37	7,21	7,10	6,93	6,82
	15	11,38	9,40	8,60	8,27	8,08	7,95	7,85	7,72	7,63	7,49	7,41
	30	11,82	9,74	8,88	8,51	8,30	8,15	8,04	7,89	7,79	7,63	7,53
	60	12,20	9,96	9,07	8,71	8,50	8,35	8,25	8,11	8,02	7,87	7,78
	90	12,51	10,32	9,55	9,25	9,08	8,97	8,90	8,79	8,72	8,62	8,57
	120	12,90	10,92	9,94	9,49	9,20	9,00	8,85	8,62	8,46	8,20	8,03
	150	13,36	11,26	10,26	9,79	9,50	9,30	9,14	8,92	8,76	8,50	8,34
	180	13,95	11,64	10,54	10,03	9,71	9,49	9,32	9,07	8,90	8,62	8,44

Tabela 230 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56385000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,60	4,71	4,40	4,28	4,21	4,17	4,14	4,10	4,07	4,04	4,01
	15	5,93	4,96	4,59	4,44	4,35	4,29	4,25	4,20	4,16	4,10	4,07
	30	6,44	5,35	4,91	4,73	4,62	4,55	4,50	4,42	4,37	4,30	4,25
	60	7,21	6,07	5,59	5,38	5,26	5,17	5,11	5,02	4,96	4,87	4,81
	90	7,65	6,45	5,92	5,69	5,55	5,45	5,38	5,28	5,21	5,09	5,03
	120	7,69	6,67	6,30	6,16	6,08	6,03	6,00	5,95	5,92	5,87	5,84
	150	8,10	6,96	6,56	6,42	6,34	6,29	6,25	6,20	6,17	6,12	6,10
	180	8,67	7,40	6,93	6,76	6,66	6,59	6,54	6,48	6,44	6,38	6,34

Tabela 231 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56415000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,25	2,82	2,18	1,89	1,72	1,60	1,51	1,38	1,29	1,15	1,06
	15	4,61	3,11	2,41	2,09	1,89	1,75	1,64	1,49	1,38	1,21	1,10
	30	4,95	3,41	2,72	2,41	2,23	2,10	2,00	1,86	1,77	1,61	1,52
	60	5,43	4,32	3,82	3,60	3,46	3,37	3,30	3,20	3,13	3,03	2,96
	90	5,75	4,56	4,02	3,78	3,63	3,53	3,45	3,34	3,27	3,14	3,07
	120	6,17	4,92	4,34	4,08	3,92	3,80	3,72	3,59	3,51	3,37	3,28
	150	6,65	5,33	4,69	4,39	4,20	4,07	3,97	3,82	3,72	3,55	3,44
	180	6,97	6,06	5,74	5,62	5,55	5,51	5,48	5,44	5,41	5,37	5,35

Tabela 232 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56425000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,35	4,39	3,34	2,83	2,50	2,26	2,07	1,79	1,59	1,25	1,02
	15	6,78	4,76	3,70	3,18	2,84	2,60	2,41	2,13	1,93	1,59	1,37
	30	7,30	5,07	3,94	3,40	3,06	2,81	2,63	2,35	2,16	1,83	1,62
	60	7,78	5,38	4,23	3,70	3,37	3,14	2,96	2,71	2,53	2,24	2,05
	90	8,25	5,77	4,58	4,02	3,67	3,43	3,25	2,98	2,79	2,47	2,28
	120	8,30	6,00	4,83	4,27	3,91	3,65	3,46	3,17	2,96	2,61	2,38
	150	8,53	6,14	4,94	4,38	4,02	3,76	3,56	3,28	3,07	2,73	2,51
	180	8,95	6,48	5,25	4,67	4,31	4,05	3,85	3,56	3,36	3,01	2,80

Tabela 233 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56460000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,83	2,99	2,70	2,60	2,54	2,50	2,47	2,44	2,41	2,38	2,36
	15	4,06	3,21	2,94	2,84	2,79	2,75	2,73	2,70	2,68	2,65	2,64
	30	4,52	3,50	3,16	3,03	2,96	2,91	2,88	2,84	2,81	2,77	2,75
	60	5,04	3,79	3,35	3,19	3,10	3,04	3,00	2,94	2,91	2,86	2,83
	90	5,33	4,12	3,75	3,62	3,55	3,51	3,48	3,44	3,42	3,38	3,37
	120	5,65	4,43	3,92	3,70	3,57	3,49	3,43	3,34	3,28	3,18	3,13
	150	6,14	4,77	4,19	3,95	3,80	3,71	3,63	3,53	3,46	3,36	3,29
	180	6,71	5,17	4,51	4,23	4,06	3,95	3,86	3,74	3,66	3,53	3,46

Tabela 234 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56484998.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,83	1,83	1,43	1,27	1,18	1,11	1,07	1,00	0,96	0,89	0,85
	15	3,05	2,00	1,59	1,43	1,33	1,27	1,22	1,16	1,12	1,05	1,01
	30	3,40	2,28	1,88	1,73	1,64	1,59	1,55	1,50	1,46	1,41	1,38
	60	4,03	2,67	2,09	1,84	1,69	1,59	1,51	1,40	1,33	1,22	1,15
	90	4,34	3,15	2,69	2,50	2,40	2,32	2,27	2,20	2,16	2,08	2,04
	120	4,77	3,44	2,88	2,64	2,50	2,40	2,33	2,23	2,17	2,06	2,00
	150	5,15	3,70	3,08	2,82	2,66	2,55	2,47	2,36	2,28	2,16	2,09
	180	5,66	4,04	3,30	2,96	2,76	2,62	2,52	2,37	2,26	2,10	1,99

Tabela 235 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56500000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,62	3,50	3,16	3,05	2,99	2,95	2,92	2,89	2,87	2,84	2,83
	15	4,78	3,62	3,27	3,15	3,09	3,05	3,02	2,98	2,96	2,93	2,92
	30	4,99	3,81	3,47	3,36	3,30	3,27	3,25	3,22	3,20	3,17	3,16
	60	5,33	4,15	3,85	3,75	3,70	3,68	3,66	3,64	3,62	3,60	3,59
	90	5,80	4,52	4,18	4,06	4,01	3,98	3,95	3,92	3,91	3,88	3,87
	120	6,19	4,78	4,39	4,27	4,20	4,16	4,14	4,10	4,08	4,05	4,04
	150	6,52	5,05	4,66	4,53	4,47	4,43	4,40	4,37	4,35	4,33	4,31
	180	7,14	5,49	5,02	4,86	4,78	4,73	4,70	4,66	4,63	4,60	4,58

Tabela 236 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56510000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,26	2,06	1,57	1,36	1,24	1,16	1,10	1,02	0,97	0,88	0,83
	15	3,61	2,47	2,02	1,83	1,73	1,66	1,60	1,53	1,48	1,41	1,37
	30	3,66	2,61	2,32	2,22	2,17	2,14	2,12	2,09	2,08	2,05	2,04
	60	4,17	3,01	2,66	2,55	2,49	2,45	2,42	2,39	2,37	2,34	2,32
	90	4,54	3,24	2,82	2,67	2,59	2,54	2,51	2,46	2,43	2,39	2,36
	120	4,87	3,32	2,78	2,57	2,45	2,37	2,32	2,25	2,20	2,13	2,09
	150	5,53	3,81	3,19	2,94	2,81	2,72	2,66	2,57	2,51	2,43	2,38
	180	5,96	4,04	3,30	3,00	2,83	2,72	2,64	2,52	2,45	2,33	2,27

Tabela 237 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56539000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,96	4,95	4,44	4,19	4,03	3,92	3,83	3,71	3,62	3,46	3,37
	15	6,24	5,18	4,62	4,35	4,18	4,06	3,96	3,82	3,71	3,54	3,43
	30	6,52	5,41	4,83	4,55	4,36	4,23	4,13	3,97	3,86	3,68	3,56
	60	6,85	5,67	5,10	4,83	4,66	4,54	4,45	4,32	4,23	4,08	3,98
	90	6,94	5,78	5,32	5,13	5,03	4,95	4,90	4,83	4,78	4,70	4,66
	120	6,93	7,92	8,57	8,95	9,21	9,41	9,57	9,83	10,03	10,39	10,65
	150	7,11	8,14	8,83	9,22	9,50	9,71	9,88	10,15	10,36	10,75	11,02
	180	7,90	6,76	6,01	5,59	5,29	5,07	4,89	4,60	4,38	3,98	3,70

Tabela 238 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56570000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,21	3,34	2,95	2,78	2,68	2,60	2,55	2,47	2,42	2,33	2,28
	15	4,55	3,57	3,09	2,87	2,73	2,63	2,56	2,45	2,37	2,24	2,16
	30	4,81	3,80	3,35	3,15	3,03	2,95	2,89	2,80	2,74	2,65	2,59
	60	5,14	4,10	3,67	3,48	3,38	3,30	3,25	3,17	3,12	3,04	2,99
	90	5,41	4,17	3,66	3,44	3,31	3,23	3,17	3,08	3,02	2,92	2,87
	120	5,74	4,43	3,88	3,64	3,49	3,40	3,32	3,22	3,15	3,04	2,98
	150	6,08	4,58	3,91	3,62	3,45	3,33	3,24	3,11	3,02	2,88	2,80
	180	6,63	4,86	4,05	3,68	3,46	3,30	3,18	3,02	2,90	2,71	2,59

Tabela 239 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56610000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,98	4,65	3,80	3,34	3,02	2,78	2,58	2,27	2,04	1,62	1,33
	15	5,98	7,38	8,33	8,87	9,25	9,54	9,79	10,16	10,46	11,00	11,38
	30	6,47	7,93	8,90	9,45	9,84	10,14	10,38	10,76	11,06	11,60	11,98
	60	7,72	5,83	4,65	4,01	3,57	3,23	2,96	2,54	2,23	1,66	1,27
	90	8,07	6,19	5,00	4,36	3,91	3,57	3,30	2,88	2,56	1,99	1,59
	120	8,53	6,56	5,34	4,67	4,22	3,87	3,59	3,17	2,84	2,26	1,86
	150	9,08	6,87	5,55	4,85	4,37	4,02	3,74	3,31	2,98	2,42	2,03
	180	10,11	8,48	7,78	7,48	7,30	7,18	7,09	6,96	6,87	6,73	6,65

Tabela 240 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56640000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,84	4,37	3,46	2,96	2,62	2,37	2,16	1,84	1,60	1,17	0,87
	15	6,14	4,63	3,67	3,13	2,77	2,49	2,26	1,91	1,64	1,15	0,82
	30	6,47	4,92	3,95	3,42	3,05	2,77	2,55	2,20	1,94	1,47	1,14
	60	6,91	5,25	4,28	3,78	3,44	3,18	2,98	2,68	2,45	2,05	1,79
	90	7,06	5,43	4,62	4,23	3,98	3,81	3,67	3,48	3,34	3,10	2,95
	120	6,79	8,07	8,95	9,45	9,80	10,07	10,30	10,65	10,93	11,43	11,80
	150	7,18	8,52	9,43	9,96	10,33	10,61	10,85	11,22	11,52	12,05	12,43
	180	7,67	9,11	10,07	10,61	10,99	11,29	11,53	11,90	12,20	12,73	13,11

Tabela 241 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56659998.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,30	5,17	4,59	4,31	4,13	4,00	3,90	3,76	3,65	3,48	3,36
	15	6,53	5,40	4,81	4,53	4,35	4,22	4,12	3,97	3,86	3,68	3,57
	30	6,79	5,57	4,93	4,62	4,42	4,28	4,17	4,00	3,88	3,68	3,55
	60	7,10	5,79	5,15	4,85	4,66	4,53	4,43	4,28	4,17	4,00	3,89
	90	7,35	5,96	5,30	5,00	4,82	4,69	4,59	4,45	4,35	4,19	4,09
	120	7,54	6,24	5,55	5,22	5,00	4,85	4,73	4,55	4,42	4,21	4,07
	150	7,87	6,67	6,13	5,89	5,75	5,65	5,58	5,47	5,40	5,29	5,21
	180	8,31	6,98	6,38	6,12	5,96	5,85	5,77	5,66	5,58	5,45	5,37

Tabela 242 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56696000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	8,61	5,46	4,25	3,75	3,47	3,28	3,15	2,96	2,84	2,65	2,54
	15	8,84	5,66	4,42	3,91	3,62	3,42	3,28	3,09	2,96	2,76	2,65
	30	9,47	6,44	5,26	4,79	4,51	4,33	4,20	4,02	3,90	3,72	3,61
	60	9,68	6,87	5,69	5,19	4,89	4,69	4,54	4,33	4,19	3,97	3,83
	90	9,98	6,92	5,62	5,06	4,73	4,51	4,34	4,11	3,95	3,70	3,55
	120	9,78	6,91	5,77	5,30	5,03	4,84	4,71	4,53	4,41	4,22	4,11
	150	8,30	6,63	6,12	5,94	5,84	5,78	5,74	5,69	5,66	5,61	5,59
	180	8,79	7,18	6,25	5,77	5,45	5,22	5,03	4,75	4,54	4,17	3,93

Tabela 243 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56719998.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	5,37	4,23	3,61	3,30	3,10	2,95	2,84	2,67	2,55	2,33	2,20
	15	5,53	4,35	3,74	3,44	3,25	3,12	3,01	2,86	2,75	2,56	2,44
	30	5,74	4,48	3,87	3,59	3,41	3,28	3,19	3,05	2,95	2,80	2,70
	60	5,89	4,61	4,05	3,80	3,65	3,55	3,47	3,36	3,28	3,16	3,09
	90	6,20	4,87	4,28	4,02	3,86	3,75	3,67	3,56	3,48	3,36	3,28
	120	6,37	5,07	4,45	4,17	4,00	3,87	3,78	3,65	3,56	3,40	3,31
	150	6,52	5,15	4,55	4,29	4,13	4,02	3,94	3,83	3,75	3,63	3,55
	180	6,78	5,28	4,66	4,39	4,24	4,14	4,06	3,95	3,88	3,77	3,70

Tabela 244 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56750000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,45	2,32	1,86	1,66	1,55	1,48	1,42	1,34	1,29	1,21	1,16
	15	3,81	2,55	2,01	1,78	1,64	1,55	1,48	1,38	1,32	1,21	1,15
	30	4,24	2,89	2,29	2,01	1,85	1,74	1,65	1,53	1,45	1,31	1,23
	60	4,78	3,32	2,64	2,33	2,14	2,01	1,91	1,77	1,67	1,51	1,41
	90	5,34	3,84	3,17	2,88	2,70	2,58	2,48	2,35	2,26	2,12	2,03
	120	5,76	4,32	3,58	3,23	3,01	2,85	2,72	2,54	2,41	2,19	2,05
	150	6,46	4,85	4,03	3,63	3,39	3,21	3,07	2,88	2,73	2,49	2,34
	180	7,21	5,42	4,55	4,14	3,89	3,71	3,57	3,37	3,23	2,99	2,85

Tabela 245 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56765000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,80	1,88	1,51	1,35	1,27	1,21	1,16	1,10	1,06	1,00	0,96
	15	3,05	2,06	1,65	1,48	1,38	1,32	1,27	1,20	1,15	1,08	1,04
	30	3,53	2,41	1,89	1,65	1,51	1,40	1,33	1,22	1,14	1,02	0,94
	60	3,96	2,72	2,16	1,90	1,75	1,64	1,56	1,45	1,37	1,24	1,16
	90	4,34	3,03	2,46	2,22	2,07	1,97	1,89	1,78	1,71	1,60	1,53
	120	4,38	3,17	2,68	2,48	2,36	2,28	2,22	2,14	2,08	2,00	1,95
	150	4,77	3,43	2,88	2,66	2,53	2,44	2,38	2,29	2,23	2,14	2,08
	180	5,36	3,80	3,15	2,87	2,71	2,60	2,52	2,41	2,33	2,21	2,14

Tabela 246 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56775000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,87	3,91	3,57	3,44	3,37	3,32	3,29	3,24	3,21	3,17	3,15
	15	5,04	4,05	3,70	3,56	3,48	3,43	3,40	3,35	3,32	3,27	3,25
	30	5,33	4,27	3,88	3,73	3,64	3,59	3,55	3,49	3,46	3,40	3,37
	60	5,82	4,65	4,18	3,99	3,89	3,81	3,76	3,69	3,64	3,56	3,52
	90	6,14	4,93	4,44	4,23	4,12	4,04	3,98	3,90	3,84	3,76	3,71
	120	6,52	5,27	4,78	4,59	4,48	4,40	4,35	4,27	4,22	4,15	4,11
	150	7,02	5,60	5,07	4,85	4,73	4,65	4,59	4,51	4,45	4,37	4,33
	180	7,65	6,10	5,53	5,30	5,17	5,09	5,03	4,94	4,89	4,81	4,76

Tabela 247 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56787000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,09	5,07	4,56	4,32	4,16	4,06	3,97	3,85	3,77	3,62	3,53
	15	6,32	5,25	4,71	4,45	4,28	4,16	4,07	3,94	3,84	3,68	3,57
	30	6,60	5,48	4,89	4,60	4,41	4,27	4,17	4,01	3,89	3,70	3,57
	60	6,90	5,76	5,19	4,92	4,75	4,62	4,53	4,39	4,29	4,13	4,02
	90	7,09	5,98	5,43	5,17	5,01	4,89	4,80	4,68	4,58	4,43	4,34
	120	7,39	6,24	5,67	5,41	5,24	5,13	5,04	4,91	4,82	4,67	4,57
	150	7,87	6,70	6,14	5,88	5,71	5,60	5,51	5,39	5,30	5,16	5,06
	180	8,41	7,06	6,41	6,11	5,93	5,80	5,70	5,55	5,45	5,28	5,18

Tabela 248 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56800000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,11	1,13	0,57	0,28	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	2,40	1,31	0,69	0,37	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	2,85	1,76	1,16	0,85	0,64	0,50	0,38	0,20	0,07	0,00	0,00
	60	3,26	2,11	1,50	1,21	1,02	0,89	0,78	0,62	0,51	0,32	0,20
	90	3,58	2,45	1,87	1,60	1,43	1,31	1,21	1,07	0,97	0,81	0,70
	120	3,90	2,73	2,15	1,88	1,71	1,59	1,49	1,36	1,26	1,10	1,00
	150	4,20	2,99	2,42	2,17	2,01	1,90	1,82	1,70	1,62	1,49	1,40
	180	4,59	3,37	2,82	2,58	2,44	2,34	2,26	2,16	2,08	1,96	1,89

Tabela 249 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56825000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,63	3,15	2,37	1,99	1,75	1,57	1,43	1,23	1,08	0,83	0,67
	15	5,12	3,84	3,13	2,77	2,53	2,35	2,22	2,01	1,86	1,60	1,43
	30	5,56	4,26	3,55	3,19	2,96	2,79	2,65	2,45	2,31	2,06	1,89
	60	6,28	4,91	4,13	3,72	3,45	3,26	3,10	2,86	2,68	2,38	2,17
	90	6,67	5,28	4,50	4,10	3,84	3,65	3,50	3,28	3,11	2,82	2,63
	120	6,98	5,51	4,68	4,25	3,96	3,75	3,59	3,34	3,15	2,83	2,61
	150	7,38	6,27	5,84	5,66	5,55	5,48	5,43	5,36	5,31	5,24	5,20
	180	7,86	6,68	6,22	6,03	5,93	5,85	5,80	5,73	5,68	5,61	5,57

Tabela 250 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56845000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,53	1,89	1,53	1,35	1,24	1,15	1,09	0,99	0,92	0,79	0,71
	15	2,64	1,97	1,60	1,41	1,29	1,20	1,13	1,02	0,95	0,81	0,73
	30	2,83	2,07	1,67	1,47	1,35	1,25	1,18	1,08	1,00	0,87	0,78
	60	3,09	2,22	1,78	1,56	1,43	1,33	1,26	1,15	1,07	0,94	0,85
	90	3,33	2,40	1,94	1,72	1,59	1,49	1,42	1,31	1,24	1,11	1,03
	120	3,43	2,51	2,07	1,87	1,74	1,66	1,59	1,50	1,43	1,32	1,25
	150	3,62	2,60	2,14	1,93	1,81	1,72	1,66	1,56	1,50	1,40	1,33
	180	3,88	2,80	2,33	2,13	2,00	1,92	1,85	1,76	1,70	1,60	1,54

Tabela 251 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56846000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	10,88	4,85	2,13	0,92	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	11,11	5,00	2,25	1,03	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	11,46	5,30	2,52	1,29	0,54	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	11,97	5,75	2,90	1,63	0,86	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	90	11,50	5,60	3,04	1,93	1,26	0,81	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
	120	11,93	5,88	3,26	2,13	1,45	0,98	0,64	0,15	0,00	0,00	0,00
	150	11,15	5,37	3,09	2,17	1,63	1,28	1,02	0,66	0,42	0,05	0,00
	180	11,66	5,72	3,37	2,41	1,86	1,49	1,22	0,85	0,59	0,21	0,00

Tabela 252 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56850000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,97	3,74	3,07	2,73	2,52	2,36	2,23	2,05	1,91	1,68	1,53
	15	5,22	3,94	3,23	2,86	2,63	2,45	2,31	2,11	1,96	1,70	1,52
	30	5,45	4,16	3,42	3,04	2,79	2,61	2,46	2,24	2,08	1,80	1,61
	60	5,89	5,16	4,73	4,52	4,37	4,26	4,18	4,05	3,95	3,79	3,68
	90	6,29	5,55	5,07	4,82	4,64	4,50	4,39	4,23	4,10	3,87	3,71
	120	6,55	5,78	5,31	5,07	4,90	4,78	4,68	4,53	4,41	4,21	4,07
	150	6,74	6,03	5,56	5,30	5,12	4,98	4,86	4,68	4,54	4,29	4,11
	180	6,84	7,62	8,13	8,43	8,63	8,79	8,92	9,12	9,27	9,56	9,75

Tabela 253 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56851000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	0,37	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	0,43	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	0,49	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	0,63	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	90	0,88	0,30	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	120	0,75	0,31	0,17	0,12	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02
	150	0,83	0,33	0,17	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
	180	1,02	0,42	0,19	0,10	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 254 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56860000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,98	2,26	1,93	1,79	1,70	1,64	1,59	1,53	1,48	1,41	1,36
	15	3,15	2,34	1,98	1,82	1,72	1,65	1,60	1,53	1,48	1,40	1,35
	30	3,43	2,51	2,07	1,86	1,74	1,65	1,58	1,48	1,41	1,30	1,23
	60	3,91	2,87	2,39	2,17	2,04	1,95	1,88	1,78	1,71	1,60	1,53
	90	3,93	2,86	2,44	2,26	2,16	2,09	2,04	1,97	1,93	1,86	1,81
	120	4,02	2,94	2,54	2,39	2,30	2,25	2,21	2,15	2,11	2,06	2,03
	150	4,14	3,10	2,55	2,29	2,12	2,00	1,90	1,76	1,66	1,49	1,38
	180	4,38	3,31	2,77	2,51	2,35	2,23	2,14	2,01	1,92	1,76	1,66

Tabela 255 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56870000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	1,81	1,36	1,22	1,17	1,14	1,12	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06
	15	1,91	1,46	1,32	1,27	1,24	1,22	1,21	1,20	1,19	1,17	1,17
	30	2,27	1,71	1,51	1,43	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,26	1,25
	60	2,49	1,91	1,71	1,64	1,59	1,57	1,55	1,52	1,51	1,48	1,47
	90	2,88	2,23	1,98	1,88	1,82	1,78	1,75	1,72	1,69	1,65	1,63
	120	3,12	2,43	2,13	2,01	1,93	1,88	1,84	1,79	1,75	1,69	1,65
	150	3,13	2,49	2,25	2,15	2,10	2,07	2,04	2,01	1,99	1,95	1,94
	180	3,42	2,67	2,36	2,23	2,16	2,11	2,08	2,03	1,99	1,94	1,91

Tabela 256 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56891900.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	1,71	1,19	1,00	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78
	15	1,81	1,26	1,05	0,97	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78
	30	1,97	1,34	1,11	1,02	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,82	0,81
	60	2,19	1,50	1,23	1,12	1,06	1,02	0,99	0,94	0,92	0,87	0,85
	90	2,63	1,84	1,49	1,34	1,25	1,18	1,14	1,07	1,02	0,95	0,90
	120	2,89	2,00	1,58	1,39	1,27	1,19	1,13	1,04	0,98	0,88	0,82
	150	3,08	2,13	1,70	1,51	1,39	1,31	1,25	1,16	1,10	1,00	0,94
	180	3,26	2,24	1,78	1,57	1,44	1,35	1,28	1,19	1,12	1,01	0,95

Tabela 257 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56920000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,51	3,68	3,32	3,17	3,08	3,01	2,97	2,90	2,86	2,79	2,75
	15	4,71	3,84	3,44	3,26	3,16	3,08	3,03	2,95	2,89	2,81	2,75
	30	4,95	4,02	3,58	3,39	3,27	3,18	3,12	3,03	2,96	2,86	2,79
	60	5,29	4,28	3,82	3,61	3,48	3,39	3,32	3,23	3,16	3,05	2,98
	90	5,51	4,51	4,10	3,92	3,82	3,74	3,69	3,62	3,57	3,49	3,44
	120	5,78	4,93	4,39	4,10	3,90	3,75	3,63	3,44	3,30	3,05	2,87
	150	6,01	5,11	4,54	4,22	4,01	3,85	3,72	3,52	3,36	3,09	2,89
	180	6,35	5,34	4,73	4,39	4,17	4,00	3,86	3,65	3,49	3,21	3,02

Tabela 258 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56935000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,55	2,22	1,65	1,41	1,26	1,16	1,09	0,99	0,92	0,80	0,74
	15	3,76	2,36	1,79	1,56	1,42	1,33	1,27	1,17	1,11	1,01	0,96
	30	4,00	2,58	2,06	1,86	1,74	1,66	1,61	1,54	1,49	1,41	1,37
	60	4,60	3,03	2,40	2,14	1,99	1,89	1,82	1,71	1,65	1,54	1,48
	90	4,90	3,35	2,64	2,32	2,12	1,99	1,88	1,74	1,63	1,47	1,36
	120	5,22	3,78	3,05	2,70	2,48	2,32	2,20	2,02	1,89	1,68	1,54
	150	5,55	3,97	3,18	2,80	2,56	2,39	2,26	2,07	1,93	1,70	1,56
	180	6,01	4,39	3,57	3,17	2,92	2,74	2,60	2,40	2,25	2,01	1,85

Tabela 259 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56940002.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,43	1,77	1,49	1,37	1,29	1,24	1,21	1,16	1,12	1,06	1,03
	15	2,69	1,97	1,63	1,47	1,37	1,30	1,25	1,18	1,12	1,04	0,98
	30	2,93	2,15	1,76	1,59	1,48	1,40	1,34	1,25	1,19	1,09	1,03
	60	3,35	2,53	2,10	1,90	1,77	1,68	1,61	1,51	1,43	1,31	1,23
	90	3,53	2,58	2,12	1,91	1,78	1,68	1,61	1,51	1,43	1,31	1,24
	120	3,66	2,75	2,25	2,00	1,84	1,72	1,63	1,50	1,40	1,23	1,12
	150	3,77	2,77	2,28	2,05	1,90	1,80	1,72	1,61	1,53	1,39	1,31
	180	4,02	2,93	2,40	2,16	2,00	1,90	1,81	1,69	1,61	1,47	1,38

Tabela 260 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56960005.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,01	1,96	1,43	1,17	1,00	0,88	0,79	0,66	0,56	0,40	0,30
	15	3,45	2,17	1,53	1,22	1,03	0,90	0,79	0,64	0,53	0,35	0,24
	30	3,71	2,36	1,72	1,43	1,25	1,12	1,03	0,89	0,79	0,64	0,54
	60	4,12	2,68	2,06	1,80	1,64	1,53	1,45	1,34	1,26	1,14	1,06
	90	4,45	3,00	2,42	2,18	2,04	1,95	1,88	1,79	1,72	1,62	1,57
	120	4,95	3,33	2,61	2,29	2,10	1,97	1,87	1,73	1,64	1,48	1,39
	150	5,29	3,53	2,75	2,41	2,20	2,06	1,95	1,80	1,69	1,53	1,42
	180	6,02	4,14	3,23	2,81	2,54	2,36	2,22	2,01	1,86	1,62	1,47

Tabela 261 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56976000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,65	3,57	3,15	2,97	2,87	2,81	2,76	2,69	2,65	2,58	2,54
	15	4,98	3,92	3,53	3,37	3,28	3,22	3,18	3,12	3,08	3,02	2,99
	30	5,34	4,15	3,73	3,57	3,48	3,42	3,38	3,33	3,29	3,24	3,21
	60	5,57	4,35	3,97	3,84	3,78	3,73	3,70	3,67	3,64	3,61	3,59
	90	6,42	4,94	4,45	4,26	4,16	4,10	4,05	3,99	3,96	3,90	3,87
	120	6,40	5,20	4,86	4,75	4,69	4,66	4,63	4,60	4,59	4,56	4,55
	150	6,76	5,50	5,16	5,06	5,00	4,97	4,95	4,93	4,91	4,89	4,88
	180	7,39	6,04	5,69	5,58	5,53	5,50	5,48	5,45	5,44	5,42	5,41

Tabela 262 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56978000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,68	2,94	2,25	1,97	1,80	1,69	1,61	1,50	1,43	1,31	1,24
	15	5,23	3,45	2,71	2,40	2,21	2,09	2,00	1,87	1,78	1,64	1,56
	30	5,83	4,08	3,36	3,06	2,89	2,77	2,68	2,55	2,47	2,34	2,26
	60	6,40	4,56	3,82	3,52	3,35	3,23	3,15	3,03	2,95	2,83	2,76
	90	7,22	5,56	4,97	4,74	4,61	4,53	4,47	4,40	4,34	4,27	4,23
	120	7,62	5,97	5,29	5,00	4,83	4,72	4,64	4,52	4,44	4,32	4,25
	150	8,21	6,44	5,74	5,45	5,28	5,17	5,09	4,98	4,90	4,78	4,71
	180	8,92	7,05	6,31	6,00	5,83	5,71	5,63	5,51	5,43	5,31	5,24

Tabela 263 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56983000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,10	4,80	4,24	3,99	3,85	3,75	3,68	3,57	3,50	3,39	3,32
	15	6,32	5,02	4,46	4,22	4,08	3,98	3,91	3,81	3,74	3,63	3,57
	30	6,70	5,40	4,85	4,62	4,48	4,39	4,32	4,22	4,16	4,05	3,99
	60	7,22	5,88	5,30	5,06	4,91	4,81	4,74	4,63	4,56	4,45	4,38
	90	7,61	6,20	5,61	5,36	5,22	5,12	5,04	4,94	4,87	4,76	4,69
	120	7,85	6,53	5,95	5,69	5,54	5,44	5,36	5,24	5,17	5,04	4,97
	150	8,33	7,01	6,48	6,27	6,14	6,06	5,99	5,91	5,85	5,76	5,71
	180	8,95	7,47	6,87	6,62	6,47	6,38	6,31	6,21	6,14	6,04	5,98

Tabela 264 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56988500.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	6,12	4,99	4,54	4,35	4,24	4,17	4,11	4,04	3,99	3,91	3,87
	15	6,52	5,22	4,68	4,46	4,32	4,23	4,17	4,07	4,01	3,91	3,85
	30	6,94	5,50	4,93	4,70	4,56	4,47	4,40	4,31	4,25	4,15	4,10
	60	7,56	5,90	5,26	5,00	4,85	4,76	4,69	4,59	4,52	4,42	4,37
	90	7,90	6,20	5,59	5,35	5,21	5,12	5,06	4,98	4,92	4,84	4,79
	120	7,85	6,24	5,63	5,38	5,24	5,15	5,08	4,99	4,93	4,84	4,79
	150	7,25	6,29	6,05	5,97	5,93	5,91	5,89	5,88	5,87	5,85	5,84
	180	7,65	6,59	6,31	6,22	6,18	6,15	6,14	6,11	6,10	6,08	6,07

Tabela 265 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56989001.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,50	2,75	2,42	2,28	2,19	2,13	2,09	2,03	1,98	1,91	1,87
	15	3,69	2,94	2,61	2,47	2,38	2,32	2,28	2,22	2,17	2,11	2,07
	30	3,93	3,15	2,84	2,72	2,65	2,60	2,57	2,52	2,49	2,44	2,41
	60	4,14	3,34	3,07	2,96	2,90	2,87	2,84	2,81	2,78	2,75	2,73
	90	4,45	3,59	3,28	3,16	3,10	3,05	3,02	2,98	2,95	2,91	2,88
	120	4,72	3,84	3,52	3,39	3,32	3,27	3,24	3,19	3,16	3,12	3,09
	150	4,90	4,02	3,72	3,60	3,54	3,50	3,47	3,43	3,40	3,37	3,35
	180	5,29	4,30	3,96	3,83	3,76	3,72	3,69	3,65	3,62	3,58	3,56

Tabela 266 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56989400.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,65	2,92	2,63	2,51	2,44	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,19
	15	3,86	3,13	2,83	2,70	2,63	2,58	2,54	2,49	2,46	2,40	2,37
	30	4,10	3,32	3,04	2,93	2,87	2,83	2,80	2,76	2,73	2,69	2,67
	60	4,40	3,57	3,29	3,18	3,13	3,09	3,06	3,03	3,00	2,97	2,95
	90	4,72	3,80	3,47	3,35	3,28	3,23	3,20	3,15	3,12	3,08	3,05
	120	4,81	4,00	3,74	3,65	3,60	3,57	3,54	3,52	3,50	3,47	3,46
	150	5,10	4,30	4,07	3,98	3,94	3,91	3,90	3,87	3,86	3,84	3,83
	180	5,53	4,64	4,37	4,28	4,23	4,20	4,18	4,15	4,14	4,12	4,10

Tabela 267 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56990000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,16	2,38	1,93	1,70	1,54	1,43	1,34	1,20	1,09	0,92	0,79
	15	3,32	2,59	2,21	2,02	1,90	1,82	1,75	1,65	1,58	1,46	1,39
	30	3,65	2,94	2,56	2,37	2,24	2,15	2,08	1,98	1,90	1,77	1,68
	60	3,97	3,20	2,79	2,58	2,45	2,36	2,28	2,17	2,09	1,96	1,87
	90	4,20	3,40	3,03	2,85	2,75	2,67	2,62	2,54	2,48	2,38	2,33
	120	4,42	3,68	3,28	3,08	2,95	2,86	2,78	2,67	2,60	2,46	2,37
	150	4,63	3,89	3,50	3,32	3,20	3,11	3,05	2,95	2,88	2,77	2,70
	180	5,03	4,23	3,81	3,60	3,47	3,38	3,31	3,20	3,12	2,99	2,90

Tabela 268 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56990990.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,97	1,80	1,30	1,09	0,97	0,88	0,82	0,73	0,67	0,58	0,52
	15	3,84	2,68	2,10	1,82	1,65	1,52	1,42	1,28	1,18	1,01	0,91
	30	4,77	3,22	2,53	2,23	2,05	1,93	1,83	1,70	1,61	1,47	1,38
	60	5,91	4,26	3,74	3,55	3,45	3,39	3,35	3,29	3,26	3,21	3,18
	90	6,14	4,58	4,16	4,02	3,95	3,91	3,88	3,85	3,83	3,80	3,78
	120	6,73	5,31	4,68	4,41	4,24	4,13	4,05	3,93	3,84	3,71	3,63
	150	7,60	6,01	5,11	4,64	4,34	4,11	3,94	3,67	3,47	3,13	2,91
	180	8,65	7,07	6,06	5,51	5,13	4,83	4,60	4,24	3,96	3,46	3,12

Tabela 269 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56991500.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	4,50	3,33	2,85	2,64	2,52	2,44	2,37	2,29	2,23	2,14	2,09
	15	4,81	3,57	3,04	2,82	2,69	2,61	2,54	2,45	2,39	2,29	2,24
	30	5,20	3,83	3,28	3,05	2,92	2,83	2,76	2,67	2,61	2,52	2,46
	60	5,60	4,13	3,55	3,31	3,18	3,09	3,02	2,93	2,87	2,78	2,72
	90	5,98	4,44	3,82	3,57	3,42	3,32	3,25	3,15	3,08	2,97	2,91
	120	6,05	4,63	4,11	3,90	3,78	3,71	3,65	3,58	3,53	3,46	3,41
	150	6,14	4,83	4,39	4,23	4,15	4,09	4,05	4,00	3,97	3,92	3,89
	180	6,56	5,18	4,72	4,56	4,47	4,41	4,37	4,32	4,28	4,24	4,21

Tabela 270 – Vazões mínimas (l/s/km²) para a estação 56992000.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	2,76	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	2,92	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	3,27	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	3,30	2,03	1,50	1,27	1,13	1,04	0,97	0,88	0,81	0,71	0,65
	90	3,79	2,53	1,99	1,75	1,61	1,51	1,44	1,34	1,27	1,16	1,09
	120	4,04	2,78	2,25	2,03	1,89	1,80	1,74	1,65	1,58	1,49	1,43
	150	4,32	2,98	2,44	2,22	2,10	2,01	1,95	1,87	1,81	1,72	1,67
	180	4,60	3,24	2,74	2,55	2,44	2,37	2,32	2,25	2,21	2,14	2,10

Tabela 271 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56993551.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	0,60	0,19	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	0,69	0,27	0,12	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	0,84	0,37	0,22	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
	60	1,11	0,51	0,31	0,23	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06
	90	1,41	0,71	0,46	0,36	0,31	0,28	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14
	120	1,53	0,84	0,63	0,55	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40
	150	1,83	1,02	0,77	0,68	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,51	0,49
	180	2,13	1,23	0,96	0,87	0,83	0,80	0,78	0,75	0,74	0,72	0,71

Tabela 272 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56994500.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,28	2,42	1,88	1,58	1,37	1,21	1,09	0,89	0,74	0,47	0,28
	15	3,39	2,50	1,95	1,66	1,45	1,30	1,18	0,99	0,85	0,59	0,42
	30	3,55	2,55	1,99	1,71	1,52	1,39	1,28	1,12	1,00	0,79	0,66
	60	3,76	2,69	2,16	1,91	1,75	1,64	1,55	1,43	1,34	1,19	1,10
	90	3,97	2,89	2,37	2,13	1,98	1,87	1,79	1,67	1,59	1,45	1,36
	120	4,06	3,00	2,54	2,34	2,22	2,13	2,07	1,98	1,92	1,82	1,76
	150	4,28	3,20	2,75	2,57	2,46	2,38	2,33	2,25	2,20	2,12	2,07
	180	4,58	3,48	3,05	2,88	2,78	2,71	2,66	2,60	2,55	2,49	2,45

Tabela 273 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56994510.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	3,16	2,23	1,65	1,34	1,14	0,98	0,85	0,66	0,51	0,25	0,07
	15	3,27	2,31	1,73	1,43	1,22	1,07	0,95	0,76	0,62	0,38	0,21
	30	3,42	2,36	1,78	1,49	1,30	1,16	1,05	0,89	0,77	0,56	0,43
	60	3,64	2,51	1,96	1,70	1,54	1,42	1,34	1,21	1,12	0,97	0,87
	90	3,84	2,73	2,19	1,94	1,79	1,68	1,60	1,48	1,39	1,25	1,17
	120	3,93	2,83	2,35	2,14	2,01	1,92	1,86	1,76	1,70	1,59	1,53
	150	4,15	3,02	2,55	2,34	2,23	2,15	2,09	2,00	1,95	1,86	1,81
	180	4,45	3,27	2,80	2,61	2,50	2,42	2,37	2,29	2,24	2,16	2,11

Tabela 274 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56995500.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	1,10	0,46	0,20	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	1,30	0,59	0,28	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	1,54	0,71	0,35	0,20	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	1,95	0,92	0,47	0,27	0,15	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	90	2,44	1,13	0,55	0,30	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	120	2,51	1,22	0,69	0,46	0,34	0,25	0,18	0,09	0,03	0,00	0,00
	150	2,46	1,14	0,67	0,49	0,39	0,33	0,28	0,22	0,18	0,12	0,08
	180	2,89	1,41	0,88	0,66	0,55	0,47	0,41	0,34	0,29	0,22	0,17

Tabela 275 – Vazões mínimas (l/s/km^2) para a estação 56998400.

		Tempo de Retorno (anos)										
		2	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**50**	**75**	**100**
Duração (dias)	7	1,45	0,58	0,29	0,19	0,13	0,09	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
	15	1,67	0,63	0,26	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30	2,07	0,80	0,34	0,16	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	2,75	1,11	0,49	0,24	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	90	3,24	1,38	0,71	0,44	0,30	0,20	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
	120	3,14	1,69	1,25	1,10	1,02	0,97	0,94	0,89	0,87	0,83	0,81
	150	3,18	1,74	1,35	1,22	1,16	1,12	1,09	1,06	1,04	1,01	1,00
	180	3,49	2,04	1,65	1,53	1,47	1,43	1,41	1,38	1,36	1,33	1,32

Figura 617 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Porto Firme.

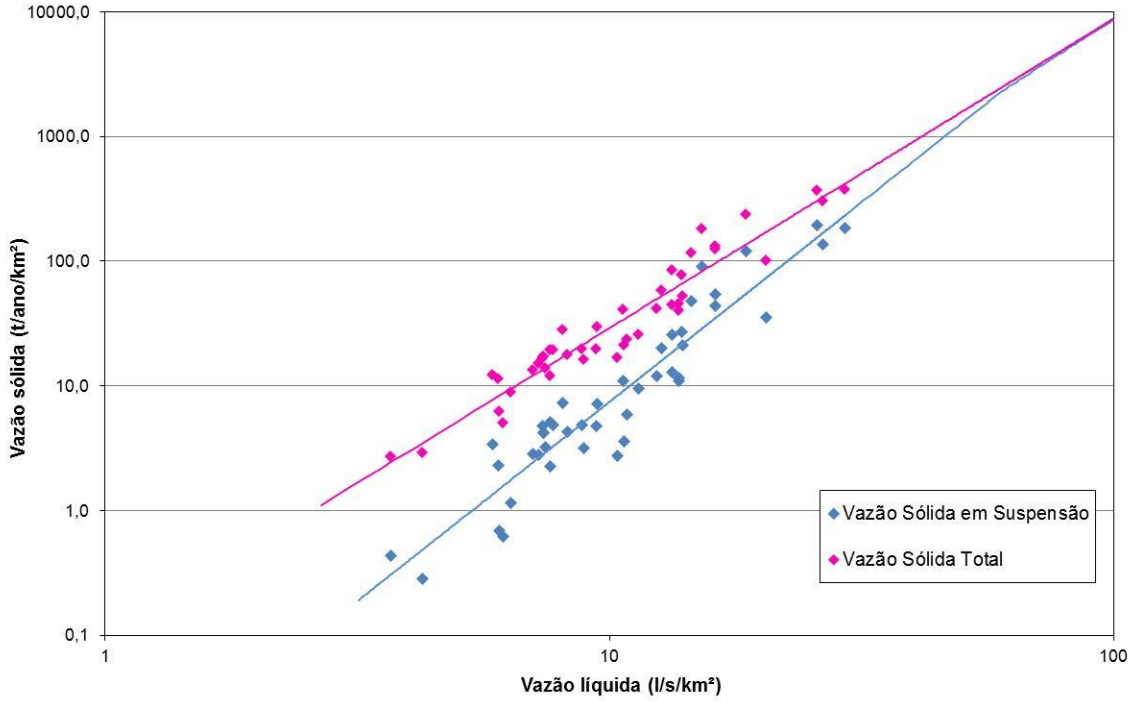


Figura 618 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Ponte Nova Jusante.

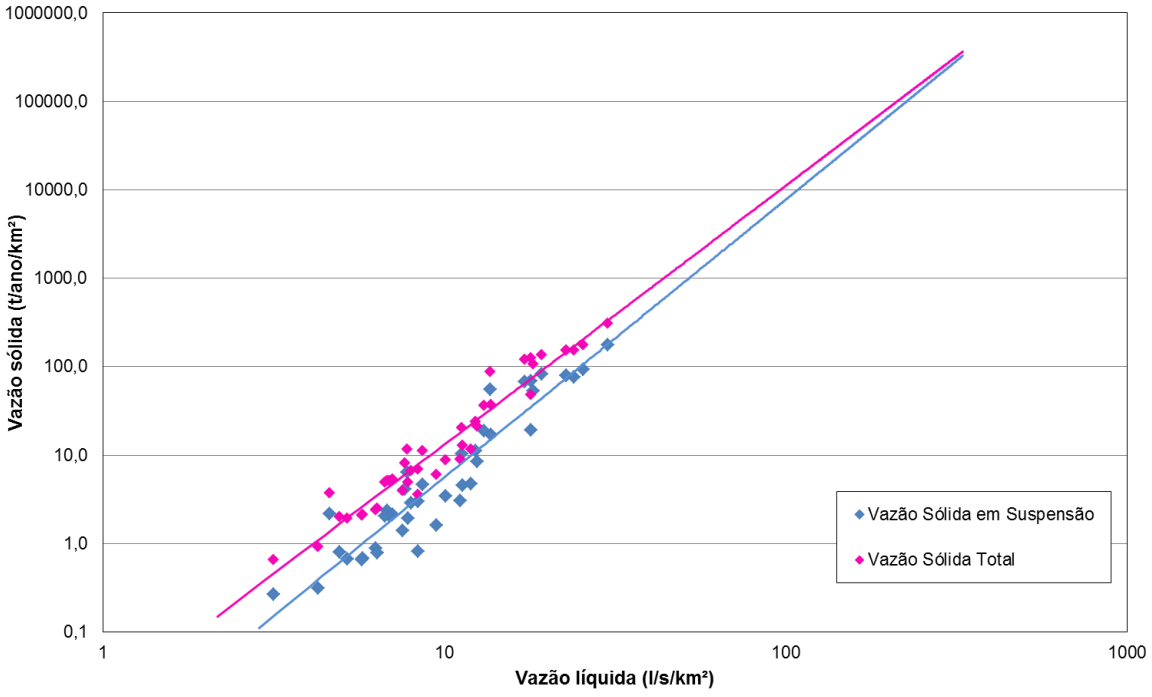


Figura 619 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Acaiaca Jusante.

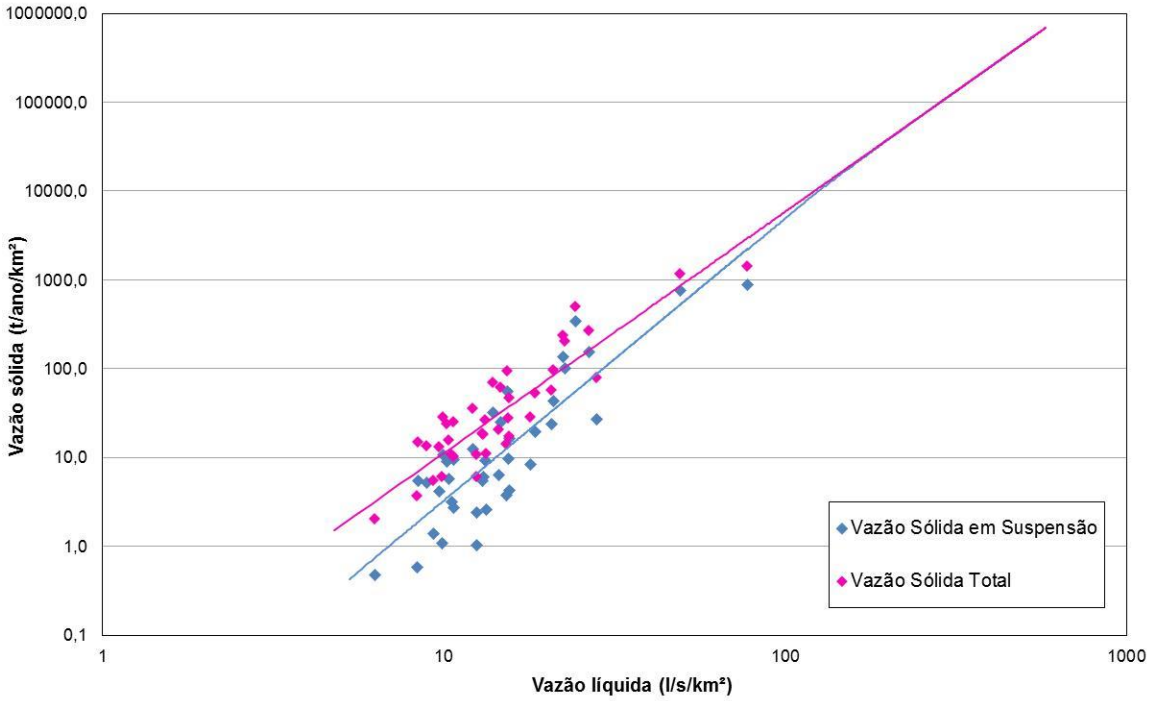


Figura 620 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Rio Casca.

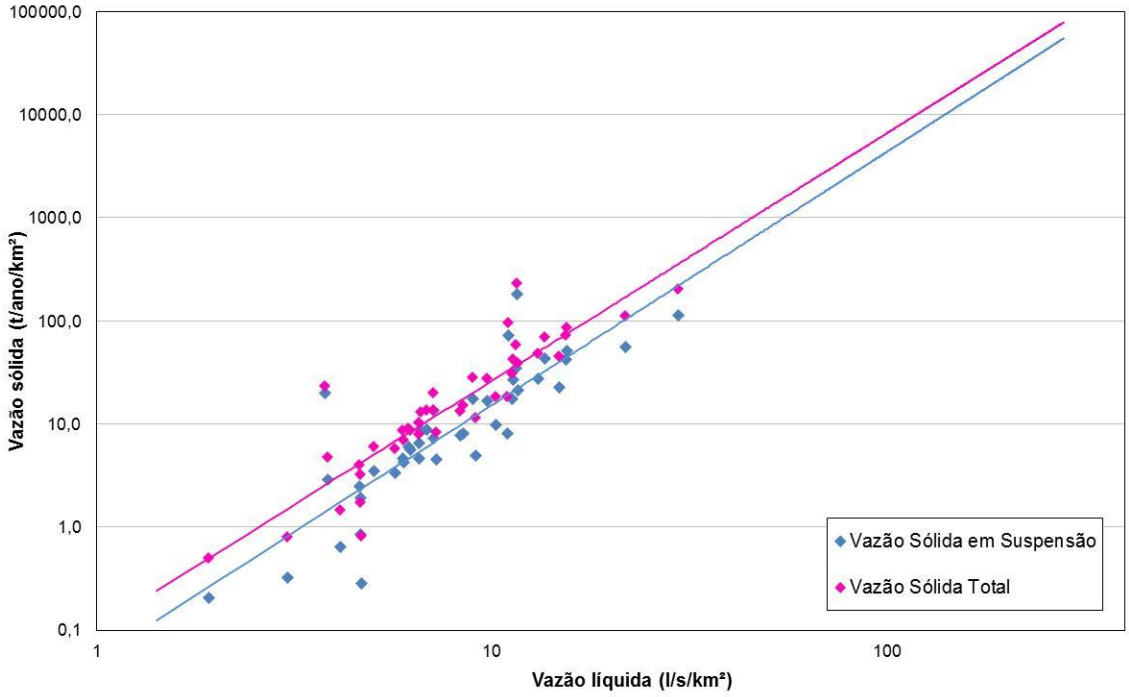


Figura 621 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Cachoeira D'Antas.

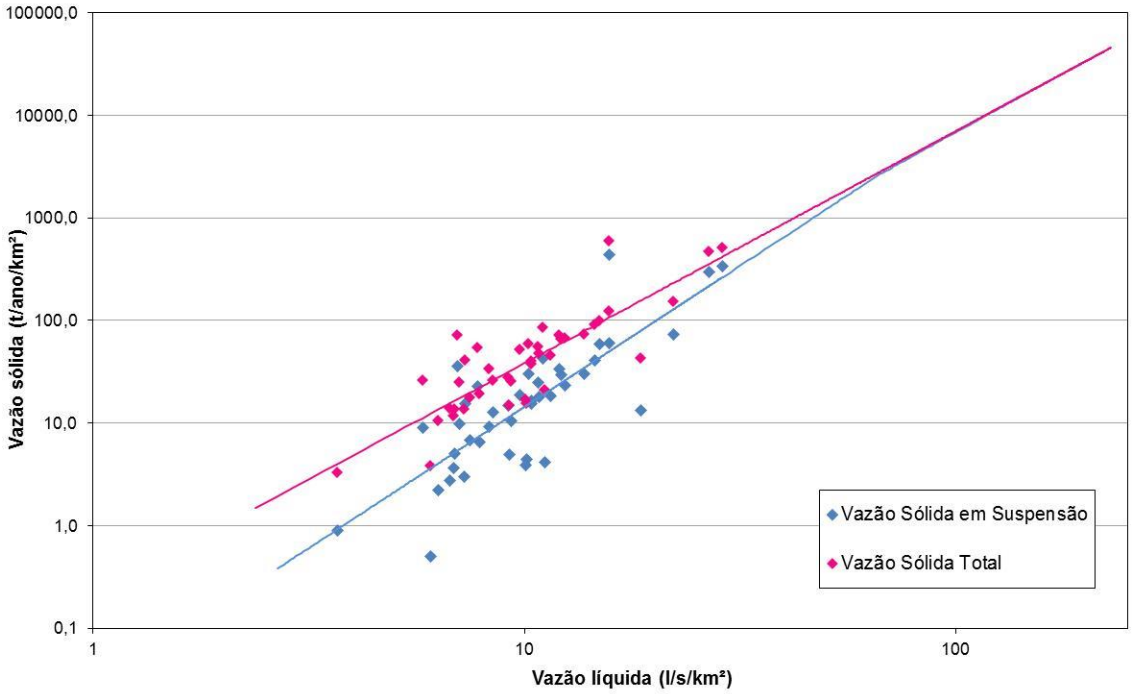


Figura 622 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Raul Soares Montante.

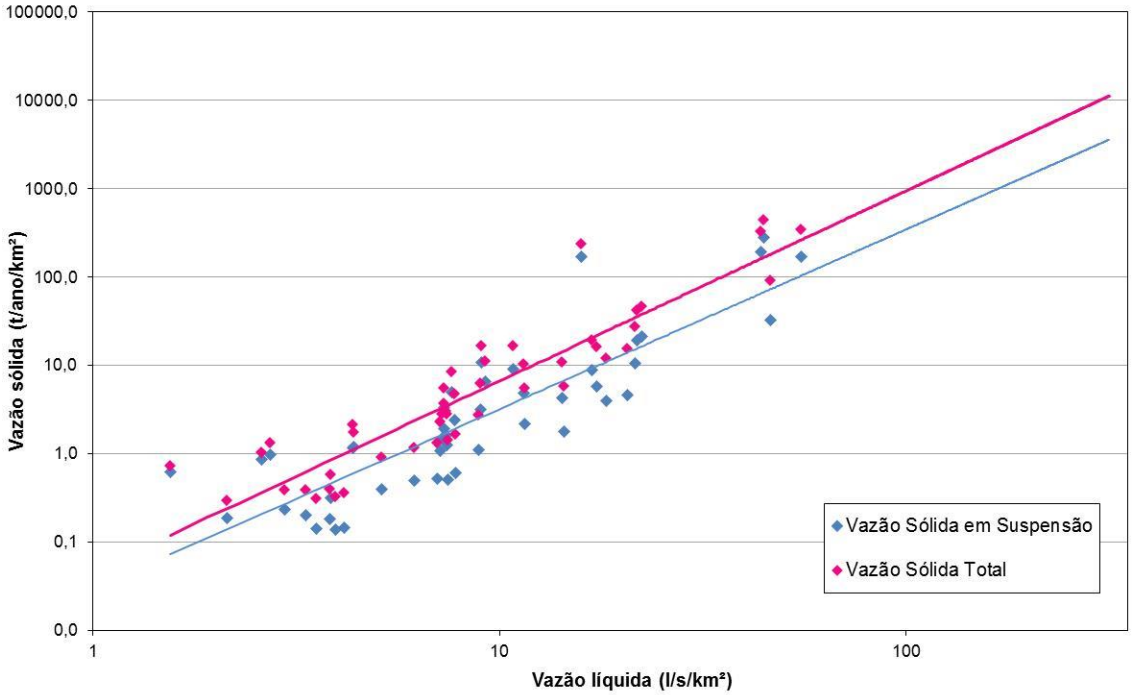


Figura 623 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Cachoeira dos Óculos Montante.

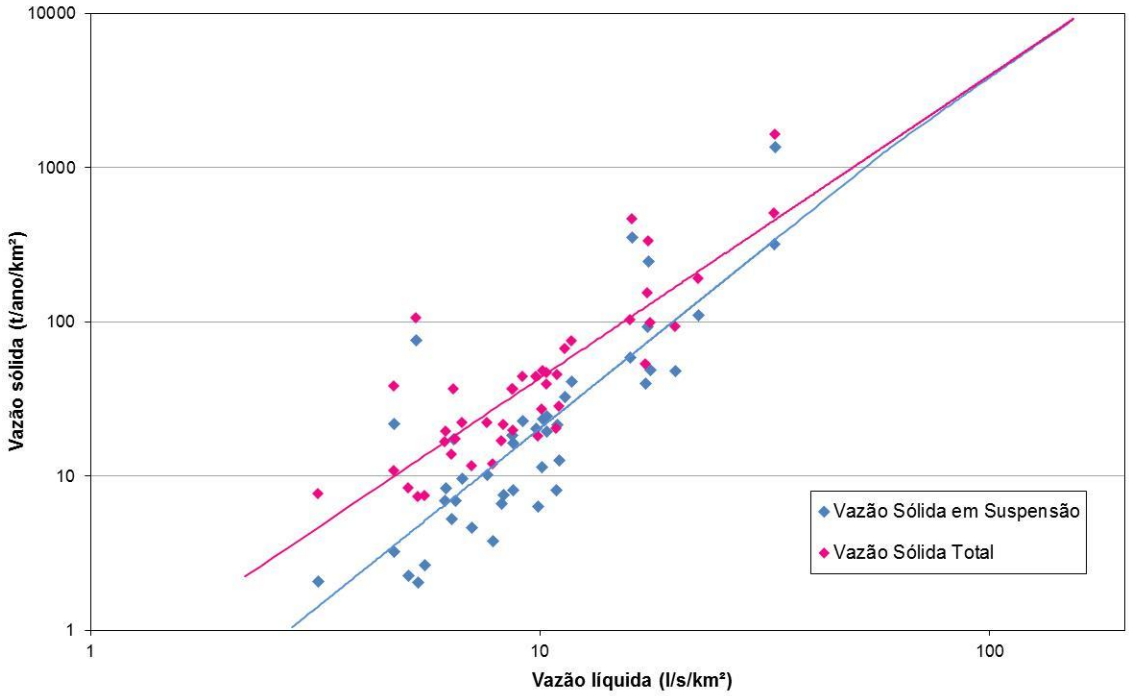


Figura 624 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Mario de Carvalho.

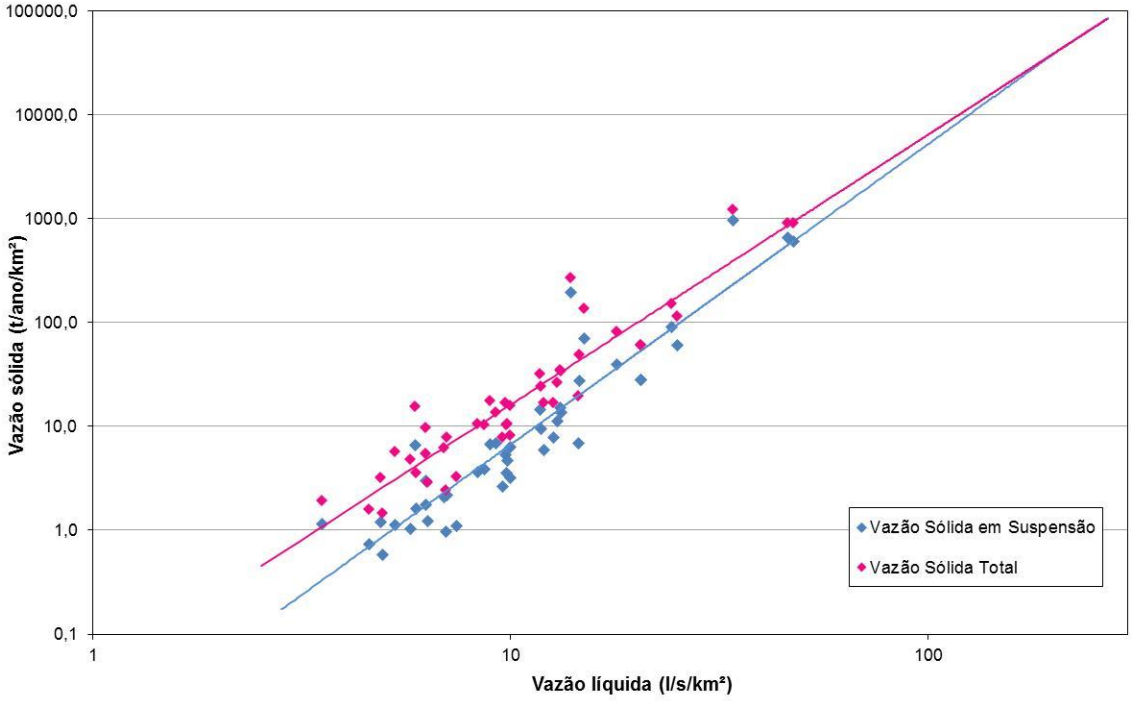


Figura 625 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Ferros.

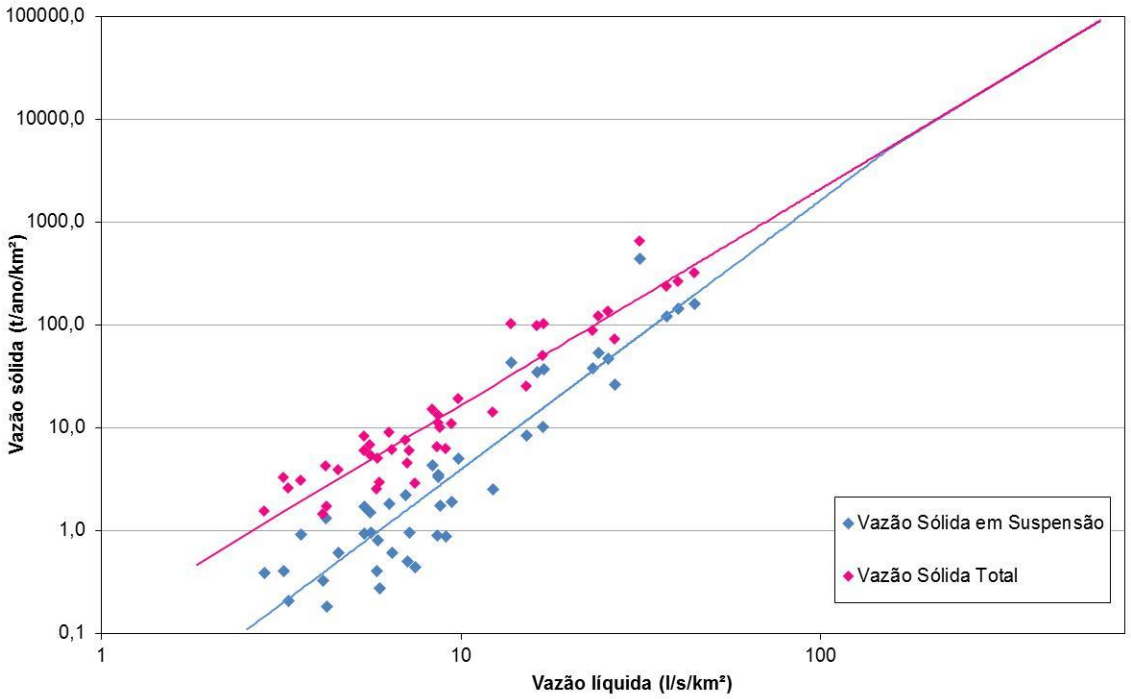


Figura 626 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Barraca.

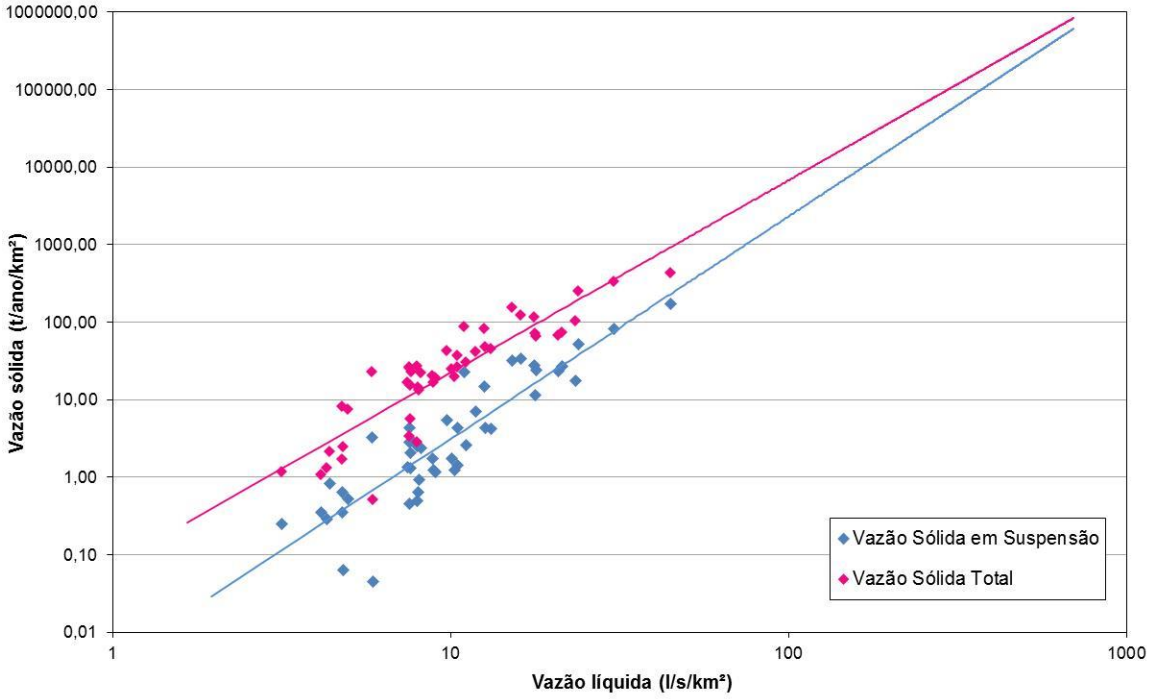


Figura 627 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Senhora do Porto.

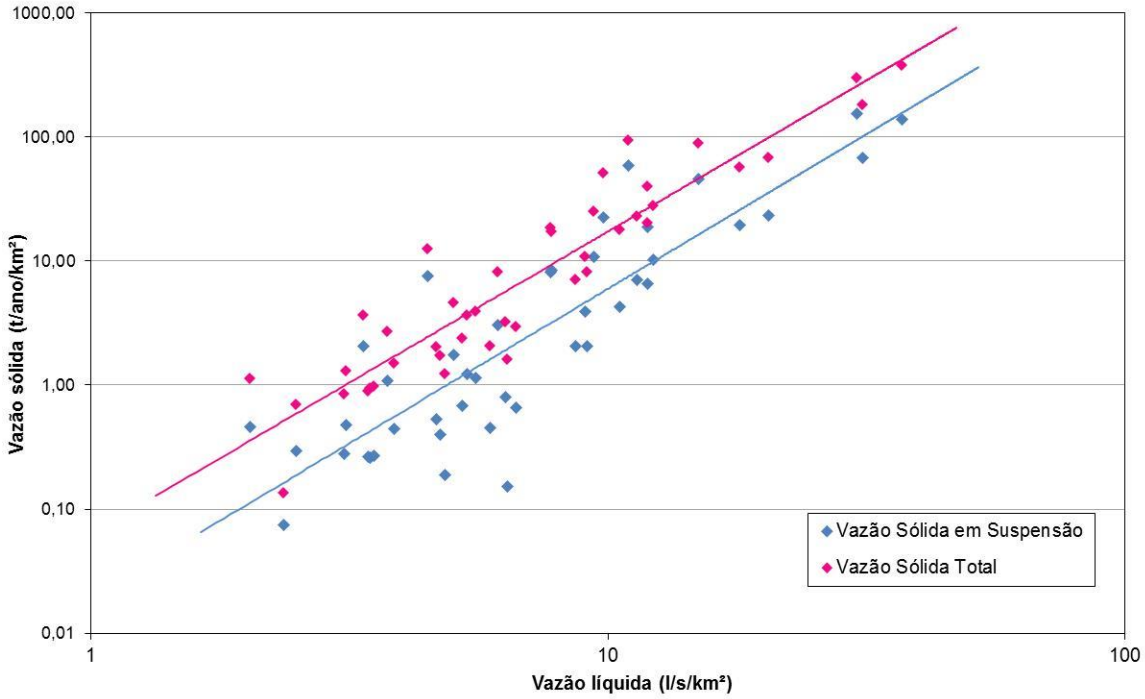


Figura 628 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Naque Velho.

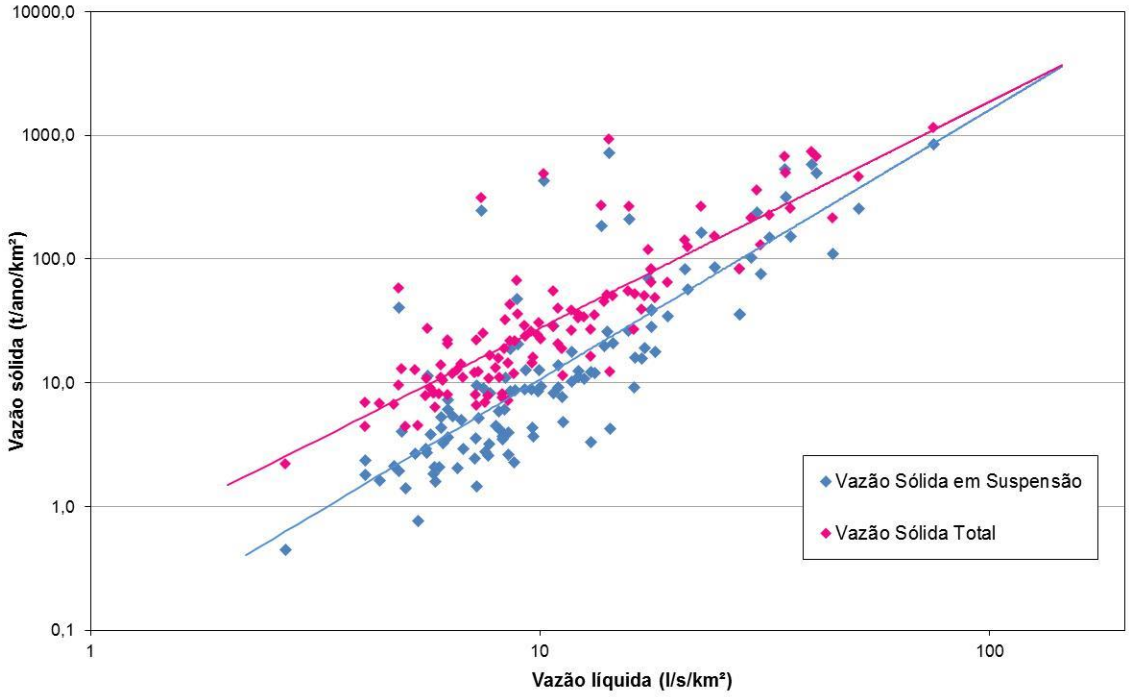


Figura 629 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Porto Santa Rita.

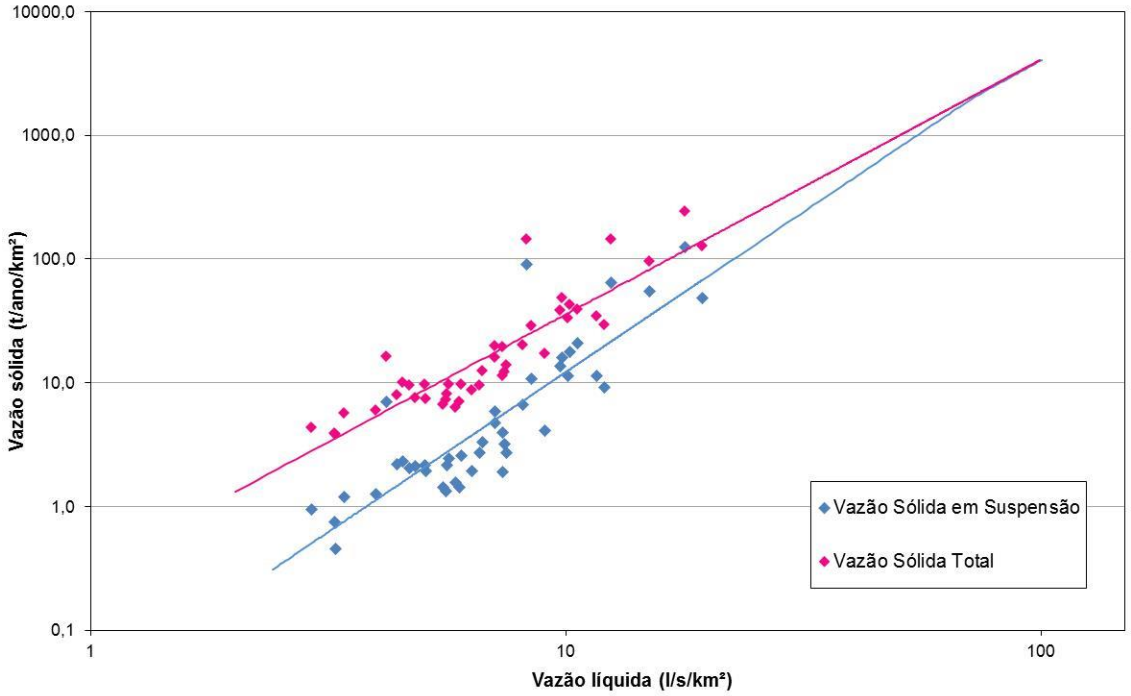


Figura 630 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Governador Valadares.

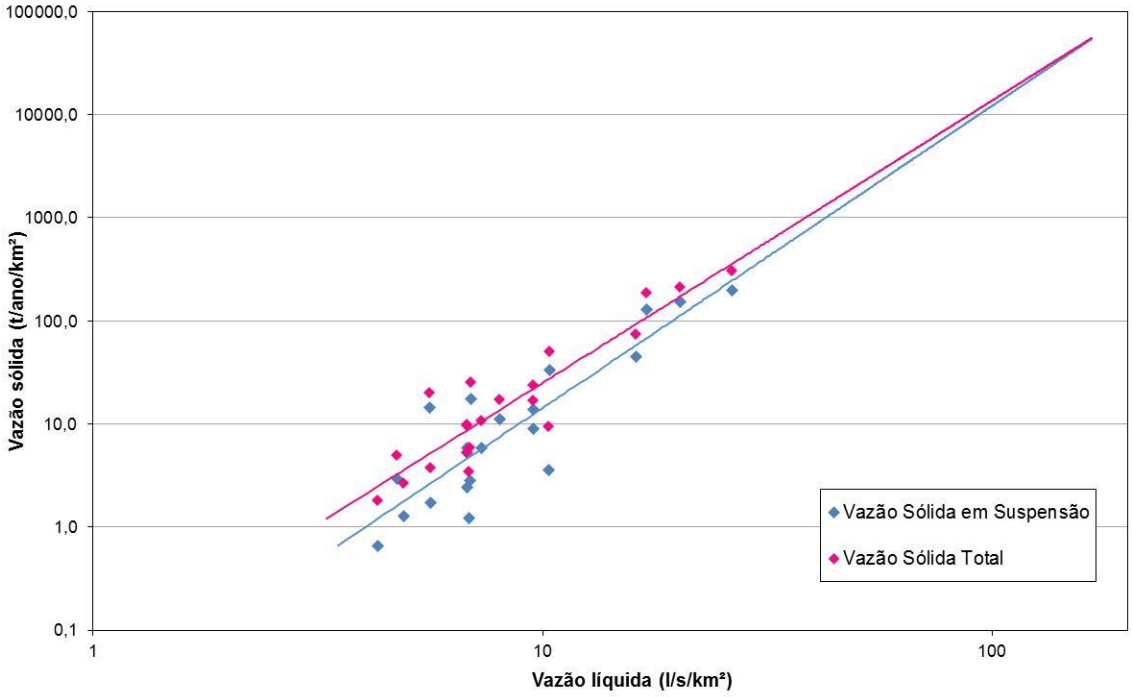


Figura 631 – Curva-chave de Sedimentos na Estação São Pedro de Suaçuí.

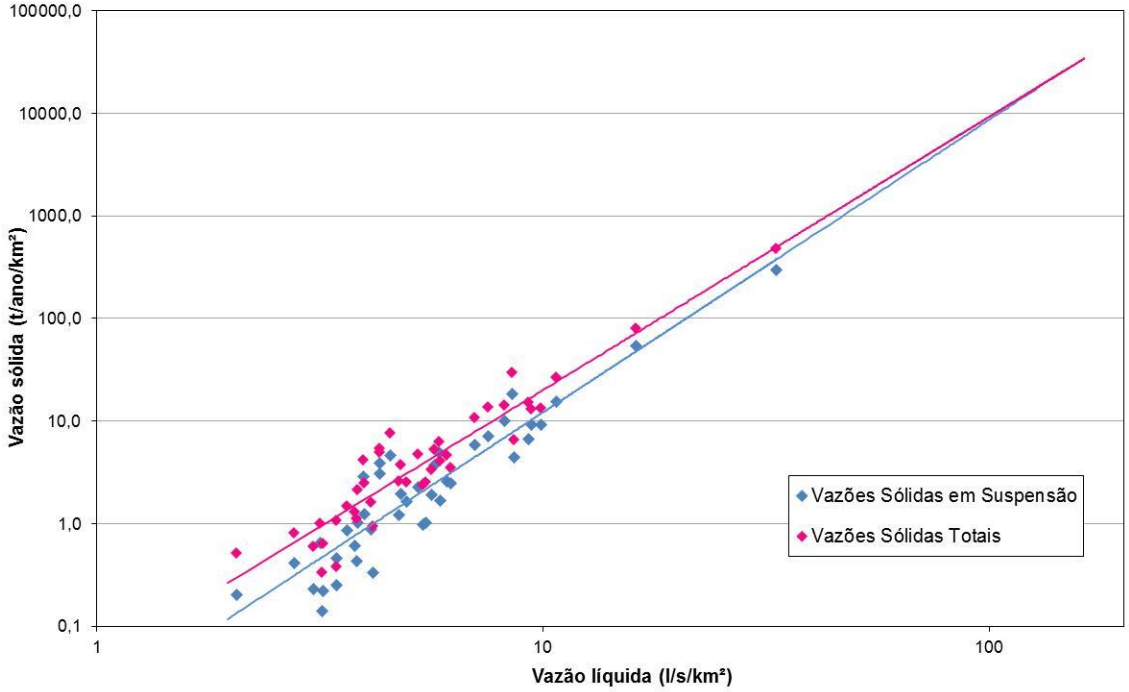


Figura 632 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Vila Matias Montante.

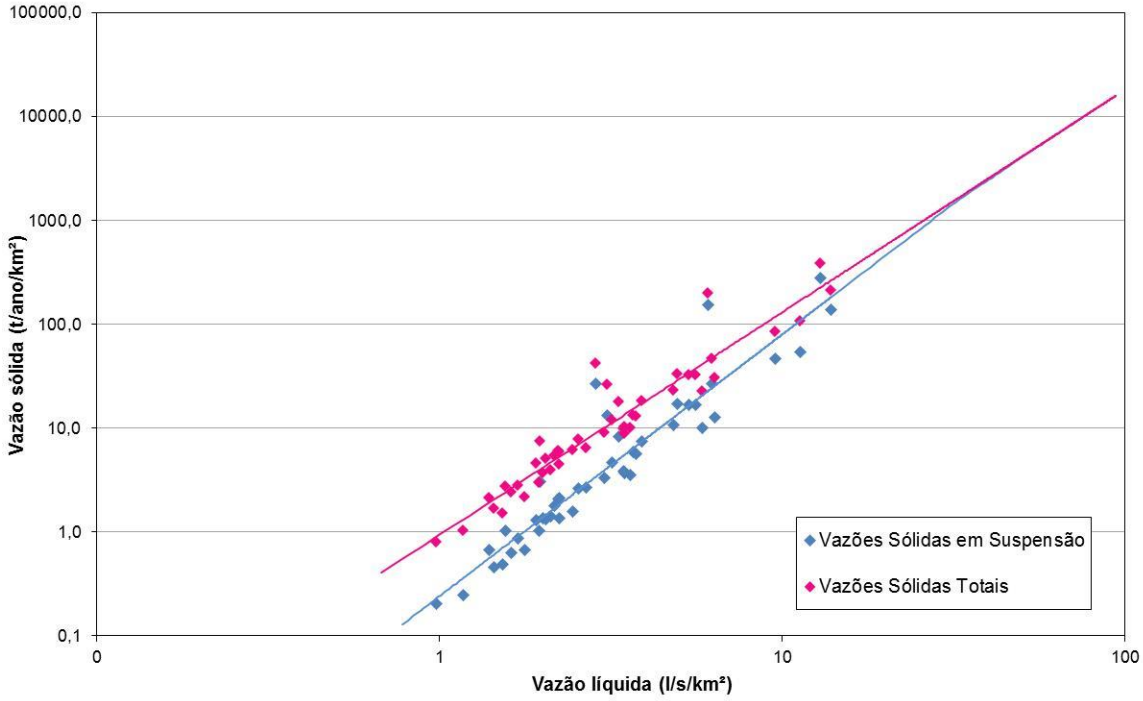


Figura 633 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Tumiritinga.

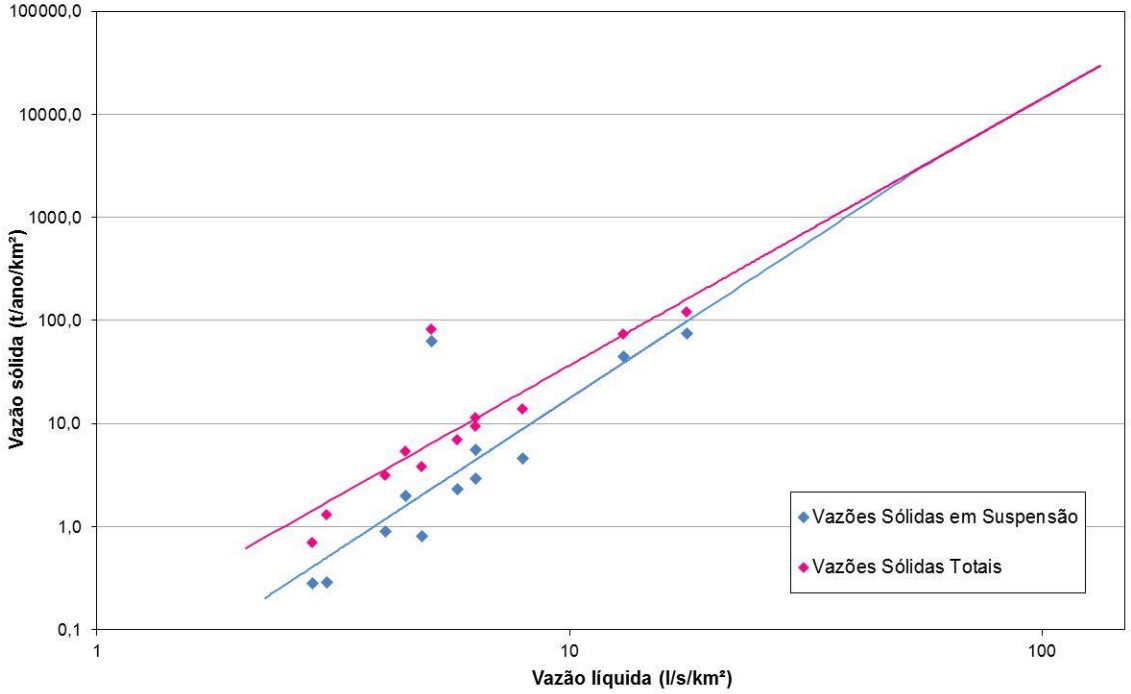


Figura 634 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Dom Cavati.

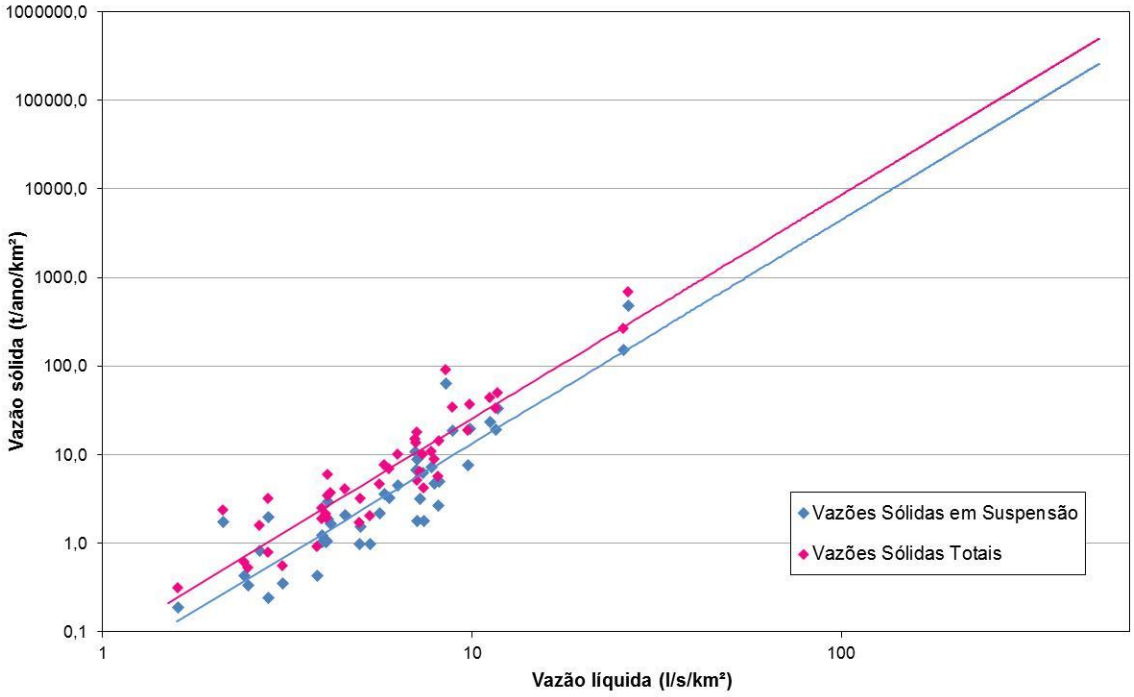


Figura 635 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Fazenda Bragança.

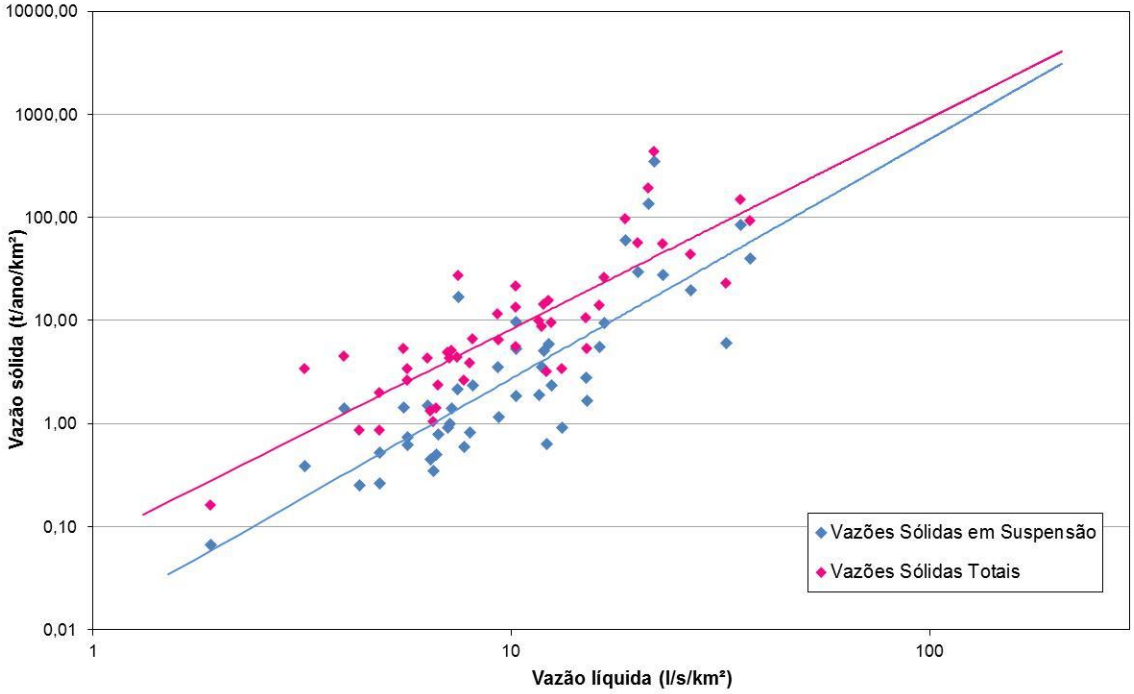


Figura 636 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Assaraí Montante.

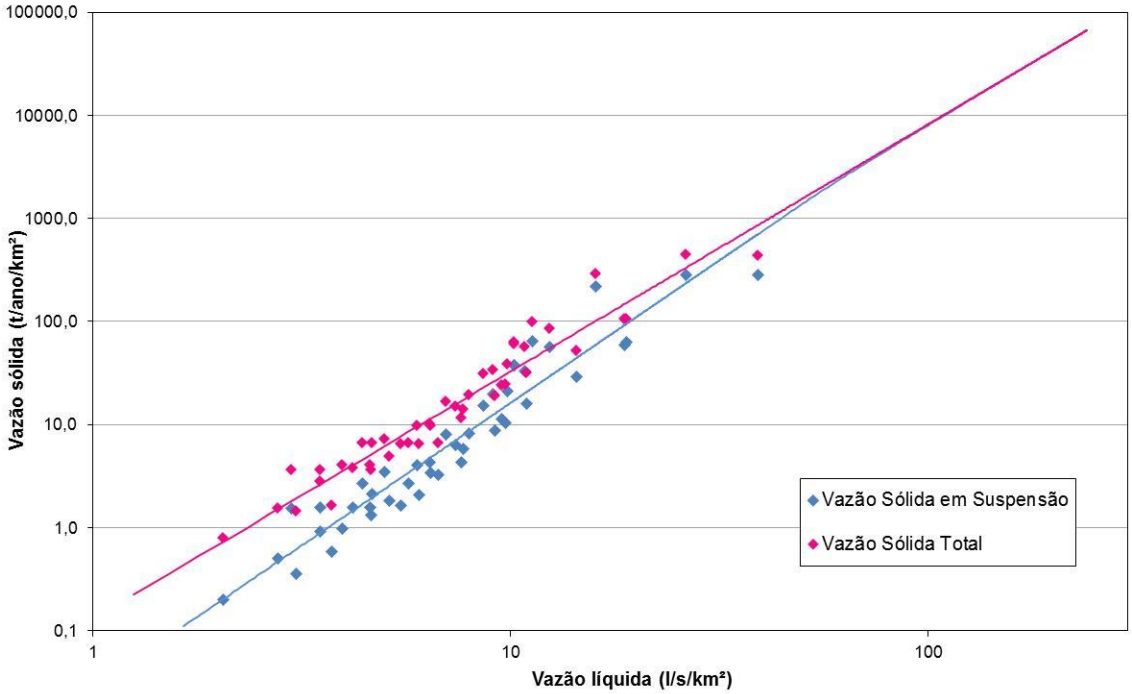


Figura 637 – Curva-chave de Sedimentos na Estação São Sebastião da Encruzilhada.

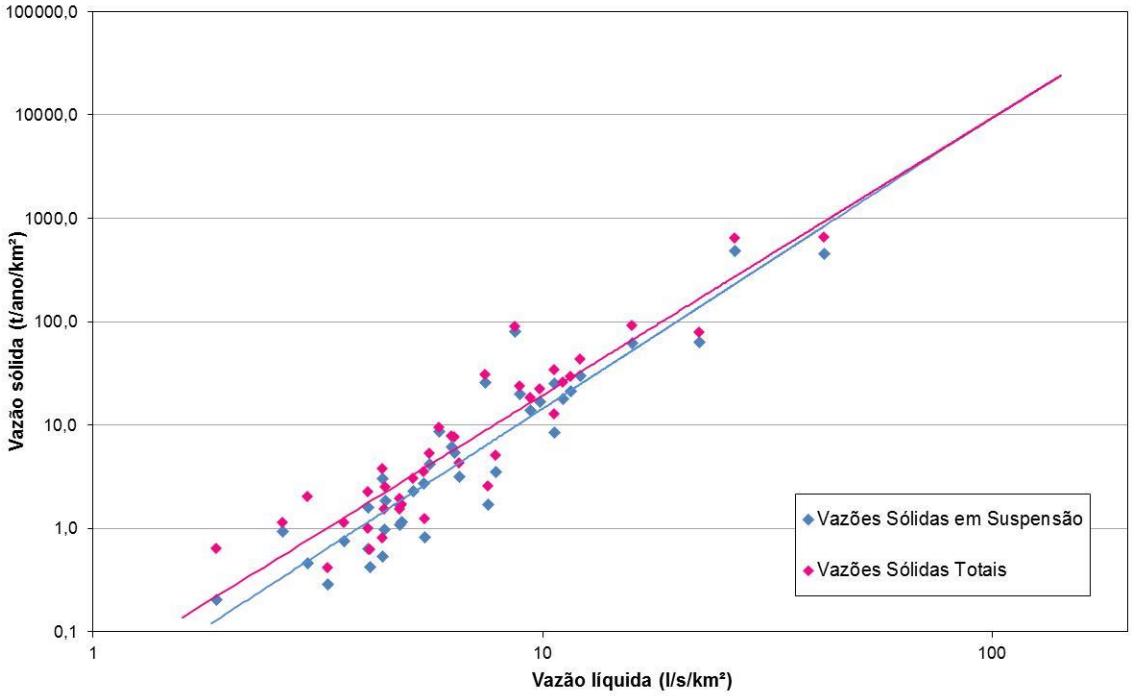


Figura 638 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Afonso Claudio Monante.

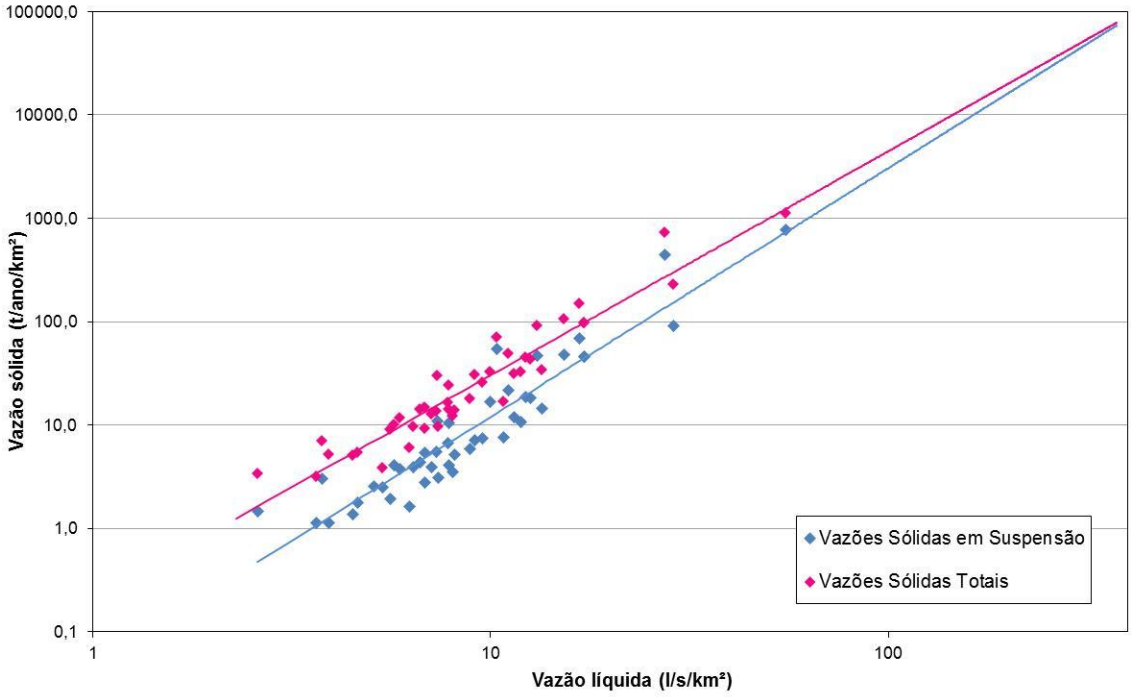


Figura 639 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Laranja da Terra.

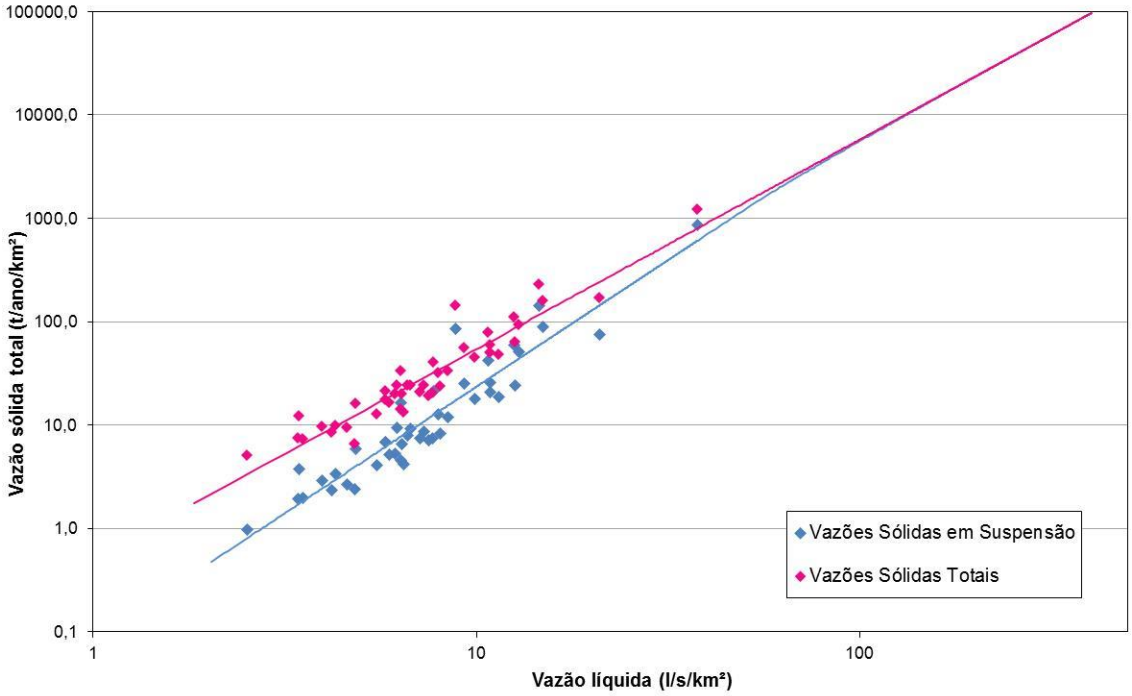


Figura 640 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Baixo Guandu Jusante.

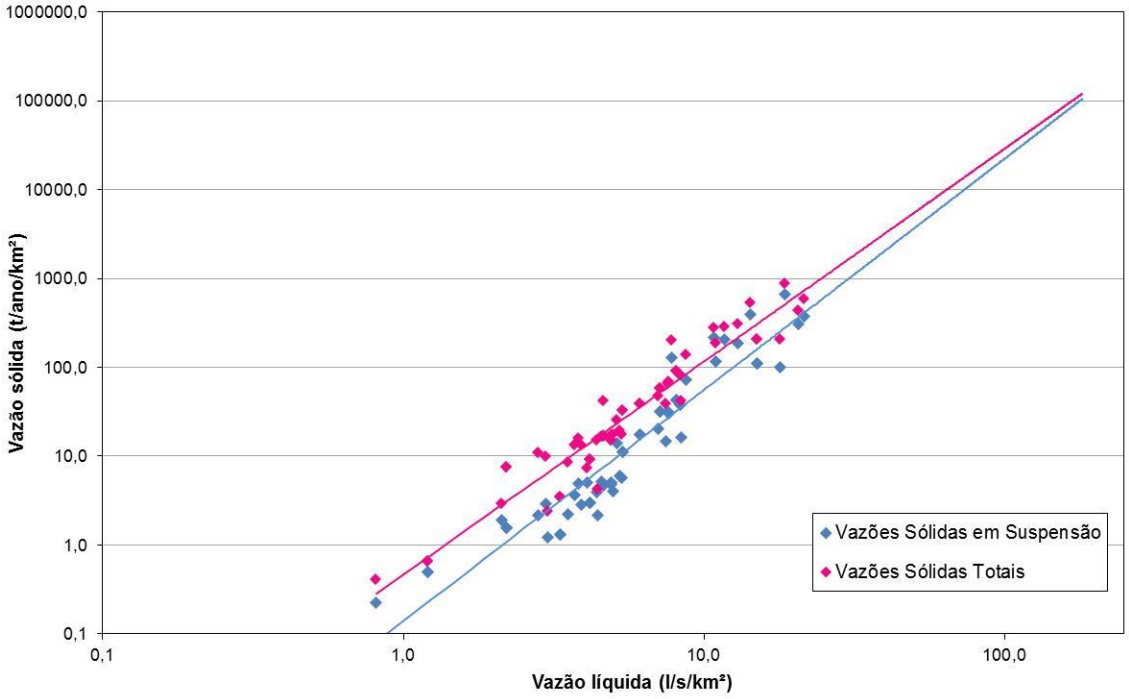


Figura 641 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Jusante Córrego da Piaba.

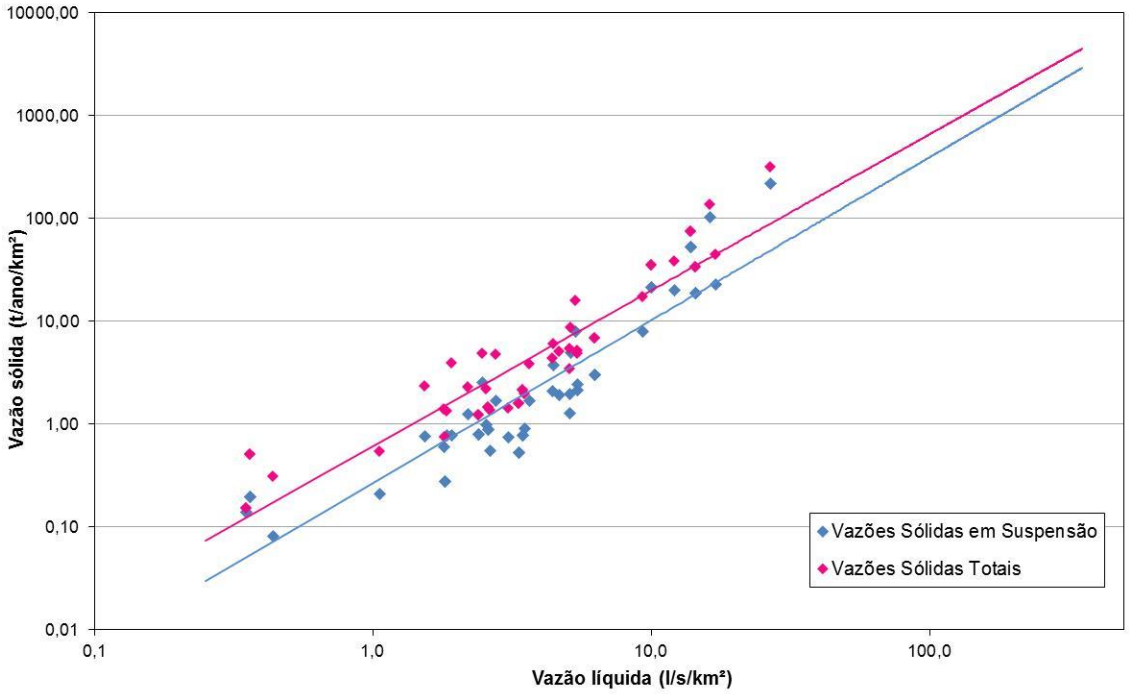


Figura 642 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Colatina.

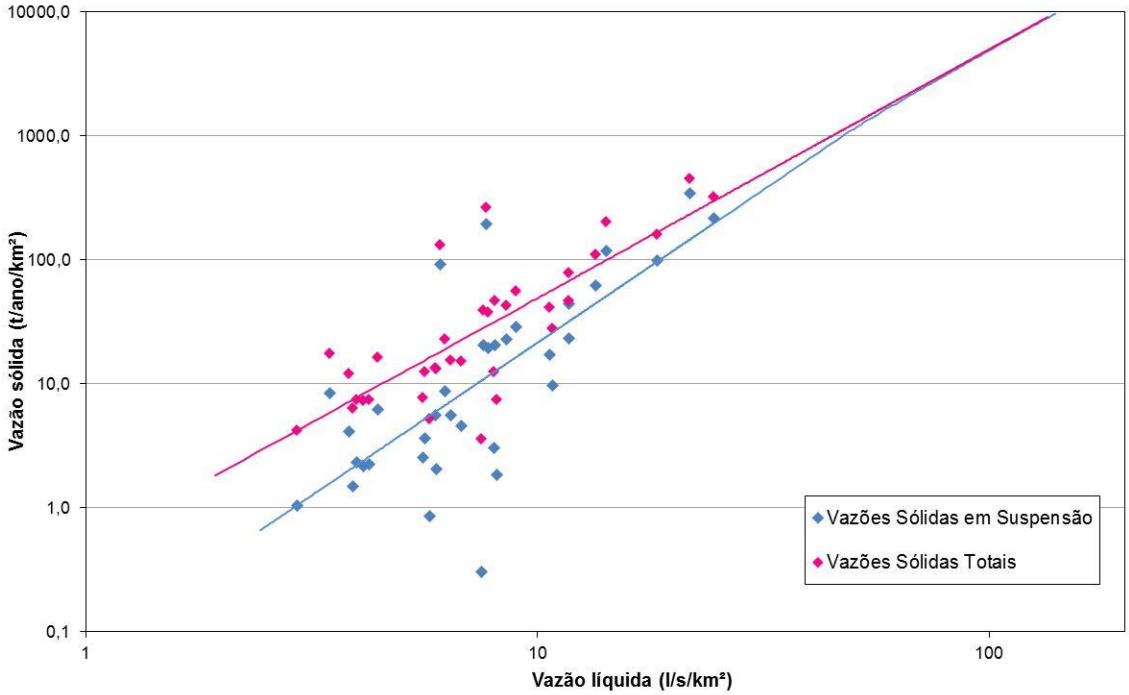
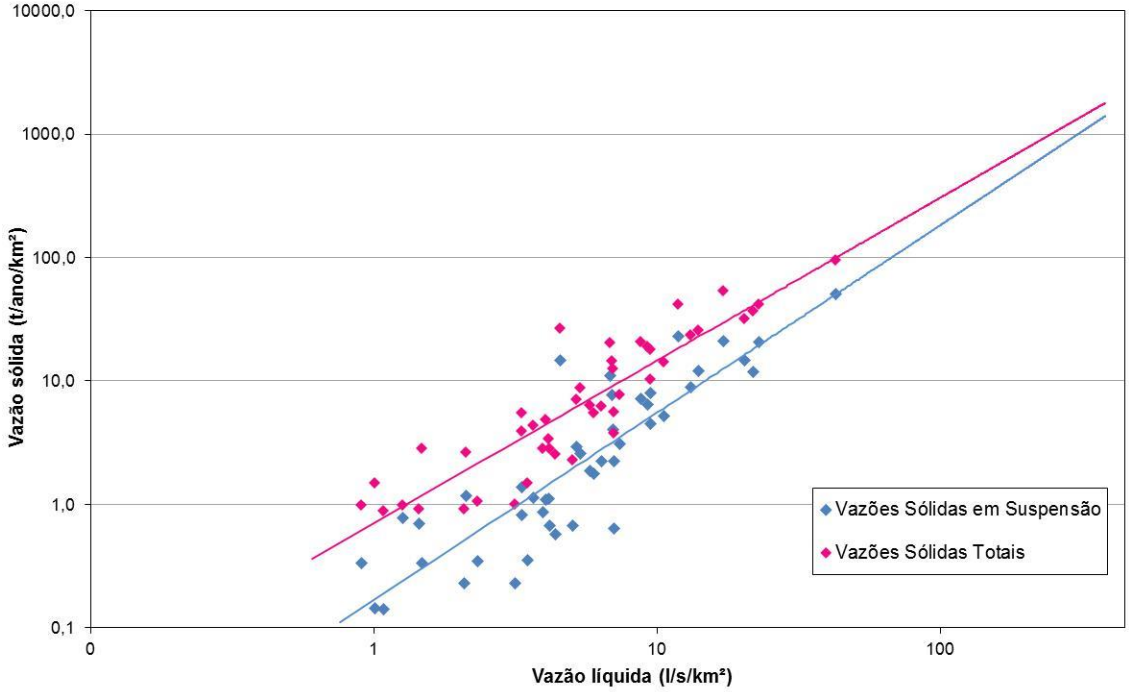


Figura 643 – Curva-chave de Sedimentos na Estação Ponte do Pancas.



Apêndice M – Estatística descritiva

Número de dados válidos

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Trecho 1 - Rio Gualaxo do Norte	123	123	123	124	124	124	124	119	101	119	23
Trecho 2 - Rio do Carmo/Barra Longa	22	22	22	56	54	49	52	52	45	13	5
Trecho 3 - Barra Longa/Candonga	0	0	0	3	3	3	3	2	3	3	0
Trecho 4 - Rio Piracicaba/ Rio Doce	18	24	32	32	32	31	32	17	6	12	18
Trecho 5 - Candonga/Ipatinga	15	17	19	21	21	21	21	14	4	5	15
Trecho 6 - Ipatinga/Gov. Valadares	3	3	3	11	11	11	11	10	8	8	3
Trecho 7 - Gov. Valadres/Limite MG	5	5	5	11	11	11	11	11	6	6	5
Trecho 8 - ES/Litoral	0	0	0	14	14	14	14	13	14	14	4
Total	**186**	**194**	**204**	**272**	**270**	**264**	**268**	**238**	**187**	**180**	**73**

Trecho 1 – Rio Gualaxo do Norte

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	2,59	31,87	2635	40,7	96,4	54,6	37,8	45,4	0,46	21,56	0,26
Mediana	1,15	32	326	36,8	41,5	29,1	30,1	42,3	0,06	16,8	0,29
Q1	0,56	19,1	11,4	20,8	21,9	12,8	15,6	17,4	0,02	6,18	0,19
Q3	3,56	45,2	5131	56	86,8	39,3	43,8	62	0,13	23,75	0,35
Mínimo	0,05	0,004	1,1	4,2	4,5	0,7	3,1	0,1	0,02	0,8	0,04
Máximo	19,15	67,20	23400	168	3735	2380	267	234	30,81	236,5	0,53
Ampli-tude	19,09	67,19	23399	163,8	3730	2379,3	263,9	233,9	30,79	235,7	0,49
Desvio-padrão	3,27	16,19	4221	27,5	346,1	217,1	42,7	40	3,075	27,08	0,12
CV	126,24	50,79	160,2	67,5	358,9	397,4	113	88,1	659,33	125,63	45,67

Trecho 2 – Rio do Carmo/Barra Longa

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	2,02	17,89	4899	65,63	78,97	36,8	61,27	157,4	451,27	5,41	0,21
Mediana	0,96	20	4148	63,05	63,75	38,5	40,03	112,6	38,43	4,35	0,18
Q1	0,38	14,68	2694	42,23	38,94	22,9	13,77	2,776	2,39	3,13	0,14
Q3	3,3	23,42	6705	83,95	88,6	46,6	61,05	265,7	57,7	7,29	0,24
Mínimo	0,31	0,49	921	1,21	0,97	2,5	0,14	0,02	0,53	1,96	0,12
Máximo	11,1	25,92	12136	465,6	512	145,2	919	660	4185,	14,5	0,36
Ampli-tude	10,78	25,43	11215	464,4	511,03	142,7	918,86	660	4184,46	12,54	0,24
Desvio-padrão	2,57	7,53	3315	64,97	83,65	23,8	126,87	180	1027,75	3,53	0,09
CV	127,49	42,1	68	99,00	105,93	64,6	207,06	114,6	227,74	65,25	45,71

Trecho 3 – Barra Longa/Candonga

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	SD	SD	SD	44,37	80,53	52,03	19,4	51,9	2,23	16,77	SD
Mediana	SD	SD	SD	41,8	82,5	51,7	19,8	51,9	2,2	16,5	SD
Q1	SD	SD	SD	39,55	77,9	49	19,05	18,4	2,05	15,2	SD
Q3	SD	SD	SD	47,9	84,15	54,9	19,95	85,3	2,4	18,2	SD
Mínimo	SD	SD	SD	37,3	73,3	46,3	18,3	18,4	1,9	13,9	SD
Máximo	SD	SD	SD	54	85,8	58,1	20,1	85,3	2,6	19,9	SD
Amplitude	SD	SD	SD	16,7	12,5	11,8	1,8	66,9	0,7	6	SD
Desvio-padrão	SD	SD	SD	8,64	6,48	5,91	0,96	47,3	0,35	3,01	SD
CV	SD	SD	SD	19,48	8,04	11,35	4,971	91,2	15,72	17,95	SD

Trecho 4 – Rio Piracicaba/Rio Doce

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	5,34	10,46	1416,1	94,1	180,2	40,94	24,97	4,65	2,18	43,7	0,13
Mediana	5,20	6,19	1218,5	87,2	111,5	28,7	25,35	2,73	1,8	32,4	0,11
Q1	3,88	0,3	491	53,1	79,9	23	16,3	1,8	1,6	22,4	0,09
Q3	6,76	17,05	1871,5	115	169,0	41,1	32,6	4,92	2,2	64,8	0,17
Mínimo	1,44	0,13	76,2	23,5	38,7	3,89	8,2	0,83	1,5	13,8	0,04
Máximo	10,90	39,70	6162	212	1557	269	45,1	17,2	4,2	105	0,32
Ampli-tude	9,46	39,57	6085,8	188,5	1518,3	265,11	36,9	16,37	2,7	91,2	0,27
Desvio-padrão	2,55	11,61	1304,6	50	275,5	46,64	9,87	4,56	1,02	29,6	0,06
CV	47,72	110,9	92,1	53,1	152,9	113,94	39,52	98,14	46,66	67,6	50,52

Trecho 5 – Candonga/Ipatinga

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	6,08	6,74	1050	105,4	183	53,7	35,9	28,27	2,07	37,8	0,11
Mediana	4,93	6,06	1027	94,3	142	51,5	36,5	12,7	2,15	22,8	0,10
Q1	3,40	0,55	718	71,3	118,5	44,3	32,5	3,89	1,45	19,1	0,09
Q3	8,43	9,76	1492	120	202	61,5	41,2	37,6	2,7	31,2	0,14
Mínimo	2,57	0,12	169	15,5	23,3	13,8	9,9	0,28	0,8	17,2	0,04
Máximo	11,4	27,4	2013	285	789	142	57,7	178	3,2	98,6	0,18
Amplitude	8,83	27,27	1844	269,5	765,7	128,2	47,8	177,72	2,4	81,4	0,14
Desvio-padrão	3,28	6,81	556	52,7	150,9	25,1	11,2	45,45	0,98	34,4	0,04
CV	54	101,02	53	50	82,5	46,6	31,2	160,75	47,44	91,1	34,63

Trecho 6 – Ipatinga/Gov. Valadares

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	6,33	7,25	888	95,7	239,71	53,8	28,6	9,07	2,562	30,4	0,079
Mediana	8,45	6,99	973	86,4	110,9	49,9	29,7	9,95	2,5	30,9	0,08
Q1	5,22	6,96	713	61,3	70	32,5	22,3	3,4	2,4	23,8	0,07
Q3	8,5	7,41	1106	119,5	181,2	72,2	37,3	15	2,75	40,5	0,08
Mínimo	1,99	6,94	453	20,1	7,99	22	4,9	0,31	2,4	9,5	0,07
Máximo	8,55	7,83	1238	224	1504	89,3	42,8	18,8	2,8	43,4	0,08
Amplitude	6,56	0,89	785	203,9	1496,01	67,3	37,9	18,49	0,4	33,9	0,008
Desvio-padrão	3,76	0,5	399	54,1	425,11	23,8	11,5	6,85	0,18	11,4	0,004
CV	59,38	6,89	45	56,5	177,34	44,3	40,3	75,53	7,20	37,5	5,29

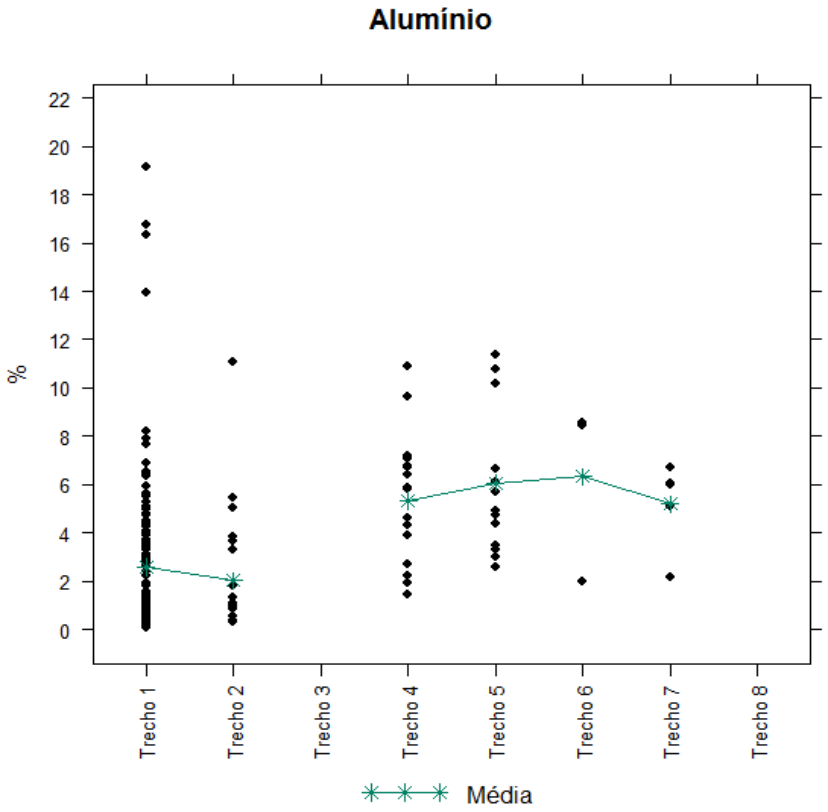
Trecho 7 – Gov. Valadres/Limite MG

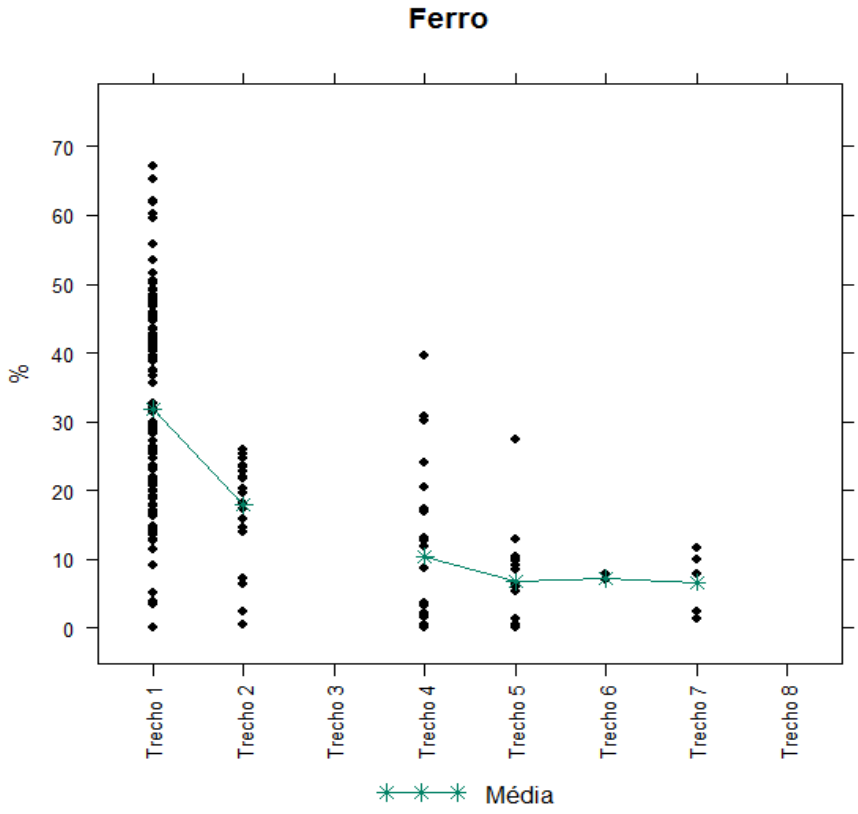
	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	5,2	6,66	2873	68,5	83,3	32,9	19,25	5,51	2,3	31,3	0,09
Mediana	5,97	7,92	1293	72	74,2	32,9	19,9	3,8	2,3	23,6	0,09
Q1	5,08	2,37	1186	51,5	57,4	23,1	13,55	2,45	2,1	18,7	0,05
Q3	6,08	10	1333	82,3	110,5	41,2	24,55	5,92	2,4	35,7	0,11
Mínimo	2,16	1,41	1156	39,2	38,1	13,6	8,9	1,3	2,0	16,2	0,05
Máximo	6,72	11,6	9395	111	139	57,3	33,2	22,1	2,7	70,1	0,14
Amplitude	4,56	10,19	8239	71,8	100,9	43,7	24,3	20,8	0,7	53,9	0,08
Desvio-padrão	1,80	4,56	3647	21,7	35,2	12,7	7,71	5,83	0,24	20,2	0,03
CV	34,57	68,44	127	31,6	42,3	38,6	40,02	105,85	10,65	64,3	37,97

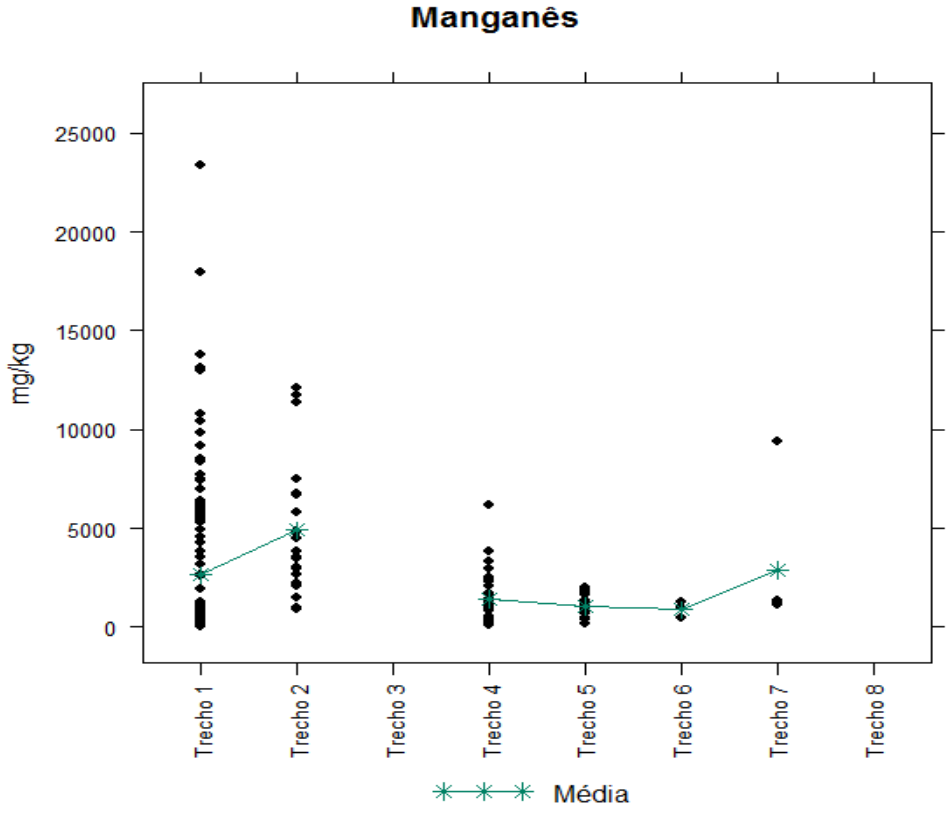
Trecho 8 – ES/Litoral

	Al %	Fe %	Mn g/kg	Zn g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cu g/kg	As g/kg	Cd g/kg	Pb g/kg	Hg g/kg
Média	SD	SD	SD	46,8	61,78	30,7	13,04	3,47	1,88	19,7	0,05
Mediana	SD	SD	SD	42,7	47,4	25,6	12,9	3,1	2,45	20,3	0,05
Q1	SD	SD	SD	28,9	31,5	17,6	5,8	1	0,1	10,8	0,05
Q3	SD	SD	SD	64,4	85,7	41,7	18,6	4,9	2,8	27,6	0,06
Mínimo	SD	SD	SD	12,1	3,58	1	1	1	0,1	1	0,05
Máximo	SD	SD	SD	106,2	208	71,3	36,2	7,5	2,9	40,5	0,07
Amplitude	SD	SD	SD	94,1	204,42	70,3	35,2	6,5	2,8	39,5	0,02
Desvio-padrão	SD	SD	SD	26,6	51,77	19,8	9,39	2,4	1,19	11,2	0,01
CV	SD	SD	SD	56,7	83,8	64,6	72	69,18	63,27	57	21,42

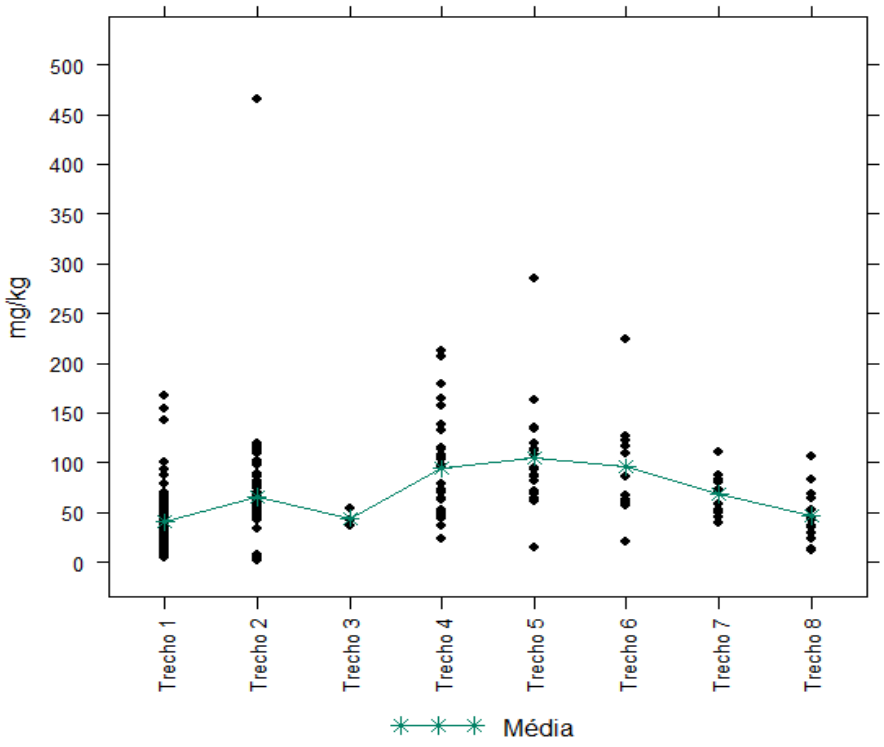
Apêndice N – Gráficos de dispersão dos dados analisados por trecho



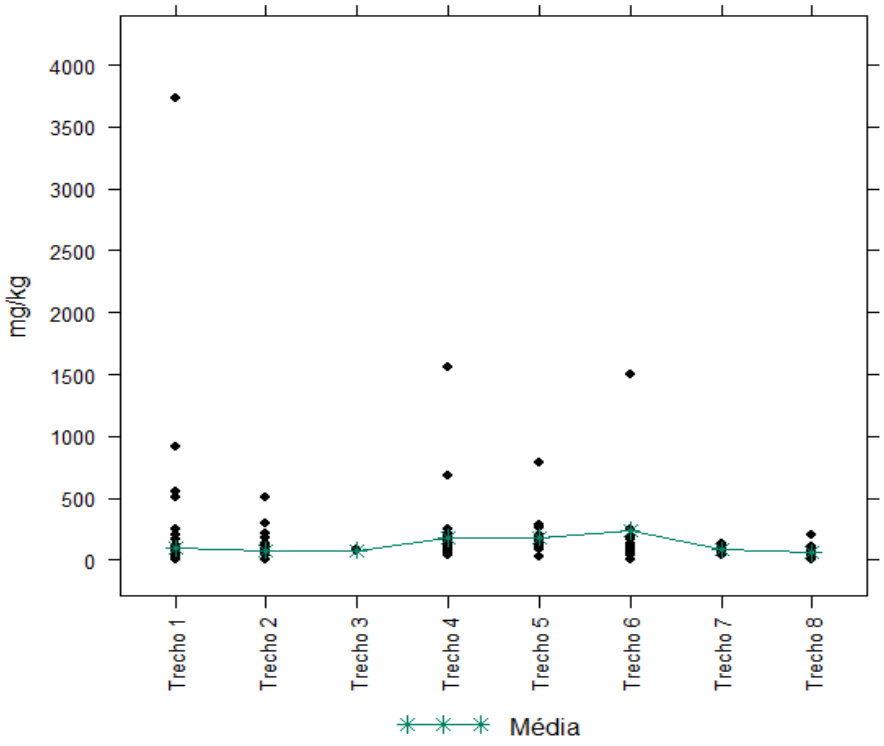

Ferro
%
0
10
20
30
40
50
60
70
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média

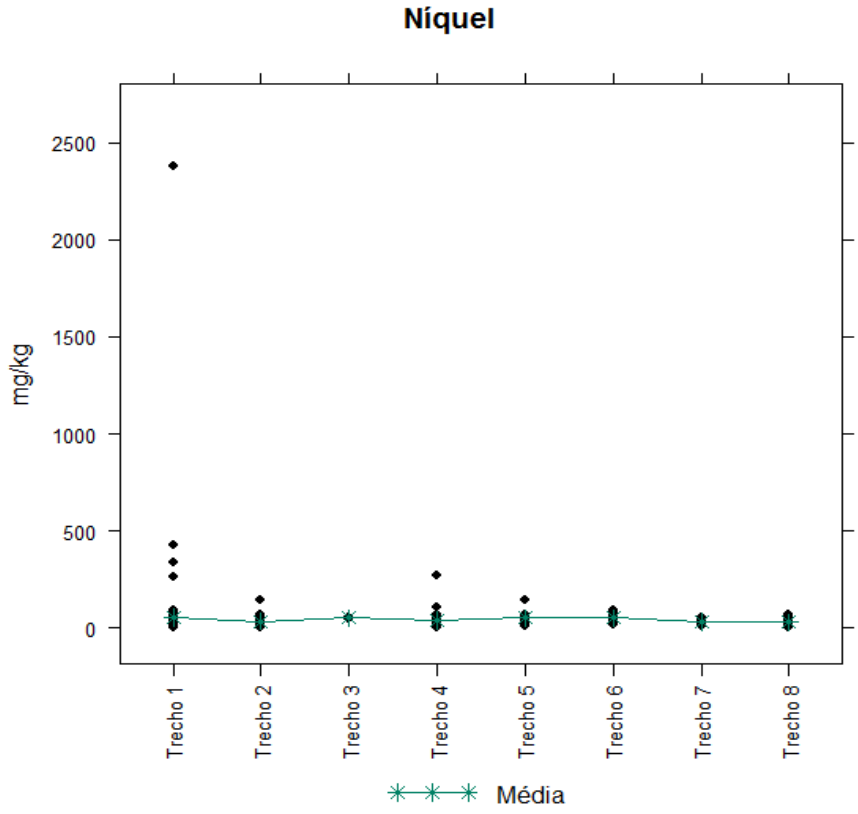

Manganês
mg/kg
0
5000
10000
15000
20000
25000
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média

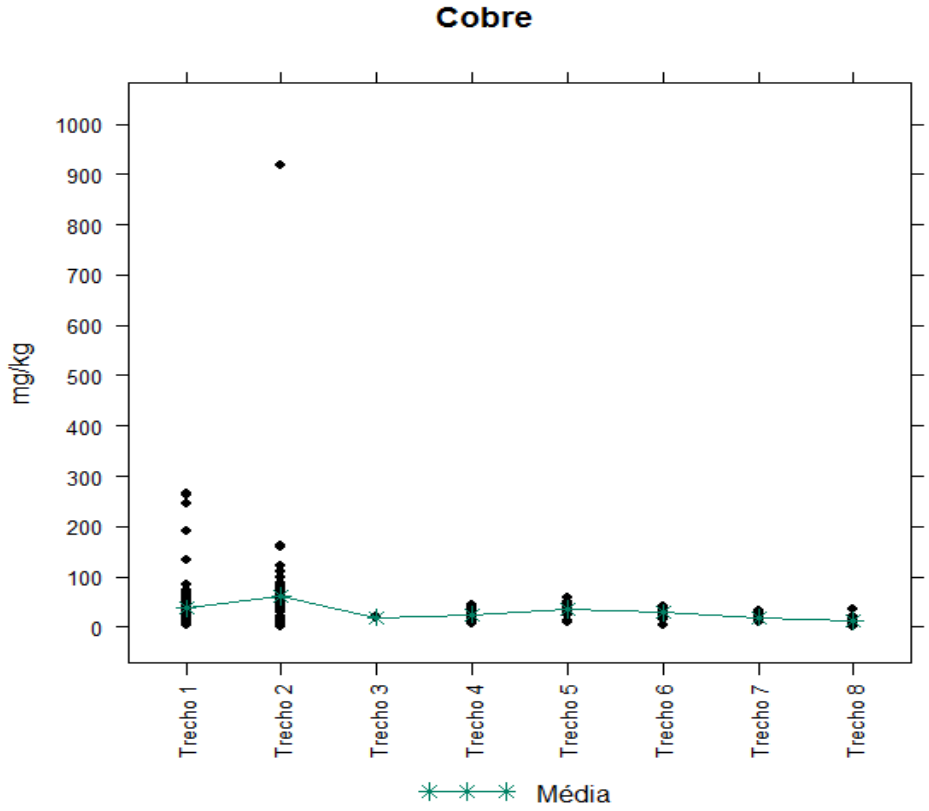
Zinco

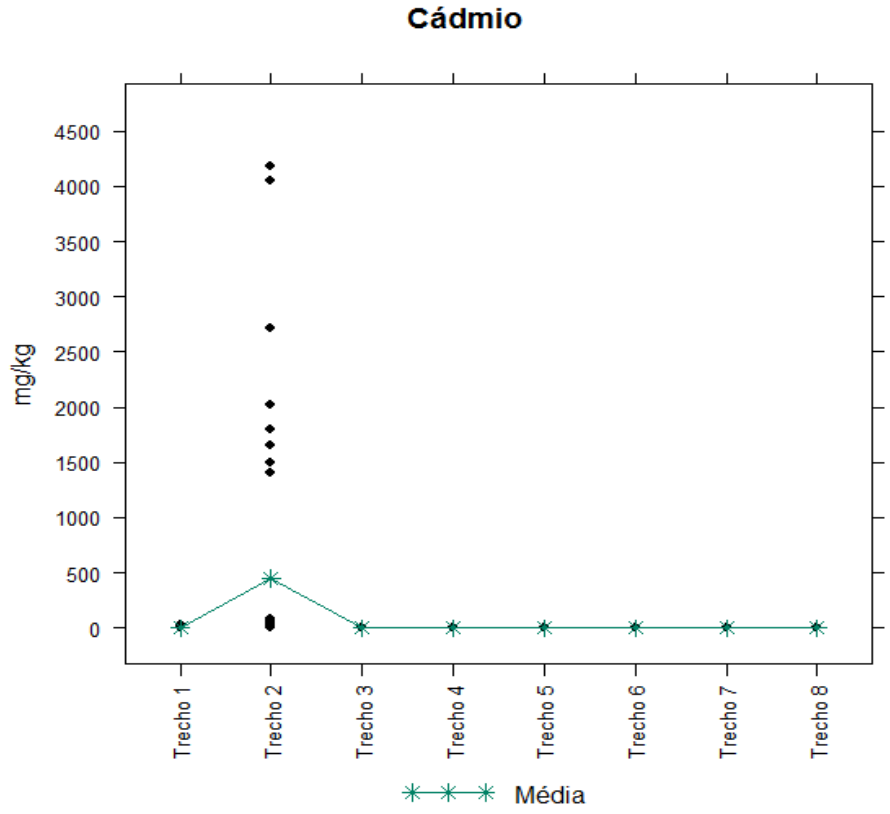

mg/kg
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média

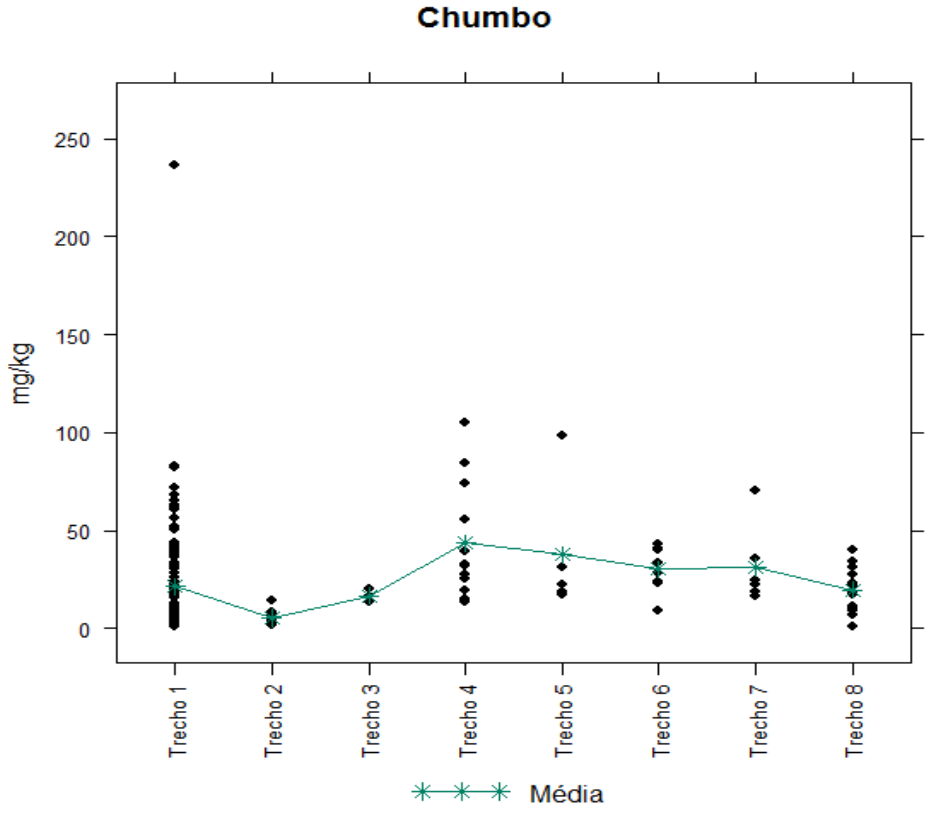
Cromo

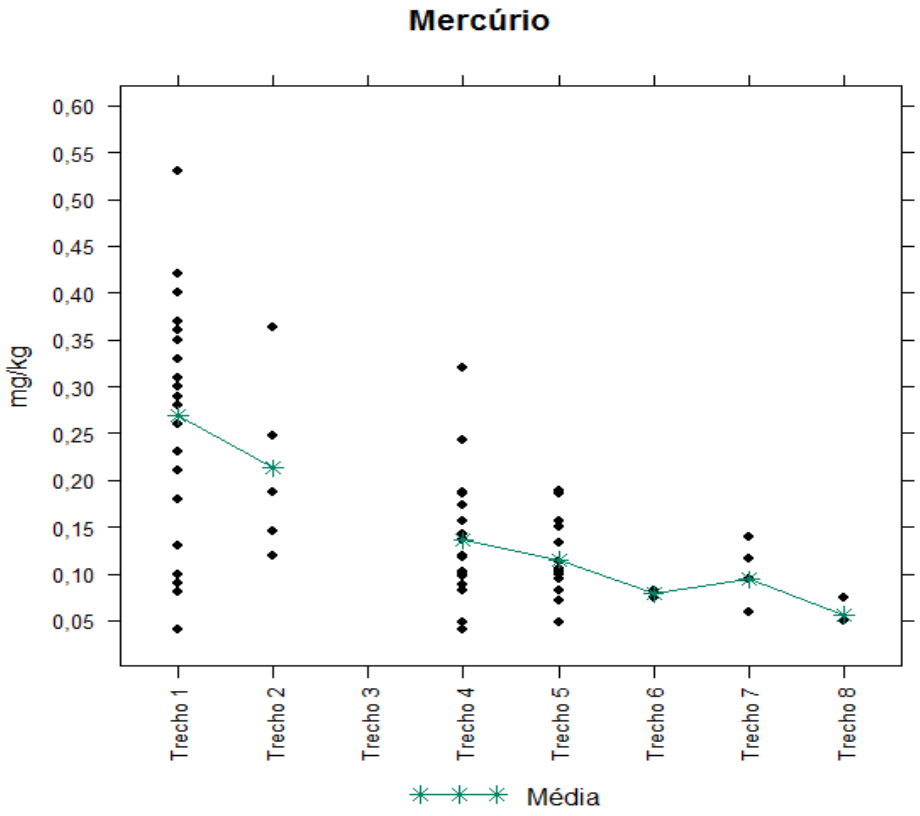

mg/kg
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média


Níquel
mg/kg
2500
2000
1500
1000
500
0
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média


Cobre
mg/kg
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média


Cádmio
mg/kg
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média


Chumbo
mg/kg
250
200
150
100
50
0
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média


Mercúrio
mg/kg
0,60
0,55
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
Trecho 1
Trecho 2
Trecho 3
Trecho 4
Trecho 5
Trecho 6
Trecho 7
Trecho 8
Média

Apêndice O – Lista de táxons de macroinvertebrados bentônicos com registro na bacia do rio Doce

Taxa de macroinvertebrados bentônicos límnicos registrados na bacia do rio Doce em trabalhos anteriores publicados. Legenda: 1 - Barbosa et al. (1997), 2 – Galdean, Callista e Barbosa. (2000), 3 - Mayrink et al. (2002), 4 - Callisto et al. (2004), 5 - Ligeiro et al. (2010), 6 – Goulart e Callisto (2005), 7 – Costa, Oliveira e Callisto (2006), 8 – Marques, Ferreira e Barbosaet al. (1999a), 9 – Marques, Barbosa e Callisto(1999), 10 – Marques e Barbosa (2001), 11 – Moretti e Callisto (2005), 12 – Vidigal (2005); 13 – Moretti e Loyola (2005); 14 – Bezerra-neto et al. (2012), 15 – Marques et al. (2011), 16 – Vasconcelos, Espírito-Santo e Barbosa (2009), 17 – Giacomini e Marco Jr (2008),18 - Natal et al. (2007), 19 – Marco Jr, Latini e Resende (2005), 20 – Ferreira-Peruquetti e Marco jr. (2002), 21 – Marco Jr. (1999), 22 – Rocha et al (1990), 23 – França e Callisto (2007), 24 – Coleção Referência de Macroinvertebrados Bentônicos ICB/UFMG, 25 - Barbosa e Martins (2002), 26 – Ramos (2008), 27 – Magalhães, Guarda e Santos (2016), 28 – Callisto e Goulart (2000), 29 – Callisto, Marques e Barbosa (2000), 30 – Marques (2006), 31 - Rodrigues e Bueno (2016), 32 – Rietzler, Lobato e Guimarães (2004), 33 – Barbosa e Martins (2006), 34 – Callisto, Mayrink e Moretti (2001).

Taxa			Referências
Insecta			24
Heteroptera			3, 10, 23, 24
	Belostomatidae		1, 4, 8 11, 15, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 34
	Corixidae		
		Tenagobia	24
	Gelastocoridae		1
	Gerridae		1, 8, 11; 15, 23, 24, 27, 30, 34
		Halobatopsis	24
	Naucoridae		1, 2, 4, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 34
		Cryphocricos	24
		Limnocoris	24
	Nepidae		1, 4, 11; 15, 23, 24, 25
		Ranatra	24
	Notonectidae		1, 4, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 30, 33
		Buenoa	24
		Enithares	24
		Notonecta	24
	Ochteridae		23, 24
	Pleidae		4, 8, 23, 24
	Saldidae		23, 24
	Veliidae		1, 4, 11; 15, 23, 24, 34
		Microvelia	24
		Rhagovelia	24
Coleoptera			3, 10, 23, 24
	Chrysomelidae		4, 24
	Curculionidea		1, 23, 24
	Dryopidae		1, 4, 11, 23, 24
	Dytiscidae		1, 4, 8, 11, 15, 23, 24, 25, 30, 33, 34
		Laccophilus	30
		Rhantus	26
	Elmidae		1, 3, 4, 5, 7, 11; 15, 23, 24, 25, 30, 31, 34
	Gyrinidae		1, 4, 23, 24, 33
	Hydraenidae		4, 24
	Hydrophilidae		1, 4, 8, 11; 15, 23, 24, 34
	Hydroscaphidae		4, 23, 24
	Lampyridae		15
	Linmichidae		1
	Noteridae		1, 4, 8, 11, 23, 24

Taxa			Referências
	Psephenidae		4, 11, 23, 24, 25
		Psephenus	24
	Ptilodactylidae		4
	Scirtidae		4, 11, 23, 24
	Staphilinidae		1
Ephemeroptera			3, 10, 23, 24
	Baetidae		1, 2, 3, 4, 5,6, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 30, 34
		Americabaetis	6, 24
		Apobaetis	24
		Apobaetis fiuzai	6
		Aturbina	24
		Aturbina georgei	6
		Baetodes	2, 6, 24
		Callibaetis	6, 24, 26
		Camelobaetidius	2, 6, 24
		Cloeodes	2, 6, 24
		Harpagobaetis	24
		Moribaetis	24
		Paracloeodes	6
		Rivudiva	24
		Waltzoyphius fasciatus	6
		Zelusia	24
	Caenidae		1, 4, 11; 15, 23, 25, 27, 30, 33, 34
		Caenis	24, 26
	Ephemeridae		1; 15
		Hexagenia	24
	Euthyplociidae		1, 4, 11, 23
		Campylocia	24
	Leptohyphidae		2, 4, 5, 6, 11, 23, 24, 34
		Leptohyphes	6, 24
		Tricorythodes	6, 24
		Tricorythopsis	6
	Leptophlebiidae		1, 2, 4, 6, 11; 15, 23, 24, 27, 33, 34
		Askola	6, 24
		Farrodes	2, 6, 24
		Hagenulopsis	24
		Hermanella	2, 6, 24
		Hydrosmilodon	24
		Hylister	24
		Massartella	24, 31
		Miroculis	6
		Thraulodes	6, 24, 28
		Traverella	24
		Ulmeritus	24
		Ulmeritoides	26
	Oligoneuriidae		
		Lachlania	24
	Polymitarcyidae		1, 2, 4, 6,7, 23
		Asthenopus	6, 24
		Campsurus	6, 24, 26
		Tortopus	24
Diptera			10, 23, 24
	Ceratopogonidae		1, 3, 4, 5, 7, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 30, 34
		Culicoides	31
		Bezzia	26
	Chaoboridae		7, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 33

Taxa		Referências
	Chaoborus	14, 26
Chironomidae		1, 2, 3, 4, 5, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 32, 33, 34
	Chironominae	
	Aedokritus	26
	Beardius	24, 26
	Caladomyia	26
	Chironomus	7, 9, 24, 26, 29, 31
	Cladopelma	7, 24, 26
	Cryptochironomus	7, 9, 24, 26
	Dicrotendipes	24, 26
	Endochironomus	9, 24
	Endotribelos	26
	Fissimentum	24, 26
	Glyptotendipes	24
	Goeldichironomus	9, 24, 26
	Harnischia	24, 26
	Lauterboniella	24, 26
	Microtendipes	24
	Nilothauma	24, 26
	Oukuriella	26
	Paracladopelma	9
	Parachironomus	9, 24, 26
	Paralauterborniella	24
	Paratendipes	24
	Phaenopsectra	24
	Polypedilum	7, 9, 24, 26
	Polypedilum fallax	24
	Pseudochironomus	24
	Rheotanytarsus	24
	Saetheria	7, 24
	Stenochironomus	9, 24, 26
	Tanytarsus	7, 9, 24, 26
	Tribelos	9, 24
	Xenochironomus	24, 26
	Zavreliella	24, 26
	Orthocladiinae	
	Cardiocladius	24
	Corynoneura	9, 24
	Cricotopus	9, 24
	Limnophyes	24
	Lopescladius	24
	Nanocladius	9, 24, 28
	Onconeura	24
	Orthocladius	24
	Parakiefferiella	24
	Parametriocnemus	24
	Psectrocladius	24
	Pseudosmittia	31
	Thienemanniella	9, 24
	Tanypodinae	
	Ablabesmyia	7, 9, 24, 26
	Alotanypus	9, 24
	Coelotanypus	7, 26
	Djalmabatista	9, 24, 26
	Fittkauimyia	9, 24
	Labrundinia	9, 24, 26
	Larsia	24, 26

Taxa			Referências
		Monopelopia	9, 24
		Nilotanypus	24
		Paramerina	24
		Pentaneura	9, 24
		Procladius	24, 26
		Tanypus	9, 24
	Culicidae		1, 3, 4, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 33, 34
		Anopheles oswaldoi	18
		Anopheles triannulatus	18
		Anopheles albitarsis	18
		Anopheles minor	18
		Anopheles darlingi	18
		Anopheles kompi/carorii	18
		Anopheles costai	18
	Dixidae		1, 23, 24
	Dolichopodidae		1, 11, 25
	Empididae		1, 4, 11, 23, 24, 25
	Ephydridae		26
	Psychodidae		1, 11, 23, 24, 25, 32, 33, 34
	Sciomyzidae		1
	Simuliidae		1, 2, 3, 4, 5, 11, 23, 24, 25, 27, 34
		Simulium	24
	Stratiomyidae		1, 11, 23, 24, 25, 33
	Syrphidae		33
	Tabanidae		1, 4, 11, 23, 24, 25, 26
	Tipulidae		1, 4, 11; 15, 23, 24, 25, 30, 34
Plecoptera			10, 23, 24
	Gripopterygidae		1, 2, 4, 5, 23, 24
		Gripopteryx	24
		Paragripopteryx	24
	Perlidae		2, 4,5, 23, 24
		Anacroneuria	24
		Kempnya	24
Collembola			11, 23, 24, 25, 30
	Isotomidae		1, 10,15
Hymenoptera			23, 24
Trichoptera			3, 10, 23, 24
	Brachycentridae		1
	Calamoceratidae		4, 11, 23, 24
		Phylloicus	24, 31
	Glossosomatidae		4, 23, 24, 27
	Helicopsychidae		1, 2, 4, 11, 23, 24, 25, 34
		Helicopsyche	2, 24
	Hydrobiosidae		1, 2, 4, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 30, 34
		Atopsyche	2, 24
	Hydropsychidae		1, 2, 4, 5, 11, 23, 24, 25, 27, 30, 34
		Smicridea	2, 24
		Leptonema	2, 24, 31
		Macronema	24
	Hydroptilidae		1, 2, 4,5, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 30
		Alisotrichia	24
		Hydroptila	24
		Leucotrichia	24
		Neotrichia	24
		Ochrotrichia	2, 24
		Oxyethira	2, 24, 30, 31
	Lepidostomatidae		1

Taxa			Referências
Odonata	Leptoceridae		1, 2, 4, 8, 11; 15, 23, 24, 25, 27, 31, 33, 34
		Atanatolica	24
		Nectopsyche	2, 24, 26, 31
		Grumichella	2, 24
		Oecetis	24, 26
		Triaenodes	2, 24
		Triplectides	24
	Limnephilidae		15, 30
	Odontoceridae		1, 2, 4, 8, 11, 23, 24, 34
	Philopotamidae	*Barypenthus*	24
		Barypenthus concolor	13
		Marilia	2, 24
			2, 23, 24
		Chimarra	2, 24
		Wormaldia	24
	Polycentropodidae		1, 4, 11, 23, 24, 25, 27, 34
	Xiphocentronidae	*Cyrnellus*	24, 26
		Polycentropus	24
			4, 24
			3, 10, 23, 24, 26
	Aeshnidae		1, 4; 15, 20, 23, 24, 27, 33
	Calopterygidae	*Anax concolor*	20
			1, 4, 11, 20, 23, 24, 34
	Coenagrionidae	*Hetaerina auripennis*	20
		Hetaerina rosea	20
			1, 4, 8, 11; 15, 20, 23, 24, 26, 27, 30, 33, 34
	Corduliidae	*Argia*	20
		Ischnura fluviatilis	20
		Telebasis	20
		Tigriagrion aurantinigrum	20
	Gomphidae		1, 15, 30
	Lestidae	*Aphylla*	1, 4, 7, 8, 11, 15, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 33, 34
		Aphylla theodorina	26, 32
		Progomphus	30
		Progomphus complicatus	24, 30
	Libellulidae		20
		Brachymesia	1, 27
		Brachymesia furcata	1, 4, 8, 11; 15, 19,20, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 33, 34
		Diastatops obscura	26
		Dythemis	20
		Elasmothemis cannacrioides	20
		Elasmothemis constricta	24
		Erythrodiplax	20
		Erythrodiplax fusca	17
		Erythrodiplax juliana	20*
		Erythrodiplax media	20*
		Erythrodiplax ochracea	19; 20
		Erythrodiplax paraguayensis	19
		Erythemis peruviana	19
		Idiataphe amazonica	20
			17, 19

Taxa			Referências
		Macrothemis imitans	20
		Miathyria simplex	17
		Micrathyria hesperis	19
		Miathyria marcella	20
		Tramea binotata	17, 19
		Erythemis peruviana	17, 19
		Brachymesia furcata	17, 19
		Diastatops obscura	17, 19
		Orthemis discolor	17, 19, 20
		Pantala flavescens	20
		Perithemis mooma	17, 20
		Dythemis multipunctata	17
		Tauriphila australis	17
		Tauriphila xiphea	20
	Megapodagrionidae		4, 20, 23, 24
		Heteragrion aurantiacum	20
	Protoneuridae		1, 20, 26
		Epipleoneura venezuelensis	20
		Neoneura sylvatica	20
		Peristicta aeneoviridis	20
Lepidoptera			2, 3, 4, 10, 23, 24, 26, 34
	Pyralidae		1, 11; 15, 25
Neuroptera			
Megaloptera			2, 10, 23, 24
	Corydalidae		1, 4, 23, 24
		Corydalus	24
Planipennia			
	Hemerobiidae		27
	Sisyridae		26
Arachnida			23, 24
Araneae			23, 24, 33
	Pisauridae		27
	Hydracaridae		27
Hydracarina			5, 11, 24, 25, 33, 34
Crustacea			24
Decapoda			1, 11, 25, 30, 33, 34
	Palaemonidae		27
		Macrobrachium jelskii	26
Mollusca			34
Gastropoda			1, 23, 24, 25, 31, 34
	Ampullariidae		1, 8, 10, 27
		Pomacea	12, 26, 30, 33
	Ancylidae		1, 4, 10, 12, 23, 24, 27
	Bithyniidae		27
	Hydrobiidae		1, 10, 11, 12, 23, 24, 25
	Lymnaeidae		1, 10, 27
	Physidae		1, 10, 23, 24, 27, 30, 33
		Physa	12, 24, 32, 33
	Planorbidae		1, 7, 10, 11, 23, 24, 25, 27, 33
		Biomphalaria	8, 12, 24, 30
	Thiaridae		1, 4, 10, 11, 23, 27
		Melanoides tuberculatus	3, 12; 16, 21, 24, 26, 30, 32, 33
Bivalvia			4, 7, 8, 11, 23; 24, 25, 34
	Corbiculidae		30
		Corbicula	12
		Corbicula fluminea	30, 32
	Hyriidae		26

Taxa			Referências
	Mycetopodidae		12
	Unionidae		2, 27
	Sphaeriidae		1, 2, 10, 12, 23, 24
		Pisidium	24
Annelida			
Hirudinida			1,3, 4, 5, 8, 10, 11, 23, 24, 25, 30, 33, 34
	Glossiphoniidae		26
Oligochaeta			1,2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 23, 24, 25, 27, 30, 31, 32, 33, 34
	Enchytraeidae		26
	Opistocystidae		26
	Naididae		3, 23, 26
Hydrozoa			4, 23, 24, 26
Nematoda			11, 24, 26
Platyhelminthes			
Turbellaria			1, 2, 23, 24, 26, 31
	Typhloplanoida		
		Mesostoma	22
	Tricladida		23, 24, 30

Apêndice P – Lista de táxons de bentos de fundos não consolidados (ambientes estuarino e costeiro)

Tabela 276 – Lista de táxons registrados em literatura para ambientes costeiros do estado do Espírito Santo.

FILO NEMATODA
FILO SIPUNCULA
Golfingia sp. (Lankester, 1885)
FILO MOLLUSCA
CLASSE BIVALVIA
Família Arcidae
Arca imbricada Bruguière, 1789
Barbatia candida (Helbling. 1779)
Anadara notabilis (Röding, 1798)
Lunarca ovalis (Bruguière, 1789)
Família Cardiidae
Trachycardium muricatum (Linnaeus, 1758)
Família Chamidae
Chama congregata Conrad, 1833
Família Donacidae
Donax hanlevanus Philippi, 1842
Iphigenia brasiliana (Lamarck, 1818)
Sanguinolaria sanguinolenta (Gmelin, 1791)
Família Glycymerididae
Glycymeris longior (Sowerby, 1833)
Família Ostreidae
Crassostrea rhizophorae (Guildins, 1828)
Família Matridae
Mactrellona alata (Spengler, 1802)
Mulinia cleryana (Orbigny, 1846)
Raeta, plicatella (Lamarck, 1818)
Família Mesodesmatidae
Mesodesma mactroides Deshayes, 1854
Família Mytilidae
Brachidontes exustus (Linnaeus, 1758)
Mytella guyanensis (Lamarck, 1819)
Mytella falcata (D'Orbigny, 1846)
Mytella charruana (D'Orbigny, 1846)
Perna perna (Linnaeus, 1758)
Família Pinnidae
Atrina seminuda (Orbiny, 1846)
Família Pholadidae
Cyrtopleura costata (Linnaeus, 1758)
Pholas campechiensis Gmelin, 1791
Família Pectinidae
Chlamys tehuelchus (Orbigny, 1846)
Família Teredinidae
Nausitora fusticula (Jeffreys, 1860)
Bankia bagidaensis (Roch, 1931)
Bankia fimbriatula (Moll & Roch, 1931)
Bankia rochi (Moll, 1931)
Nausitora fusticula (Jeffreys, 1860)
Neoteredo reynei (Bartsch, 1920)
Psiloteredo healdi (Bartsch, 1931)
Teredo turnerae (Müller & Lana, 2004)
Família Limidae
Lima pellucida C.B. Adams, 1846
Família Lucinidae
Codakis costata (Orbigni, 1842)
Divaricella quadrisulcata (Orbigny, 1842)
Lucina pectinata (Gmelin, 1791)
Família Semelidae

Semele proficua (Pulteney, 1799)
Semele purpurascens (Gmelin, 1791)
Família Solecurtidae
Tagelus plebeius (Lightfoot, 1786)
Família Solenidae
Solen tehuelchus (Orbigny, 1843)
Família Spondylidae
Spondylus americanus (Hermann, 1871)
Família Veneridae
Anomalocardia brasiliana (Gmelin, 1791)
Chione pubera (Bory Saint-Vincent, 1827)
Dosinia concentrica (Born, 1778)
Tivela mactroides (Born, 1778)
Família Tellinidae
Tellina radiata Linnaeus, 1758
Tellina lineat Turton, 1819
Strigilla carnaria (Linnaeus, 1758)
Macoma constricta (Bruguière, 1792)
CLASSE GASTROPODA
Família Acmaeidae
Collisella subrugosa (Orbigny, 1846)
Família Aplysiidae
Aplysia brasiliana Rang, 1828
Família Buccinidae
Pisania pusio (Linnaeus, 1758)
Buccinanops gradatum (Deshayes, 1844)
Família Cancellariidae
Cancellaria reticulata (Linnaeus, 1767)
Família Cerithiidae
Cerithium atratum (Born, 1778)
Família Capulidae
Capulus incurvatus (Gmelin, 1791)
Família Calytraeidae
Credidula aculeata (Gmelin, 1791)
Credidula protea (Orbigny, 1835)
Família Bullidae
Bulla striata Bruguière, 1792
Família Columbellidae
Columbella mercatoria (Linnaeus, 1758)
Anachis lavrata (Sowerby, 1832)
Família Conidae
Conus beddomei Sowerby, 1901
Família Cymatiidae
Cymatium parthenopeum parthenopeum (von Salli, 1793)
Família Epitoniidae
Epitonium angulatum (Say, 1830)
Família Fasciolariidae
Leucozonia nassa (Gmelin, 1791)
Famíla Fissurellidae
Hemitoma octoradiata (Gmelin, 1791)
Diodora cavenensis (Lamarck, 1822)
Fissurela rosea (Gmelin, 1791)
Família Hidrobiidae
Heleobia australis (D´Orbiny, 1835)
Família Cerithiidae
Cerithium atratum (Born, 1778)
Família Littorinidae
Littorina ziczac (Gmelin, 1791)
Littorina flava (King & Broderip, 1832)
Família Marginellidae
Persicula largillieri (Kiener, 1834)
Família Muricidae
Siratus senegalensis (Gmelin, 1790)
Trophon pelseneeri E. A. Smith, 1915
Família Nassariidae

Nassarius vibex (Say, 1822)
Família Naticidae
Natica livida Pfeiffer, 1840
Natica canrena (Linnaeus, 1758)
Polinices lacteus (Guilding, 1833)
Família Neritidae
Neritina virginea (Linaeus, 1758)
Família Olividae
Olivancillaria vesica vesica (Lamarck, 1810)
Olivancillaria vesica auricularia (Lamarck, 1810)
Olivella minuta (Link, 1807)
Família Ovulidae
Simnia uniplicata (Sowerby, 1848)
Cyphora gibbosum (Linnaeus, 1758)
Família Phasianellidae
Tricolia affinis (C.B. Adams, 1850)
Família Rissoidae
Alvania auberiana (D´Orbigni, 1842)
Família Terebridae
Hastula cinerea (Born, 1778)
Terebra brasiliensis (E. A. Smith, 1873)
Família Thaididae
Thais haemastoma (Linnaeus, 1767)
Morula nodulosa (C. B. Adams, 1845)
Família Triviidae
Trivia candidula Gaskoin, 1835
Família Trochidae
Tegula viridula (Gmelin, 1791)
Família Turbinidae
Astraea latispina (Philippi, 1844)
Astraes tecta (Philippi, 1846)
Família Turbinellidae
Vasum cassiforme (Kiener, 1841)
Família Turritellidae
Turritella exoleta (Linnaeus, 1758)
Família Volutidae
Odontocymbiola americana (Reeve, 1856)
CLASSE SCAPHOPODA
Família Dentaliidae
Antalis disparile (Orbigny, 1842)
CLASSE POLYCHAETA
Família Amphinomidae
Paleanotus chrysolepsis Schmarda, 1861
Família Aphroditidae
Pontogenia chrysocoma (Baird, 1865)
Família Dorvilleidae
Dorvillea sp.
Família Sigalionidae
Pisione parhelenae (Wilde & Govaere, 1995)
Família Glyceridae
Glycera americana (Leidy, 1855)
Glycera dibranchiate (Ehlers, 1869)
Glycinde multidens Müller in Grube, 1858
Hemipodia simplex (Grube, 1857)
Hemipodus olivieri Orensanz & Gianuca, 1974
Família Goniadidae
Goniadides carolinae (Day, 1973)
Goniada brunnea Treadwell, 1906
Goniada teres (Treadwell, 1931)
Família Syllidae
Syllis sp.
Syllis gracilis Grube, 1840
Exogone breviantennata Hartmann-Schröder, 1959
Exogone gemmifera Pagenstecher, 1862
Haplosyllis spongicola (Grube, 1855)

Sphaerosyllis sp.
Odontosyllis sp.
Trypanosyllis sp
Typosyllis sp.
Família Magelonidae
Magelona nonatoi Bolivar & Lana, 1986
Magelona sp.
Família Paraonidae
Aedicira sp.
Cirrophorus sp.
Paraonis sp.
Família Nereididae
Ceratonereis sp.
Laeonereis acuta (Treadwell, 1923)
Laeonereis culveri (Webster, 1879)
Namalycastis abiuma (Grube, 1811)
Neanthes succinea Frey & Leuckart, 1868
Nereis oligohalina (Rioja, 1946)
Gymnonereis sp.
Família Capitellidae
Capitella capitate (Fabricius, 1780)
Notomastus sp.
Família Chrysopetalidae
Chrysopetalum sp.
Família Spionidae
Laonice sp.
Scolelepis sp.
Spiophane bombyx (Claperède, 1870)
Prionospio steenstrupi (Malmgren, 1867)
Paraprionospio pinnata (Ehlers, 1901)
Polydora sp.
Família Hesionidae
Ophiodromus sp.
Família Lumbrineridae
Lumbrineris coccinea (Renier, 1804)
Lumbrineris latreili Audouin & Milne -Edwards, 1834
Lumbrineris magalhaensis (Kinberg, 1865)
Lumbrineris sp.
Scoletoma treadwelli (Hartman, 1956)
Família Ampharetidae
Amphicteis sp.
Isolda sp.
Família Pilargidae
Hermundura tricuspis Müller, 1858
Sigambra grubei Müller in Grube, 1858
Família Sigalionidae
Ancistrosyllis sp.
Sigambra sp.
Sthenelais articulate Kingberg, 1856
Sthenelanella atipica
Família Eunicidae
Eunice sp.
Eunice cariboea Grube, 1856
Eunice conglomerans Ehlers, 1887
Eunice donathi Carrera-Parra & Salazar-Vallejo, 1998
Eunice edwinlinkae Carrera-Parra & Slazar-Vallejo, 1998
Eunice filamentosa Grube, 1856
Eunice fucata Ehlers, 1887
Eunice marcusi Zanol, Paiva & Attolini, 2000
Eunice mutilate samoae Hartmann-Schröder, 1965
Eunice ornate Andrews, 1891
Nematonereis sp.
Família Onuphidae
Diopatra cuprea (Bosc, 1802)
Mooreonuphis sp.

Família Opheliidae
Polyophthalmus sp.
Família Orbiniidae
Scoloplos sp.
Família Terebellidae
Streblosoma sp.
Pista macrolobata (Hessle, 1917)
Pista sp.
Família Owenia
Owenia fusiformis Delle Chiaje, 1844
Família Pholoididae
Pholoe minuta (Fabricius, 1780)
Família Polynoidae
Halosydnella australis (Kinberg, 1856)
Halosydnella sp.
Lepidonotus panamensis Hartman, 1939
Família Maldanidae
Euclymene sp.
Lumbriclymene sp.
Família Sabellidae
Chone sp.
Megalomma sp.
Sabellaria bela Grube, 1870
Sabellaria nanella Chamberlin, 1919
Sabellaria wilsoni Lana & Gruet, 1989
Família Cirratulidae
Caulleriella sp.
Família Scalibregmidae
Scalibregma sp.
Familia Pectinariidae
Pectinaria sp.
Família Sigalionidae
Sigalion sp.
Sthenelanella sp.
Família Polynoidae
Eunöe sp.
Família Serpulidae
Filograna implexa Berkeley, 1827
Hydroides plateni (Kinberg, 1867)
Família Flabelligeridae
Pherusa parmata (Grube, 1877)
Família Eulepethidae
Grubeulepsis tebblei
CLASSE HIRUDINEA
SUBFILO CRUSTACEA
ORDEM DECAPODA
Família Diogenidae
Isocheles sawayai Forest & de Saint Laurent, 1968
Clibanarius sclopetarius (Herbst, 1796)
Clibanarius Vittatus (Bosc, 1802)
Clibanarius antillensis Stimpsom, 1862
Paguristes erythrops Holthuis, 1959
Petrochirus diogenes Linnaeus, 1758
Família Paguridae
Pagurus leptonyx Forest & de Saint Laurent, 1968
Família Ocypodidae
Ocypode quadrata (Fabricius, 1787)
Ucides cordatus (Linnaeus, 1763)
Uca thayeri Rathbun, 1900
Uca vocator (Herbst, 1804)
Uca cumulanta Crane, 1943
Uca mordax (Smith, 1870)
Uca leptodactyla Rathbun, 1898
Uca rapax (Smith, 1870)
Uca victoriana von Hagen, 1987

Família Gecarcinidae
Cardisoma guanhumi Latreille, 1825
Família Grapsidae
Aratus pisonii (H. Milne Edwards, 1837)
Goniopsis cruentata (Latreille, 1803)
Família Xanthidae
Eurythium limosum (Say, 1818)
Pilumnus spinosissimus Rathbun, 1898
Família Goneplacidae
Chasmocarcinus cylindricus Rathbun, 1901
Família Leucosiidae
Ebalia stimpsoni A. Milne -Edwards, 1880
Família Parthenopidae
Heterocrypta lapidea Rathbun, 1901
Família Pinnotheridae
Pinnixa patagoniensis Rathbun, 1918
Família Portunidae
Callinectes danae Smith, 1869
Callinectes ornatus Ordw ey, 1863
Família Aethridae
Hepatus pudibundus Herbst, 1785
Família Callianassidae
Callichirus major (Say, 1818)
Família Penaeoidea
Penaeopsis serrata (Bate, 1881)
Farfantepenaeus brasiliensis
Xiphopenaeus kroyeri (Heler, 1862)
Família Thalassinidae
Callichirus major (Say, 1818)
Família Alpheidae
Alpheus sp1.
Alpheus sp2.
Alpheus macrochelis Hailstone, 1835
Família Hippidae
Emerita brasiliensis Schmitt, 1935
ORDEM ISOPODA
Família Cirolanidae
Cirolana sp.
Excirolana braziliensis Richardson, 1912
Eurydice sp.
Família Anthuridae
Apanthura sp.
Mesanthura fasciata Kensley, 1982
Família Idoteidae
Erichsonella sp.
ORDEM TANAIDACEA
Família Apseudidae
Apseudes sp.
Família Kalliapseudidae
Kalliapseudes sp.
Kalliapseudes schubarti Mañe-Garzon
Família Leptocheliidae
Leptochelia sp.
Família Tanaissuidae
Tanaissus sp.
ORDEM CUMACEA
Família Diastylidae
Diastylis sp.
Família Nannastacidae
Campylaspis sp.
Família Muridae
Cumella sp.
Família Bodotriidae
Bodotria sp.
ORDEM PALAEOCOPA

ORDEM OSTRACODA
ORDEM AMPHIPODA
Família Ampeliscidae
Ampelisca sp.
Família Chevaliidae
Chevalia sp.
Chevalia aviculae Walker, 1904
Família Melitidae
Melita sp.
Melita orgasmos K.H. Barnard, 1940
Família Photidae
Gammaropsis togoensis (Schellenberg, 1925)
Gammaropsis chelifera (Chevreux, 1901)
Photis sp.
Família Synopiidae
Syrrhoe crenulata Goës, 1866
Tiron tropakis J. L. Barnard, 1972
Família Platyischnopidae
Tiburonella viscana J. L. Barnard, 1964
Família Phoxocepphalidae
Metharpinia sp.
Família Ischyroceridae
Ericthonius sp.
Ericthonius brasiliensis (Dana, 1853)
Família Leucothoidae
Leucothoe sp.
Leucothoe denticulata Mateus & Mateus, 1966
Família Podoceridae
Podocerus fulanus J. L. Barnard, 1962
Família Amphilochidae
Amphilocus neapolitanus Della Valle, 1893
Gitanopsis sp.
Família Caprellidae
Caprella sp.
Família Aoridae
Aora spinicornis Afonso, 1976
Heterophlias seclusus Shoemaker, 1933
Lembos smithi (Holmes, 1905)
Lembos unicornis (Bynum & Fox, 1977)
Família Atylidae
Atylus minikoi (Walker, 1905)
Família Bateidae
Batea catharinensis Müller, 1865
Família Exoedicerotidae
Bathyporeiapus bisetous Escofet, 1970
Bathyporeiapus ruffoi Escofet, 1971
Família Maeridae
Ceradocus paucidentatus J. L. Barnard, 1952
Elasmopus brasiliensis (Dana, 1855)
Elasmopus ropax Costa, 1853
Mallacoota subcarinata Haswell, 1880
Quadrivisio lutzi Shoemaker, 1933
Família Megaluropidae
Gibberosus myersi (McKinney, 2009)
Família Ischyroceridae
Cerapus tubuloris Say, 1817
Família Oedicerotidae
Monoculodes nyei Stimpson, 1853
Família Phliantidae
Heterophlias seclusus Shoemaker, 1933
Família Talitridae
Orchestia darwini Müller, 1864
Orchestia platensis Kroyer, 1845
Família Stenothoidae
Stenothoe valida Dana, 1852

Família Megaluropidae
Resupinus coloni Thomas & Barnard, 1986
Família Liljeborgiidae
Listriella titinga (Wakabara, Tararam, Valério-Berardi & Leite, 1988)
FILO ECHINODERMATA
ORDEM OPHIUROIDEA
Família Amphiuridae
Amphipholis squamata (delle Chiaje, 1828)
Amphiodia atra (Stimpson,1852)
Família Ophiactidae
Ophiactis lymani Ljungman, 1872
ORDEM CLYPEASTEROIDEA
Família Mellitidae
Mellita sp.
Mellita quinquiesperforata (Leske, 1778)
ORDEM APODIDA
Família Synaptidae
Leptosynapta sp. (Verrill, 1867)

Tabela 277 – Lista de táxons de *Porifera* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Filo Porifera Grant, 1836	
Classe Demospongiae Sollas, 1885	
Família Plakinidae Schulze, 1880	Plakinidae indet.
	Plakina spp.
	Plakinastrella sp.
	Plakortis sp.
Família Spirasigmidae Hallmann, 1912	Spirasigmidae indet.
Família Tetillidae Sollas, 1886	*Cinachyra* sp.
	Cinachyrella spp.
	Cinachyrella aff. *alloclada* (Uliczka, 1929)
	Cinachyrella aff. *apion* (Uliczka, 1929)
	Cinachyrella aff. *kuekenthali* (Uliczka, 1929)
	Cinachyrella kuekenthali (Uliczka, 1929)
	Tetilla spp.
Família Ancorinidae Schmidt, 1870	Ancorinidae indet.
	Asteropus spp.
	Ecionemia sp.
	Holoxea sp.
	Jaspis spp.
	Melophlus sp.
	Penares sp.
	Rhabdastrella sp.
	Stelletta spp.
	Tribrachium schmidti Weltner, 1882
Família Calthropellidae Lendenfeld, 1907	*Pachastrissa* sp.
Família Geodiidae Gray, 1867	*Erylus* spp.
	Geodia spp.
Família Pachastrellidae Carter, 1875	Pachastrellidae indet.
Família Thrombidae Sollas, 1888	*Thrombus* sp.
Família Clionaidae D'Orbigny, 1851	*Cliona* spp.
	Thoosa sp.
Família Hemiasterellidae Lendenfeld, 1889	Hemiasterellidae indet.
Família Polymastiidae Gray, 1867	*Polymastia* sp.
	Radiella sp.
Família Suberitidae Schmidt, 1870	Suberitidae indet.
	Aaptos spp.
	Terpios sp.
Família Spirastrellidae Ridley & Dendy, 1886	*Diplastrella bistellata* (Schmidt, 1862)
	Diplastrella megastellata Hechtel, 1965
	Spirastrella sp.
Família Timeidae Topsent, 1928	*Timea cumana* Pulitzer-Finali, 1977
	Timea spp.
Família Tethyidae Gray, 1848	*Tethytimea* sp.
Família Trachycladidae Hallmann, 1917	cf. *Rhaphidistia* sp.
Família Chondrillidae Gray, 1872	*Chondrilla* aff. *nucula* Schmidt, 1862
	Chondrosia sp.
Família Desmanthidae Topsent, 1893	Desmanthidae indet.
	Petromica sp.
Família Theonellidae Lendenfeld, 1903	*Theonellidae* indet.
Família Agelasiidae Verrill, 1907	*Agelas clathrodes* (Schmidt, 1870)
	Agelas conifera (Schmidt, 1870)
	Agelas dispar Duch. & Mich., 1864
	Agelas schmidti Wilson, 1902
	Agelas tubulata Lehnert & van Soest, 1996
	Agelas sp.
Família Acarnidae Dendy, 1922	*Acarnus nicoleae* (van Soest, Hooper & Hiemstra, 1991)
	Acarnus radovani (Boury-Esnault, 1973)
	Acarnus toxeata Boury-Esnault, 1973
	Acarnus sp.
Família Microcionidae Carter, 1875	*Clathria* spp.
Família Raspailiidae Hentschel, 1923	*Raspailidae* indet.

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Waltherarndtia sp.
Família Rhabderemiidae Topsent, 1928	*Rhabderemia* spp.
Família Coelosphaeridae Dendy, 1922	*Forcepia* sp.
Família Crambeidae Lévi, 1963	*Monanchora arbuscula* (Duch. & Mich., 1864)
	Monanchora aff. *clathrata* Carter, 1883
	Monanchora spp.
Família Hymedesmiidae Topsent, 1928	*Hymedesmiidae* indet.
Família Iotrochotidae Dendy, 1922	*Iotrochota* sp.
Família Myxillidae Dendy, 1922	*Myxillidae* indet.
Família Tedaniidae Ridley & Dendy, 1886	*Tedaniidae* indet.
	Tedania sp.
Família Desmacellidae Ridley & Dendy, 1886	*Desmacellidae* indet.
Família Esperiopsidae Hentschel, 1923	*Amphilectus* sp.
Família Mycalidae Lundbeck, 1905	*Mycale quadripartita* Boury-Esnault, 1973
	Mycale sp.
Família Latrunculiidae Topsent, 1922	*Latrunculiidae* indet.
Família Axinellidae Carter, 1875	*Axinellidae* indet.
	Auletta sp.
	Axinella sp.
	Dragmacidon spp.
	Dragmaxia aff. *undata* Alvarez, Rützler & van Soest, 1998
	Phakelia sp.
	Ptilocaulis sp.
Família Desmoxyidae Hallmann, 1917	*Desmoxyidae* indet.
	Didiscus sp.
	Myrmekioderma sp.
Família Dictyonellidae van Soest, Diaz & Pomponi, 1990	*Dictyonellidae* indet.
	Acanthella sp.
Família Halichondriidae Gray, 1867	*Halichondriidae* indet.
	Ciocalapata sp.
	Ciocalypta spp.
	Halichondria spp.
	Hymeniacidon sp.
	Spongosorites sp.
	Topsentia aff. *ophiraphidites* (de Laubenfels, 1934)
	Topsentia spp.
Família Callyspongiidae de Laubenfels, 1936	*Callyspongia* spp.
Família Chalinidae Gray, 1867	*Chalinidae* indet.
Família Niphatidae van Soest, 1980	*Niphatidae* indet.
Família Phloeodictyidae Carter, 1882	*Oceanapia* spp.
Família Petrosiidae van Soest, 1980	*Petrosiidae* indet.
	Xestospongia spp.
	Petrosia spp.
Família Irciniidae Gray, 1867	*Ircinia strobilina* (Lamarck, 1816)
	Ircinia spp.
Família Spongiidae Gray, 1867	*Spongiidae* indet.
	Hippospongia sp.
	Hyattella cavernosa (Pallas, 1766)
	Leiosella sp.
	Spongia spp.
Família Thorectidae Bergquist, 1978	*Thorectidae* indet.
Família Dysideidae Gray, 1867	*Dysidea* spp.
Família Darwinellidae Merejkowsky, 1879	*Darwinella* sp.
Família Aplysinidae Carter, 1875	*Aplysinidae* indet.
	Aplysina cauliformis (Carter, 1882)
	Aplysina lacunosa (Pallas, 1766)
	Aplysina fulva (Pallas, 1766)
	Aplysina spp.
	Aiolochroia crassa (Hyatt, 1875)
	Verongula gigantea (Hyatt, 1875)
Classe Calcarea Bowerbank, 1864	

Classificação	Espécie ou morfotipo
Família Leucettidae de Laubenfels, 1936	*Leucetta* sp.
Família Clathrinidae Minchin, 1900	*Clathrina* sp.
Família Grantiidae Dendy, 1892	*Leucandra* sp.
	Grantia sp.
Família Jenkinidae Borojevic, Boury -Esnault & Vacelet, 2000	*Jenkinidae* indet.
Classe *Hexactinellida* Schmidt, 1870	
Família Aphrocallistidae Gray, 1867	*Aphrocallistes beatrix* (Gray, 1858)
Família Dactylocalycidae Gray, 1867	*Dactylocalyx pumiceus* (Stutchbury, 1841)
Família Euretidae Zittel, 1877	*Euretidae* indet.

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Tabela 278 – Lista de táxons de *Cnidaria* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Filo Cnidaria	
Classe Anthozoa	
Família Antipathidae	*Antipathes atlantica* Gray, 1857
	Antipathes furcata Gray, 1857
	Antipathes sp.
	Cirrhipathes sp.1
	Cirrhipathes sp.2
	Cirrhipathes sp.3
	Cirrhipathes sp.
Família Myriopathidae	*Tanacetipathes hirta* (Gray, 1857)
	Tanacetipathes tanacetum (Pourtalès, 1880)
	Tanacetipathes thamnea (Warner, 1981)
	Tanacetipathes sp.1 *sensu* Loiola, 2003
	Tanacetipathes sp.2 *sensu* Loiola, 2003
	Tanacetipathes sp.
Família Schizopathidae	*Schizopathes affinis* Brook, 1889
Família Agariciidae	*Agaricia fragilis* Dana, 1846
	Agaricia humilis (Verrill, 1901)
	Agaricia sp.
Família Caryophylliidae	*Caryophyllia ambrosia caribbeana* Cairns, 1979
	Caryophyllia berteriana Duchassaing, 1850
	Caryophyllia sp.
	Cladocora debilis Milne-Edwards & Haime, 1849
	Coenocyathus sp.1
	Coenocyathus sp.
	Deltocyathus calcar Pourtalès, 1874
	Deltocyathus eccentricus Cairns, 1979
	Deltocyathus sp. cf. *D. italicus* (Michelotti, 1838)
	Deltocyathus moseleyi Cairns, 1979
	Deltocyathus sp.
	Lophelia pertusa (Linnaeus, 1758)
	Phyllangia sp.1
	Rhizosmilia maculata (Pourtalès, 1874)
	Solenosmilia variabilis Duncan, 1873
	Trochocyathus laboreli Cairns, 2000
Família Faviidae	*Favia gravida* Verrill, 1868
	Montastraea cavernosa Linnaeus, 1767
Família Flabellidae	*Flabellum apertum* Moseley, 1881
	Flabellum sp.
Família Guyniidae	*Stenocyathus vermiformis* (Pourtalès, 1868)
Família Meandrinidae	*Meandrina braziliensis* (Milne-Edwards & Haime, 1849)
Família Mussidae	*Mussismilia braziliensis* (Verrill, 1868)
	Mussismilia harttii (Verrill, 1868)
	Mussismilia hispida (Verrill, 1902)
	Mussismilia sp.
	Scolymia wellsi Laborel, 1967
Família Oculinidae	*Madrepora oculata* Linnaeus, 1758
	Madrepora sp.
Família Pocilloporidae	*Madracis asperula* Milne-Edwards & Haime, 1849
	Madracis brueggemanni (Ridley, 1881)
	Madracis decactis (Lyman, 1859)
	Madracis sp.
Família Poritidae	*Porites astreoides* Lamarck, 1816
	Porites branneri Rathbun, 1888
	Porites sp.
Família Rhizangiidae	*Astrangia rathbuni* (Vaughan, 1906)
	Astrangia sp.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Família Siderastreidae	*Siderastrea stellata* Verrill, 1868
Família Turbinoliidae	*Sphenotrochus auritus* Pourtalès, 1874
	Sphenotrochus sp.
Família Acanthogorgiidae	*Acanthogorgia aspera* Pourtalès, 1867
	Acanthogorgia schrammi (Duchassaing & Michelotti, 1864)
	Acanthogorgia sp.1
Família Alcyoniidae	*Anthomastus grandiflorus* Verrill, 1922
	Anthomastus sp.
	Inflatocalyx sp.1
Família Anthothelidae	*Paragorgia johnsoni* Gray, 1862
Família Chrysogorgiidae	*Chrysogorgia* sp.
	Radicipes sp.1
	Radicipes sp.2
	Stephanogorgia sp.1
Família Clavulariidae	*Carijoa riisei* (Duchassaing & Michelotti, 1860)
	Telestula sp.1
Família Coralliidae	*Corallium medea* Bayer, 1964
Família Ellisellidae	*Ctenocella* (*Ellisella*) *elongata* (Pallas, 1766)
	Ctenocella (*Ellisella*) sp.1
	Ctenocella (*Ellisella*) sp.
	Juncella sp.1
	Nicella guadalupensis (Duchassaing & Michelotti, 1860)
	Nicella sp.1
	Riisea sp.1
Família Gorgoniidae	*Leptogorgia violacea* (Pallas, 1766)
	Leptogorgia cetacea (Pallas, 1766)
	Leptogorgia sp.
	Lophogorgia sp. *sensu* Castro, 1990
	Olindagorgia gracilis (Verrill, 1868)
Família Isididae	*Acanella arbuscula* Johnson, 1862
	Acanella sp.1
	Keratoisis sp.1
	Isidella longiflora Verrill, 1883
Família Nidaliidae	*Nidalia* sp.1
	Nidalia sp.2
Família Plexauridae	*Bebryce cinerea* Deichmann, 1936
	Brebyce parastellata Deichmann, 1936
	Bebryce sp.
	Caliacis nutans (Duchassaing & Michelotti, 1864)
	Caliacis sp.1
	Heterogorgia uatumani Castro, 1990
	Muricea flamma Marques & Castro, 1995
	Muriceides cf. *obtusus* (Wright & Studer, 1889)
	Muriceopsis sp. *sensu* Medeiros, 1998
	Muriceopsis sp.1
	Paramuricea placomus (Linnaeus, 1758)
	Paramuricea sp.
	Placogorgia atlantica Wright & Studer, 1889
	Scleracis guadalupensis (Duchassaing & Michelotti, 1860)
	Scleracis sp.
	Swiftia exserta (Ellis & Solander, 1786)
	Thesea bicolor Deichmann, 1936
	These asp. *sensu* Tixier-Durivault, 1970
	Thesea sp.
	Villogorgia nigrescens Duchassaing & Michelotti, 1860
	Villogorgia sp.
Família Primnoidae	*Narella* sp.1
	Primnoella polita Deichmann, 1936
	Primnoella sp.1

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Primnoella sp.
Família Anthoptilidae	*Anthoptilum* sp.1
	Anthoptilum sp.
Família Pennatulidae	*Pennatula bayeri* Castro & Medeiros, 2001
	Pennatula sp.1
	Pennatula sp.2
Família Renillidae	*Renilla muelleri* Kölliker, 1872
	Renilla reniformis (Pallas, 1766)
Família Umbellulidae	*Umbellula thomsonii* (Kölliker, 1874)
Família Virgulariidae	*Acanthoptilum* cf. *agassizi* Kölliker, 1872
Classe Hydrozoa	
Família Milleporidae	*Millepora* sp.
Família Stylasteridae	*Crypthelia* sp.1
	Stylaster sp.1

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Tabela 279 – Lista de táxons de *Nematoda* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Filo Nematoda	
Classe Adenophorea	
Família Thoracostomopsidae	*Enoploides* Ssaweljev, 1912
	Enoplolaimus de Man, 1893
	Mesacanthoides Wieser, 1953
	Thoracostomopsis Ditlevsen, 1918
Família Anoplostomatidae	*Anoplostoma* Bütschli, 1874
Família Phanodermatidae	*Crenopharynx* Filipjev, 1934
	Micoletzkyia Ditlevsen, 1926
	Phanoderma Bastian, 1865
Família Anticomidae	*Anticoma* Bastian, 1865
	Odontanticoma Platonova, 1976
	Paranticoma Micoletzky, 1930
Família Ironidae	*Syringolaimus* de Man, 1888
Família Leptsomatidae	*Cylicolaimus* de Man, 1889
	Deontostoma Filipjev, 1916
	Leptosomatides Filipjev, 1918
	Leptosomatum Bastian, 1865
	Metacylicolaimus Stekhoven, 1946
	Pseudocella Filipjev, 1927
	Synonchus Cobb, 1894
	Thoracostoma Marion, 1870
Família Oxystominidae	*Halalaimus* de Man, 1888
	Oxystomina Filipjev, 1927
	Thalassoalaimus de Man, 1893
Família Oncholaimidae	*Pontonema* Leidy, 1855
	Viscosia de Man, 1890
Família Enchelidiidae	*Bathyeurystomina* Lambshead & Platt, 1979
	Calyptronema Marion, 1870
	Symplocostoma Bastian, 1865
Família Chromadoridae	*Euchromadora* de Man, 1886
	Steineridora Inglis, 1969
Família Comesomatidae	*Paracomesoma* Hope & Murphy, 1972
	Sabatieria Rouville, 1903
	Vasostoma Wieser, 1954
Família Cyatholaimidae	*Marylynnia* Hopper, 1977
	Paracanthonchus Micoletzky, 1924
Família Selachnematidae	*Choanolaimus* de Man, 1880
	Demonema Cobb, 1894
	Halichoanolaimus de Man, 1886
Família Desmodoridae	*Chromaspirinia* Filipjev, 1918
	Desmodora de Man, 1889
	Echinodesmodora Blome, 1982
	Eubostrichus Greef, 1869
	Leptonemella Cobb, 1920
	Metachromadora Filipjev, 1918
	Pseudochromadora Daday, 1889
	Sigmophoranema Hope & Murphy, 1972
	Stygodesmodora Blome, 1982
	Zalonema Cobb, 1920
Família Leptolaimidae	*Leptolaimus* de Man, 1876
Família Aegialoalaimidae	*Cyartonema* de Man, 1907
Família Monhysteridae	*Thalassomonhystera* Jacobs, 1987
Família Xyalidae	*Linhystera* Juario, 1974
	Manganonema Busseau, 1993
	Omicronema Cobb, 1920
Família Linhomoeidae	*Disconema* Filipjev, 1918
	Linhomoeus Bastian, 1865
	Megadesmolaimus Wieser, 1954
	Metalinhomoeus de Man, 1907
	Terschellingia de Man, 1888
Família Axonolaimidae	*Ascolamius* Ditlevsen, 1919

Família Diplopeltidae	*Diplopeltis* Cobb in Stiles & Hassal, 1905
	Diplopeltula Gerlach, 1950

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Tabela 280 – Lista de táxons de *Mollusca* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Filo Mollusca	
Gastropoda	
Scissurellidae	*Anatoma aedonia* (Watson, 1886)
	Anatoma sp.
	Scissurella cingulata O. G. Costa, 1861
	Sinezona brasiliensis Mattar, 1987
	Sinezona sp.
Haliotidae	*Haliotis aurantium* Simone, 1998
Acmaeidae	*Acmaea* sp.
	Collisella abrolhosensis (Petuch, 1979)
	Collisella sp.
	sp. não identificado
Fissurellidae	*Diodora* aff. *jaumei* Aguayo & Rehder, 1936
	Diodora aff. *mirifica* Métivier, 1972
	Diodora jaumei Aguayo & Rehder, 1936
	Diodora listeri (Orbigny, 1842)
	Diodora meta (Ihering, 1927)
	Diodora mirifica Métivier, 1972
	Diodora sayi (Dall, 1899)
	Diodora sp.1
	Diodora sp.2
	Diodora sp.3
	Emarginula aff. *phrixodes* Dall, 1927
	Emarginula pumila (A. Adams, 1851)
	Emarginula sp.
	Emarginula tuberculosa Libassi, 1859
	Lucapina aegis (Reeve, 1850)
	Lucapina sowerbii Sowerby, 1835
	Lucapinella limatula (Reeve, 1850)
	Puncturella pauper Dall, 1927
	Puncturella sp.
Trochidae	*Brookula* aff. *lamonti* Clarke, 1961
	Brookula conica (Watson, 1885)
	Brookula pfefferi Powell, 1951
	Brookula spinulata Absalão, Pimenta & Miyaji, 2001
	Calliostoma aff. *carcellesi* Clench & Aguayo, 1940
	Calliostoma brunneopictum Quinn, 1992
	Calliostoma carcellesi Clench & Aguayo, 1940
	Calliostoma depictum Dall, 1927
	Calliostoma echinatum Dall, 1881
	Calliostoma gemmosum (Reeve, 1842)
	Calliostoma sp.
	Calliostoma vinosum Quinn, 1992
	Calliotropis actinophora (Dall, 1890)
	Calliotropis aeglees (Watson, 1879)
	Calliotropis calatha (Dall, 1927)
	Echinogurges clavatus (Watson, 1879)
	Echinogurges sp.
	Euchelus hummelincki Moonlenbeek & Faber, 1989
	Gaza aff. *olivacea* Quinn, 1991
	Halystilus columna Dall, 1890
	Lamellitrochus carinatus Quinn, 1991
	Marevalvata tricarinata (Stearns, 1872)
	Margarites dnopherus (Watson, 1879)
	Margarites sp.
	Mirachelus clinocnemus Quinn, 1979
	Solariella carvalhoi Lopes & Cardoso, 1958
	Solariella lubrica Dall, 1881
	Solariella sp.
	Vetulonia jeffreysi Dall, 1913
Vanikoridae	*Crucibulum auricula* (Gmelin, 1791)
Skeneidae	*Anekes* sp.

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Cyclostremiscus pentagonus (Gabb, 1873)
	Cyclostremiscus sp.
	Haplocochlias aff. *swifti* Vanatta, 1913
	Moelleriopsis sp.
	Moelleriopsis watsoni (Tryon, 1888)
	Palazzia planorbis (Dall, 1927)
	Parviturbo rehderi Pilsbry & McGinty, 1945
	Parviturbo sp.
	Parviturbo weberi Pilsbry & McGinty, 1945
	Skenea sp.
	sp. não identificado
Turbinidae	*Arene* aff. *riisei* Rehder, 1943
	Arene aff. *venusta* Woodring, 1928
	Arene bairdii (Dall, 1889)
	Arene boucheti (Leal, 1991)
	Arene brasiliana (Dall, 1881)
	Arene flexispina Leal & Coelho, 1985
	Arene microforis (Dall, 1889)
	Arene sp.
	Arene variabilis (Dall, 1889)
	Arene venusta (Woodring, 1928)
	Astraea latispina (Philippi, 1844)
	Astraea phoebia (Röding, 1798)
	Astraea sp.
	Astraea tecta olfersii (Philippi, 1846)
	Homalopoma borrii Mann, 1975
	Turbo cailleti Fisher & Bernardi, 1857
	Turbo canaliculatus Hermann, 1781
	Turbo castanea Gmelin, 1971
	Turbo heizei Prado, 1998
	Turbo sp.
Cyclostrematidae	*Cyclostrema* sp.
	Cyclostrema tortuganum (Dall, 1927)
Phenacolepadidae	*Phenacolepas hamillei* (Fisher, 1857)
Seguenziidae	*Ancistrobasis costulata* (Watson, 1879)
	Carenzia carinata (Jeffreys, 1876)
	Carenzia trispinosa (Watson, 1888)
	Hadroconus altus (Watson, 1879)
	Seguenzia hapala Woodring, 1928
Tricoliidae	*Gabrielona sulcifera* Robertson, 1973
	sp. não identificado
	Tricolia affinis (C.B. Adams,1850)
	Tricolia bella (M. Smith, 1937)
	Tricolia sp.
	Tricolia thalassicola Robertson, 1958
Capulidae	*Capulus* sp.
	sp. não identificado
Truncatellidae	*Truncatella* sp.
Rissoidae	*Alvania auberiana* (Orbigny, 1842)
	Alvania caribaea (Orbigny, 1842)
	Alvania colombiana Romer & Moore, 1988
	Alvania sp.
	Benthonella sp.
	Benthonella tenella (Jeffreys, 1883)
	Benthonellania xanthias (Watson, 1885)
	Ceratia sp.
	Folinia bermudezi (Aguayo & Rehder, 1936)
	Rissoa sp.
	Rissoina aff. *sagraiana* Orbigny, 1842
	Rissoina bryerea (Montagu, 1803)
	Rissoina cancellata (Phillipi, 1847)
	Rissoina catesbyana Orbigny, 1842
	Rissoina decussata Montagu, 1803

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Rissoina fenestrata Schwartz,1860
	Rissoina fischeri Desjardin, 1949
	Rissoina multicostata (C. B. Adams, 1850)
	Rissoina princeps C. B. Adams, 1850
	Rissoina sagraiana Orbigny, 1842
	Rissoina sp.
	Rissoina striosa (C. B. Adams, 1850)
	sp. não identificado
	Zebina browniana (Orbigny, 1842)
Barleeidae	*Barleeia rubrooperculata* Castellanos & Fernadez, 1972
	Barleeia sp.
	Caelatura sp.
	Caelatura barcellosi Absalão & Rios, 1995
	Caelatura speculabunda Absalão, 2002
	Caelatura tigrina Absalão, 2002
	Protobarleeia aff. *pyrrocincta* Absalão, 2002
Rissoellidae	*Rissoella* sp.
	Rissoella caribaea Rehder, 1943
	sp. não identificado
Elaschisinidae	*Elaschisina floridana* (Rehder, 1943)
Assimneidae	*Assimnea succinea* (Pfeiffer, 1840)
Caecidae	*Caecum* (*Caecum*) sp.
	Caecum brasilicum Folin, 1874
	Caecum butoti De Jong & Coomans, 1988
	Caecum circumvolutum Folin,1867
	Caecum eliezeri Absalão, 1997
	Caecum floridanum Stimpson, 1851
	Caecum massambabensis Absalão & Rios, 1997
	Caecum nitidum (Stimpson, 1851)
	Caecum planum Folin, 1867
	Caecum ryssotitum Folin, 1867
	Caecum someri (Folin, 1867)
	Caecum striatum (Folin, 1868)
	Caecum subvolutum Folin, 1874
	Meioceras cornocupiae (Carpenter, 1858)
	Meioceras cubitatum (Folin, 1868)
	Meioceras nitidum (Stimpson, 1851)
	Meioceras sp.
Vitrinellidae	*Circulus* cf. *semisculptum* (Olsson & McGinty, 1958)
	Cochliolepis parasitica Stimpson, 1858
	Episcynia inornata (Orbigny, 1842)
	Parviturboides interruptus (C. B. Adams, 1850)
	Solariorbis aff. *shumoi* (Vanatta, 1913)
	Solariorbis infracarinatus Gabb, 1881
	Solariorbis mooreana (Vanatta, 1904)
	Solariorbis shimeri (Clapp, 1914)
	Solariorbis sp.
	sp. não identificado
	Teinostoma cocolitoris Pilsbry & McGinty, 1945
	Teinostoma incertum Pilsbry & McGinty, 1945
	Teinostoma pilsbryi McGinty, 1945
	Teinostoma sp.
	Vitrinella sp.
Modulidae	*Modulus carchedonius* (Lamarck, 1822)
	Modulus modulus (Linnaeus, 1758)
Cerithiidae	*Bittiolum varium* (Pfeiffer, 1840)
	Cerithium atratum (Born, 1778)
	Cerithium eburneum Bruguiere, 1792
	Cerithium litteratum (Born, 1778)
	Cerithium sp.
	sp. não identificado
	Ittibittium turriculum (Nowell-Usticke, 1969)
Litiopidae	*Alaba incerta* (Orbigny, 1842)

Classificação	Espécie ou morfotipo
Diastomatidae	*Finella dubia* (Orbigny, 1842)
Tornidae	*Macromphalina* sp.
Turritellidae	*Turritella exoleta* (Linnaeus, 1758)
	Turritella hookeri (Reeve, 1849)
	Turritelopsis marplatensis Castellanos & Landoni, 1980
	Vermicularia aff. *spirata* (Phillipi, 1836)
Vermetidae	sp. não identificado
Siliquariidae	*Siliquaria modesta* Dall, 1881
	Siliquaria sp.
	Siliquaria squamata Blainville, 1827
Littorinidae	*Littorina angulifera* (Lamarck, 1822)
Thaididae	*Stramonita haemastoma* (Linnaeus, 1767)
Strombidae	*Strombus gallus* Linnaeus, 1758
	Strombus goliath Schroter, 1805
	Strombus pugilis Linnaeus, 1758
Hipponicidae	*Cheilea equestris* (Linnaeus, 1758)
	Hipponix antiquatus (Linnaeus, 1767)
	Hipponix incurvus (Gmelin, 1791)
	Hipponix leptus Simone, 2002
	Hipponix subrufus (Lamarck, 1819)
Calyptraeidae	*Bostrycapulus aculeatus* (Gmelin, 1791)
	Calyptraea centralis (Conrad, 1841)
	Crepidula plana Say, 1822
	Crepidula sp.
	Crucibulum auricula (Gmelin, 1791)
	Crucibulum striatum (Say, 1824)
	sp. não identificado
Xenophoridae	*Xenophora conchiliophora* (Born, 1780)
	Xenophora longleyi Bartsch, 1931
Cypraeidae	*Cypraea acicularis* Gmelin, 1791
	Cypraea atlantica Gmelin, 1791
	Cypraea sp.
	Cypraea spurca Gmelin, 1791
	sp. não identificado
Triviidae	*Erato maugeriae* (Gray, 1832)
	Trivia antillarum (Schilder, 1922)
	Trivia candidula (Gaskoin, 1836)
	Trivia maltbiana Schwengel & McGinty, 1942
	Trivia nix Schilder, 1922
	Trivia occidentalis(Schilder, 1922
	Trivia pediculus (Linnaeus, 1758)
	Trivia sp.
	Trivia suffusa (Gray, 1830)
Atlantidae	*Atlanta peronii* Lesueur, 1817
Naticidae	*Natica bayeri* Rehder, 1986
	Natica cayennensis Récluz, 1850
	Natica cf. *marochiensis* (Gmelin, 1791)
	Natica cf. *sulcata* (Born, 1778)
	Natica pusilla Say, 1822
	Natica sagrayana Orbigny, 1842
	Natica sp.
	Natica sulcata (Born, 1778)
	Polinices aff. *uberinus* (Orbigny, 1842)
	Polinices fringillus (Dall, 1881)
	Polinices hepaticus (Roding, 1798)
	Polinices lacteus (Guilding, 1833)
	Polinices sp.
	sp. não identificado
Lamellariidae	*Lamellaria atlantica* (Linnaeus, 1758)
Cassidae	*Casmaria ponderosa atlantica* Clench, 1944
	Cypraecassis testiculus (Linnaeus, 1758)
	Phalium sp.
Ranellidae	*Cymatium comptum* (A. Adams, 1855)

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Cymatium labiosum (Wood, 1828)
	Cymatium parthenopeum (von Salis, 1793)
	Cymatium sp.
	Cymatium vespacea (A. Adams, 1855)
	Distorsio constricta macgintyi Emerson & Puffer, 1953
	sp. não identificado
Bursidae	*Bursa corrugata* (Reeve, 1844)
	Bursa cubaniana (Orbigny, 1842)
	Bursa grayana (Dunker, 1868)
	Bursa rhodostoma thomae (Orbigny, 1840)
	Bursa sp.
Cerithiopsidae	*Cerithiella amblytera* (Watson, 1880)
	Cerithiella sp.
	Cerithiopsis emersoni (C.B. Adams, 1838)
	Cerithiopsis lata (C.B. Adams, 1850)
	Cerithiopsis sp.1
	Cerithiopsis sp.2
	Cerithiopsis sp.3
	Cerithiopsis sp.4
	Cerithiopsis sp.5
	Cerithiopsis sp.6
	Cerithiopsis sp.7
	Seila adamsi (H. Lea, 1845)
Triphoridae	*Metaxia exilis* C. B. Adams, 1850
	Triphora decorata (C. B. Adams, 1850)
	Triphora melanura (C. B. Adams, 1850)
	Triphora nigrocincta (C. B. Adams, 1839)
	Triphora ornata (Deshayes, 1823)
	Triphora pulchella (C. B. Adams, 1850)
	Triphora sp.
	Triphora turristhomae (Holten, 1802)
Epitoniidae	*Amaea retifera* Dall, 1889
	Cirsotrema dalli Rehder, 1945
	Epitonium angulatum (Say, 1830)
	Epitonium candeanum (Orbigny, 1842)
	Epitonium krebsi (Morch, 1874)
	Epitonium novangliae (Couthouy, 1838)
	Epitonium occidentale (Nyst, 1871)
	Epitonium sp.
	Opalia sp.
	sp. não identificado
Janthinidae	*Janthina exigua* Lamarck, 1816
	Janthina pallida (Thompson, 1840)
	Janthina sp.
Eulimidae	*Costaclis egregia* (Dall, 1889)
	Eulima auricincta Abbott, 1959
	Eulima bifasciata (Orbigny, 1842)
	Eulima sp.
	Melanella arcuata (C. B. Adams, 1850)
	Melanella brevisulcata (Dunker, 1875)
	Melanella conoidea (Kurtz & Stimpson, 1851)
	Melanella intermedia (Cantraine, 1835)
	Melanella sp.
	sp. não identificado
	Thaleia nisonis (Dall, 1889)
Aclididae	*Bermudaclis bermudensis* (Dall & Bartsch, 1911)
Muricidae	*Attiliosa* sp.
	Chicoreus aff. *formosus* (Sowerby, 1841)
	Chicoreus carolynae Vokes, 1990
	Chicoreus coltrorum Vokes, 1990
	Chicoreus consuelae (Vokes, 1990)
	Chicoreus formosus (Sowerby, 1841)
	Chicoreus senegalensis (Gmelin, 1790)

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Chicoreus sp.
	Chicoreus tenuivaricosus (Dautzenberg, 1927)
	Cytharomorula gravi (Dall, 1889)
	Dermomurex oxum Petuch, 1979
	Favartia cellulosa (Conrad, 1846)
	Favartia sp.
	Favartia varimutabilis Houart, 1991
	Latiaxis dalli Emerson & D'Attilio, 1963
	Murexiella aff. *macgintyi* (M. Smith, 1938)
	Murexiella glypta (M. Smith, 1938)
	Muricopsis neochaena (Pilsbry, 1900)
	Muricopsis oxossi Petuch, 1979
	Muricopsis sp.
	Pazinotus sp.
	Phyllonotus ocullatus (Reeve, 1845)
	sp. não identificado
	Trachypolia didyma Schwengel, 1943
	Trachypolia turricula (von Maltan, 1884)
	Typhis cleryi (Petit, 1848)
	Typhis riosi Bertsch & D'Attilio, 1980
Coralliophilidae	*Coralliophila abbreviata* (Lamarck, 1816)
	Coralliophila aberrans (C.B. Adams, 1850)
	Coralliophila sp.
	Coralliophilla aedonius (Watson, 1886)
Buccinidae	*Antillophos candei* (Orbigny, 1842)
	Belomitra exsculpta (Watson, 1882)
	Cantharus karinae Usticke, 1959
	Engina sp.
	Engina turbinella (Kiener, 1835)
	Pisania pusio (Linnaeus, 1758)
	Prosipho sp.
	sp. não identificado
Columbellidae	*Aesopus stearnsi* (Tryon, 1883)
	Amphissa acuminata (Smith, 1915)
	Amphissa cancellata (Castellanos, 1982)
	Amphissa sp.
	Anachis catenata (Sowerby, 1844)
	Anachis helenae (Costa, 1983)
	Anachis obesa (C. B. Adams, 1845)
	Anachis sp.
	Collumbella mercatoria (Linnaeus, 1758)
	Collumbella sp.
	Mitrella aff. *profundi* (Dall, 1889)
	Mitrella albovittata Lopes, Coelho & Cardoso, 1965
	Mitrella antares Costa & Souza, 2001
	Mitrella lunata (Say, 1826)
	Mitrella sp.
	Nassarina columbellata Dall, 1889
	Nassarina minor (C. B. Adams, 1845)
	Nassarina sp.
	Nassarina thetys Costa & Absalão, 1998
	Nitidella nitida (Lamarck, 1822)
	sp. não identificado
	Zafrona idalina (Duclos, 1840)
Nassariidae	*Nassarius* aff. *capillaris* (Watson, 1882)
	Nassarius aff. *pernitidus* (Dall, 1889)
	Nassarius albus (Say, 1826)
	Nassarius fraterculus (Dunker, 1860)
	Nassarius sp.
Fasciolariidae	*Colubraria* sp.
	Dolicholatirus sp.
	Fusinus brasiliensis (Grabau, 1904)
	Fusinus frenguelli (Carcelles, 1953)

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Fusinus marmoratus (Philippi, 1846)
	Fusinus sp.
	Latirus cf. *varae* Bullock, 1970
	Latirus devyanae Rios, Costa & Calvo, 1994
	Latirus ogum Petuch, 1979
	Latirus sp.
	Leucozonia nassa (Gmelin, 1791)
	Leucozonia ocellata (Gmelin, 1791)
	Pleuroploca aurantiaca (Lamarck, 1816)
	sp. não identificado
Volutidae	*Adelomelon* sp.
	Odontocymbiola americana (Reeve, 1856)
	Odontocymbiola sp.
	Plicoliva zelindae Petuch, 1979
Vasidae	*Vasum cassiforme* (Kiener, 1841)
Olividae	*Agaronia travassosi* Morretes, 1931
	Amalda josecarlosi Pastorino, 2002
	Amalda sp.
	Oliva aff. *circinata* Marrat, 1870
	Oliva circinata Marrat, 1870
	Olivella amblia Watson, 1882
	Olivella defiorei Klappenbach, 1964
	Olivella floralia (Diclos, 1853)
	Olivella mutica (Say, 1822)
	Olivella nivea (Gmelin, 1791)
	Olivella sp.
	Olivella watermani (McGinty, 1940)
	sp. não identificado
Marginellidae	*Bullata bullata* (Born, 1778)
	Bullata cf. *largillieri* (Kiener, 1834)
	Bullata largillieri (Kiener, 1834)
	Bullata sp.
	Dentimargo lasallei Talawera & Princz, 1985
	Dentimargo sp.
	Dentimargo sulcata (Orbigny, 1842)
	Gibberula sp.
	Granula lavaleeana Orbigny, 1842
	Granulina clandestinella Bavay, 1908
	Granulina ovuliformis (Orbigny, 1841)
	Granulina sp.
	Marginella cloveri Rios & Matheus, 1972
	Marginella sp.
	Persicula catenata (Montagu, 1803)
	Persicula sagittata (Hinds, 1844)
	Persicula sp.
	Prunum bahiensis (Tomlin, 1917)
	Prunum fulminatum (Kiener, 1841)
	Prunum martini (Kiener, 1841)
	Prunum sp.
	sp. não identificado
	Volvarina aff. *albolineata* (Orbigny, 1842)
	Volvarina aff. *avena* (Kiener, 1834)
	Volvarina aff. *roberti* (Bavay, 1917)
	Volvarina aff. *serrei* (Bavay, 1913)
	Volvarina avena (Kiener, 1834)
	Volvarina lactea (Kiener, 1841)
	Volvarina serrei (Bavay, 1913)
	Volvarina sp.
Mitridae	*Mitra barbadensis* (Gmelin, 1791)
	Mitra larranagai (Carcelles, 1947)
	Mitra nodulosa (Gmelin, 1791)
	sp. não identificado
	Subcancilla candida Reeve, 1845

Classificação	Espécie ou morfotipo
Costellariidae	*Vexillum cubanum* Aguayo & Rehder, 1936
	Vexillum exiguum (C. B. Adams, 1845)
	Vexillum hendersoni (Dall, 1927)
	Vexillum histrio (Reeve, 1844)
	Vexillum lixa Petuch, 1979
	Vexillum pulchellum (Reeve, 1844)
	Vexillum sp.
Cancellariidae	*Cancellaria petuchi* Harasewich, Peti & Verhecken, 1992
	Tritonoharpa lanceolata (Menke, 1828)
	Tritonoharpa leali Harasewich, Petit & Verhecken, 1992
Conidae	*Conus abrolhosensis* Petuch, 1987
	Conus aff. *abrolhosensis* Petuch, 1987
	Conus aff. *daucus* Hwass, 1792
	Conus aff. *mindanus* Hwass, 1792
	Conus aff. *regius* Gmelin, 1791
	Conus archetypus brasiliensis Clench, 1942
	Conus austini Rehder & Abbott, 1951
	Conus cf. *jaspideus* Gmelin, 1791
	Conus cf. *mindanus* Hwass, 1792
	Conus clerii Reeve, 1844
	Conus daucus Hwass, 1792
	Conus iansa Petuch, 1979
	Conus jaspideus Gmelin, 1791
	Conus mazei(Deshayes, 1874
	Conus mindanus Hwass, 1792
	Conus regius Gmelin, 1791
	Conus riosi Petuch, 1986
	Conus sanderi Wils & Moolenbeeck, 1979
	Conus sp.
	Conus worki Petuch, 1998
	Conus xanthocinctus Petuch, 1986
Turridae	*Acmaturris brisis* Woodring, 1928
	Benthomangelia macra (Watson, 1881)
	Benthomangelia sp.1
	Benthomangelia sp.2
	Borsonia cf. *silicea* (Watson, 1881)
	Borsonia cf. *syngenes* (Watson, 1886)
	Borsonia sp.
	Brachycythara biconica (C. B. Adams, 1850)
	Brachytoma rioensis (E. A. Smith, 1915)
	Buchema aff. *liella* (Corea, 1934)
	Buchema liella (Corea, 1934)
	Buchema sp.1
	Buchema sp.2
	Buchema sp.3
	Buchema tainoa (Corea, 1934)
	Cerodrillia aff. *thea* (Dall, 1883)
	Cerodrillia clappi (Bartsch & Rehder, 1939)
	Cerodrillia sp.
	Cerodrillia thea (Dall, 1883)
	Clathodrillia lophoesa (Watson, 1881)
	Clathrodrillia minor (Dautzenberg, 1900)
	Clathrodrillia sp.
	Corinaeturris rhysa (Watson, 1881)
	Corinaeturris sp.
	Crassispira premorra (Dall, 1889)
	Cryoturris aff. *diadema* Woodring, 1928
	Cryoturris citronella (Dall, 1889)
	Cryoturris serga (Dall, 1881)
	Cryoturris sp.
	Cryoturris cf. *fargoi* (McGinty, 1955)
	Daphnella lymneiformis (Kiener, 1840)
	Daphnella margaretae Lyons, 1972

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Daphnella stegeri McGinty, 1955
	Drillia aff. *oleacina* (Dall, 1889)
	Drillia marmarina (Watson, 1881)
	Drilliola loprestiana (Calcara, 1841)
	Eubela limacina (Dall, 1881)
	Famelica mirmidina (Dautzemberg & Fisher, 1896)
	Famelica monotropis (Dautzemberg & Fisher, 1896)
	Fenimorea fucata (Reeve, 1845)
	Fenimorea halidorema Schwengel, 1940)
	Fenimorea sp.1
	Fenimorea sp.2
	Gemmula periscelida (Dall, 1889)
	Glyphostoma elsae Bartsch, 1934
	Glyphostoma golfoyaquense Maury, 1917
	Glyphoturris rugirima (Dall, 1889)
	Glyphoturris sp.
	Gymnobela aff. *streptophora* (Watson, 1886)
	Gymnobela extensa (Dall, 1889)
	Gymnobela malmii (Dall, 1889)
	Gymnobela sp.
	Hindisclava appelii Weinkauf, 1886
	Inodrillara sp.1
	Inodrillara sp.2
	Ithycythara hiperlepta Haas, 1953
	Ithycythara pentagonalis (Reeve, 1845)
	Ithycythara sp. (C. B. Adams, 1850)
	Knefastia horrenda (Watson, 1885)
	Leptadrillia sp.1
	Leptadrillia sp.2
	Leptadrillia splendida Bartsch, 1934
	Leucosyrinx pelagia (Dall, 1881)
	Lioglyphostoma jousseaumei (Dautzenberg, 1900)
	Lioglyphostoma sp.
	Mitrolumna biplicata (Dall, 1889)
	Mitrolumna sp.1
	Mitrolumna sp.2
	Mitrolumna sp.3
	Mitrolumna sp.4
	Mitrolumna sp.5
	Mitromorpha sp.
	Nannodiella vespuciana (Orbigny, 1842)
	Neodrillia cydia Bartsch, 1943
	Phymorrinchus sp.
	Pilsbryspira leucocyma (Dall, 1884)
	Pleurotomella aff. *ipara* (Dall, 1881)
	Pleurotomella aguayoi (Carcelles,1953)
	Pleurotomella circumvoluta (Watson, 1881)
	Pleurotomella ipara (Dall, 1881)
	Pleurotomella sp.
	Polystira coltrorum Petuch, 1993
	Pyrgocythara candidissima (C. B. Adams, 1845)
	Pyrgospira fuscescens (Reeve, 1843)
	Pyrgospira tampaensis (Bartsch & Rehder, 1939)
	Rimosodaphnella morra (Dall, 1881)
	Spirotropis lithocolleta (Watson, 1881)
	Splendrillia coccinata (Reeve, 1845)
	Stenodrillia acestra (Dall, 1889)
	Stenodrillia eucosmia (Dall, 1889)
	Stenodrillia gundlachi (Dall & Simpson, 1901)
	Stenodrillia haliostrephis (Dall, 1889)
	Taranis sp.
	Tenaturris bartletii (Dall, 1889)
	Thelecythara mucronata Woodring, 1928

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Typhlomangelia nivalis (Lovén, 1846)
	Veprecula sp.
	Xanthodaphne sp.
Terebridae	*Hastula hastata* (Gmelin, 1791)
	sp. não identificado
	Terebra brasiliensis (E. A. Smith, 1873)
	Terebra duello-juradoi Carcelles, 1953
	Terebra protexta (Conrad, 1846)
	Terebra sp.
Architectonidae	*Architectonica nobilis* Röding, 1798
	Heliacus bisulcatus (Orbigny, 1845)
	Pseudomalaxis centrifuga Monterosato, 1890
	Solarium sp.
	sp. não identificado
Mathildidae	*Mathilda hendersoni* Dall, 1827
	Mathilda sp.
Pyramidellidae	*Careliopsis styliformis* Mörch, 1875
	Chrysallida gemmulosa (C. B. Adams, 1850)
	Chrysallida sp.
	"Egila" ektopa Pimenta & Absalão, 2004
	Eulimastoma aff. *weberi* (Morrison, 1965)
	Eulimastoma surinamense Altena, 1975
	Eulimella rudis Watson, 1885
	Eulimella smithii (Verril, 1880)
	Fargoa bushiana Bartsch, 1909
	Odostomia canaliculata C. B. Adams, 1850
	Odostomia impressa (Say, 1822)
	Odostomia laevigata (Orbigny, 1842)
	Odostomia sp.
	Odostomia virginiae Altena, 1975
	Pyramidella crenulata (Holmes, 1859)
	Pyramidella dolabrata (Linnaeus, 1758)
	Pyramidella sp.
	sp. não identificado
	Turbonilla aff. *enna* Bartsch, 1927
	Turbonilla aff. *fasciata* (Orbigny, 1840)
	Turbonilla aff. *unilirata* Bush, 1899
	Turbonilla aracruzensis Pimenta & Absalão, 2004
	Turbonilla arnoldoi de Jong & Coomans, 1988
	Turbonilla capixaba Pimenta & Absalão, 2004
	Turbonilla cf. *anira* Bartsch, 1927
	Turbonilla coomansi Van Aartsen, 1994
	Turbonilla enna Bartsch, 1927
	Turbonilla fasciata (Orbigny, 1840)
	Turbonilla fluminensis Pimenta & Absalão, 2004
	Turbonilla goytacazi Pimenta & Absalão, 2004
	Turbonilla lepta Pimenta & Absalão, 2004
	Turbonilla pupoides (Orbigny, 1842)
	Turbonilla sp.
Amathinidae	*Iselica anomala* (C. B. Adams, 1850)
Acteonidae	*Acteon candens* Rehder, 1939
	Acteon danaida (Dall, 1889)
	Acteon pelecais Marcus, 1981
	Acteon sp.
	Acteon vagabundus (Mabille & Rochebrune, 1885)
Cylichnidae	*Acteocina bullata* (Kiener, 1834)
	Acteocina candei (Orbigny, 1842)
	Acteocina lepta Woodring, 1928
	Acteocina sp.
	Cylichna aff. *crispula* Watson, 1883
	Cylichna alba (Brown, 1827)
	Cylichna discus Watson, 1883
	Cylichna sp.

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Cylichna verrillii Dall, 1889
	Scaphander darius Marcus, 1967
Diaphanidae	*Diaphana seguenzai* (Watson, 1886)
Bullidae	*Bulla* cf. *abyssicola* Dall, 1881
	Bulla striata Bruguiére, 1792
	sp. não identificado
Hamineidae	*Atys* aff. *caribaea* (Orbigny, 1841)
	Atys aff. *sandersoni* Dall, 1881
	Atys caribaea (Orbigny, 1841)
	Atys cf. *riiseana* (Morch, 1875)
	Atys mandrewii E. A. Smith, 1872
	Atys riiseana (Mörch, 1875)
	Atys sandersoni Dall, 1881
	Atys sp.
	Haminoea antillarum (Orbigny, 1841)
	Haminoea elegans Gray, 1825
	Haminoea sp.
Retusidae	*Pyrunculus ovatus* (Jeffreys, 1870)
	Pyrunculus caelatus (Bush, 1885)
	Volvulella paupercula (Watson, 1883)
	Volvulella persimilis (Mörch, 1875)
	Volvulella recta (Mörch, 1875)
Limacinidae	*Limacina bulimoides* (Orbigny, 1836)
	Limacina inflata (Orbigny, 1836)
	Limacina lesueuri (Orbigny, 1836)
Cavoliniidae	*Cavolinia gibbosa* (Orbigny, 1836)
	Cavolinia longirostris (Blainville, 1821)
	Cavolinia tridentata (Niebuhr, 1775)
	Cavolinia uncinata (Rang, 1829)
	Clio pyramidata Linnaeus, 1767
	Clio recurva Children, 1829
	Creseis acicula Rang, 1928
	Creseis sp.
	Cuvierina columnella (Rang, 1827)
	Diacria quadridentata (Blainville, 1821)
	Diacria trispinosa (Blainville, 1821)
	Styliola subula (Quoy & Gaimard, 1827)
Pleurobranchidae	*Pleurobranchus inconspicua* Bergh, 1897
	Pleurobranchus sp.
Siphonariidae	*Siphonaria hispida* Smith, 1890
	Williamia krebsi (Morch, 1877)
Chromodorididae	sp. não identificado
Nudibranchia	sp.1 (não identificado)
	sp.2 (não identificado)
Pelecypoda	
Nucinellidae	*Nucinella serrei* Lamy, 1912
Nuculidae	*Nucula* cf. *pernambucensis* (E. A. Smith, 1885)
	Nucula puelcha Orbigny, 1846
	Nucula semiornata Orbigny, 1846
	Nucula sp.
	Nucula venezuelana Weisbord, 1964
Nuculanidae	*Ledella acinula* (Dall, 1889)
	Ledella cf. *sandersi* Allen & Hannah, 1989
	Ledella cf. *semen* (E. A. Smith, 1885)
	Ledella solidula (E. A. Smith, 1885)
	Ledella sp.
	Neilonella corpulenta
	Nuculana aff. *vitrea* (Dall, 1881)
	Nuculana cf. *concentrica* (Say, 1824)
	Nuculana larranagai Klappenbach & Scarabino, 1968
	Nuculana sp.
	Propeleda fortiana (Esteves, 1984)
	Youldiella cf. *bigutatta* Allen, Sanders & Hannah, 1995

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Youldiella sp.
Arcidae	*Anadara notabilis* (Röding, 1798)
	Arca imbricata Bruguiére, 1789
	Arca sp.
	Arca zebra (Swainson, 1833)
	Barbatia cancellaria (Lamarck, 1819)
	Barbatia candida (Helbing, 1779)
	Barbatia dominguensis (Lamarck, 1819)
	Barbatia ectocomata (Dall, 1886)
	Barbatia sp.
	Bathyarca sp.
	Bentharca asperula (Dall, 1881)
	sp. não identificado
Noetiidae	*Arcopsis adamsi* (Dall, 1886)
Limopsidae	*Limopsis antillensis* Dall, 1881
	Limopsis aurita (Brochi, 1814)
	Limopsis janeiroensis E. A Smith, 1915
	Limopsis minuta (Phillippi, 1836)
	Limopsis sp.
Glycymerididae	*Glycymeris* cf. *pectinata* (Gmelin, 1791)
	Glycymeris decussata (Linnaeus, 1758)
	Glycymeris longior (Sowerby, 1833)
	Glycymeris pectinata (Gmelin, 1791)
	Glycymeris sp.
	Glycymeris undata (Linnaeus, 1758)
Pteriidae	*Pinctada imbricata* Röding, 1798
	Pteria hirundo (Linnaeus, 1758)
Philobryidae	*Cosa brasiliensis* Klappenbach, 1966
Mytilidae	*Amygdalum* sp.
	Botula fusca (Gmelin, 1791)
	Brachidontes sp.
	Crenella divaricata Orbigny, 1846
	Gregariella coralliophila (Gmelin, 1791)
	Lioberus castaneus (Say, 1822)
	Lithophaga bisulcata (Orbigny, 1842)
	Lithophaga nigra (Orbigny, 1842)
	Lithophaga sp.
	Modiolus sp.
	Musculus lateralis (Say, 1822)
	Musculus sp.
	Musculus viator (Orbigny, 1846)
	sp. não identificado
Malleidae	*Malleus candeanus* (Orbigny, 1842)
Pinnidae	*Atrina seminuda* (Orbigny, 1846)
	sp. não identificado
Limidae	*Lima* aff. *scabra* (Born, 1778)
	Lima lima (Linnaeus, 1758)
	Lima scabra (Born, 1778)
	Lima sp.
	Limaria aff. *albicoma* (Dall, 1880)
	Limaria albicoma (Dall, 1880)
	Limaria floridana (Olsson & Harbison, 1953)
	Limaria sp.
	Limatula confusa (E. A. Smith, 1885)
	Limatula hendersoni (Olsson & McGinty, 1958)
	Limatula pygmaea (Philippi, 1845)
	Limea aff. *browniana* Dall, 1886
	Limea browniana Dall, 1886
	Limea sp.
	sp. não identificado
Ostreidae	*Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828)
	Ostrea cristata Born, 1778
	Ostrea sp.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Plicatulidae	*Plicatula gibbosa* Lamarck, 1801
Pectinidae	*Argopecten* aff. *gibbus* (Linnaeus, 1758)
	Argopecten gibbus (Linnaeus, 1758)
	Argopecten noronhensis (E. A. Smith, 1885)
	Chlamys benedicti (Verril & Bush, 1897)
	Chlamys sentis (Reeve, 1853)
	Chlamys sp.
	Chlamys tehuelchus (Orbigny, 1846)
	Cyclopecten nanus Verril & Bush, 1897
	Leptopecten bavayi (Dautzenberg, 1900)
	Lyropecten nodosus (Linnaeus, 1758)
	Pecten chazaliei Dautzenberg, 1900
	Pecten sp.
	Pecten ziczac (Linnaeus, 1758)
	sp. não identificado
Propeamussiidae	*Propeamussium* sp.
	Propeamussium pourtalesianum (Dall, 1886)
Spondylidae	*Spondylus americanus* Hermann, 1781
	Spondylus ictericus Reeve, 1856
	Spondylus sp.
Lucinidae	*Codakia costata* (Orbigny, 1842)
	Ctena pectinella Adams, 1852
	Lucina aff. *multilineata* Tuomey & Holmes, 1857
	Lucina pectinata (Gmelin, 1791)
	Lucina rehderi Britton, 1972
	Lucina sombrerensis (Dall, 1886)
	Lucina sp.
	Myrtea lens (Verril & Smith, 1880)
	Parvilucina blanda (Dall & Simpson, 1901)
	sp. não identificado
Thyasiridae	*Thyasira* sp.
	Thyasira trisinuata Orbigny, 1842
Ungulinidae	*Diplodonta danieli* (Klein, 1967)
	Diplodonta nucleiformis Wagner, 1838
	Diplodonta sp.
	sp. não identificado
	Timothynus rehderi (Altena, 1968)
Lasaeidae	*Aligena* aff. *nucea* Dall, 1913
	Aligena texasiana Harry, 1969
	Myssela sp.
	sp. não identificado
Carditidae	*Carditamera micella* Penna, 1971
	Pleuromeris sanmartini Klappenbach, 1971
Condylocardiidae	*Americuna besnardi* Klappenbach, 1962
Chamidae	*Chama* aff. *macerophylla* (Gmelin, 1791)
	Chama congregata Conrad, 1833
	Chama sinuosa Broderip, 1835
	Chama sp.
	Pseudochama radians (Lamarck, 1819)
	sp. não identificado
Crassatellidae	*Crassinella lunulata* (Conrad, 1834)
	Crassinella maldonadensis (Conrad, 1834)
	Crassinella marplatensis Castellanos, 1970
	Crassinella martinicensis (Orbigny, 1842)
	Crassinella sp.
Cardiidae	*Laevicardium brasilianum* (Lamarck, 1819)
	Laevicardium pinctum (Ravenel, 1861)
	Laevicardium sp.
	Nemocardium tinctum (Dall, 1881)
	Papyridea semisulcata (Gray, 1825)
	Papyridea soleniformis (Bruguiére, 1789)
	sp. não identificado
	Trachycardium magnum (Linnaeus, 1758)

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Trachycardium muricatum (Linnaeus, 1758)
	Trigoniocardia antillarum (Orbigny, 1842)
	Trigoniocardia media (Linnaeus, 1758)
Mactridae	*Mactra petit* Orbigny, 1846
	Mactra sp.
Tellinidae	*Cymatoica orientalis* (Dall, 1890)
	Macoma cleryana (Orbigny, 1846)
	Macoma sp.
	Macoma tenta (Say, 1834)
	Macoma uruguayensis (E. A. Smith, 1885)
	sp. não identificado
	Tellina (*Scissula*) sp.
	Tellina aff. *alternata* Say, 1822
	Tellina americana Dall, 1900
	Tellina exilis Lamarck, 1818
	Tellina listeri Röding, 1798
	Tellina persica Dall & Simpson, 1901
	Tellina sandix Boss, 1968
	Tellina sp.
	Tellina squamifera Deshayes, 1855
	Tellina sybaritica Dall, 1881
	Tellina trinitatis (Tomlim, 1929)
Corbulidae	*Corbula caribaea* (Orbigny, 1842)
	Corbula cubaniana Orbigny, 1853
	Corbula cymella Dall, 1881
	Corbula dietziana Adams, 1852
	Corbula lyoni Pilsbry, 1897
	Corbula operculata Phillipi, 1849
	Corbula sp.
Psammobiidae	*Solecurtus sanctaemarthae* (Orbigny, 1842)
Semelidae	*Abra aequalis* (Say, 1822)
	Abra lioica (Dall, 1881)
	Abra sp.
	Ervilia concentrica (Holmes, 1860)
	Semele bellastriata (Conrad, 1837)
	Semele casali (Doello-Jurado, 1949)
	Semele nuculoides (Conrad, 1841)
	Semele purpurascens (Gmelin, 1791)
	Semele sp.
Trapeziidae	*Coralliophaga coralliophaga* (Gmelin, 1791)
Glossidae	*Meiocardia agassizii* Dall, 1889
Veneridae	*Callista eucymata* (Dall, 1889)
	Chione cancellata (Linnaeus, 1758)
	Chione cf. *latilirata* (Conrad, 1841)
	Chione paphia (Linnaeus, 1767)
	Chione pubera (Bory Saint-Vicent, 1827)
	Chione sp.
	Cyclinella sp.
	Cyclinella tenuis (Récluz, 1852)
	Gouldia cerina (C. B. Adams, 1845)
	Pitar albidus (Gmelin, 1791)
	Pitar cordatus (Schwengel, 1951)
	Pitar fulminatus (Menke, 1828)
	Pitar palmeri Fischer-Piette & Testud, 1967
	Pitar sp.
	sp. não identificado
	Tivela fulminata (Orbigny, 1846)
	Transenella cubaniana (Orbigny, 1842)
	Transenella sp.
	Transenella stimpsoni Dall, 1902
	Transenpitar americana (Doello-Jurado, 1951)
	Ventricolaria aff. *strigillina* (Dall, 1902)
	Ventricolaria foresti Fisher-Piette & Testud, 1967

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Ventricolaria rigida (Dillwyn, 1817)
	Ventricolaria sp.
Petricolidae	*Petricola lapicida* (Gmelin, 1791)
	Petricola typica (Jonas, 1844)
Gastrochaenidae	*Gastrochaena hians* (Gmelin, 1791)
	Gastrochaena ovata Sowerby, 1834
	Gastrochaena sp.
	Splengeria rostrata (Spengler, 1783)
Verticordiidae	*Euciroa grandis* (E. A. Smith, 1885)
	Verticordia ornata (Orbigny, 1842)
Cuspidariidae	*Cardiomya cleryana* (Orbigny, 1846)
	Cardiomya ornatissima (Orbigny, 1842)
	Cardiomya perrostrata (Dall, 1881)
	Cardiomya striata (Jeffreys, 1876)
	Cuspidaria aff. *braziliensis* Clench, 1942
	Cuspidaria braziliensis Smith, 1915
	Cuspidaria platensis Smith, 1915
	Cuspidaria sp.
	Myonera paucistriata Dall, 1886
Scaphopoda	
Dentaliidae	*Antalis cerata* (Dall, 1881)
	Antalis disparille (Orbigny, 1842)
	Antalis infracta (Odhner, 1931)
	Antalis sp.
	Antalis taphris (Dall, 1889)
	Dentalium laqueatum Verril, 1885
	Graptacme calama (Dall, 1889)
	Graptacme perlonga (Dall, 1881)
	Graptacme semistriolata (Guilding, 1834)
	Graptacme sp.
	Paradentalium americanum (Chenu, 1843)
Fustiariidae	*Fustiaria liodon* (Pilsbry & Sharp, 1897)
	Fustiaria stenoschiza (Pilsbry & Sharp, 1897)
Gadilinidae	*Episiphon didymum* (Watson, 1879)
	Episiphon sowerbyi (Guilding, 1834)
Entalinidae	*Entalina platamodes* (Watson, 1879)
	Incertae sedis
	Compressidens pressum (Pilsbry & Sharp, 1897)
Gadilidae	*Cadulus* sp.
	Gadila acus (Dall, 1889)
	Gadila aff. *cobbi* Lamprell & Healy, 1998
	Gadila sp.
	Polyschides cf. *portoricensis* (Henderson, 1920)
	Polyschides tetrachistus (Watson, 1879)
Acanthochitonidae	*Acanthochitona* sp.
Ischnochitonidae	*Ischnochiton edwini* (Mello & Pinto, 1989)
	Ischnochiton marcusi Righi, 1971
	Ischnochiton sp.1
	Ischnochiton sp.2
	Polyplacophora sp.1
	Polyplacophora sp.2
	sp. não identificado
Cephalopoda	
Octopodidae	sp. não identificado
Aplacophora	
	sp. não identificado

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Tabela 281 – Lista de táxons de *Polychaeta* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Polychaeta	
Scolecida	
Capitellidae Grube, 1862	*Dasybranchus caducus* (Grube, 1846)
	Leiochrides sp.
	Notomastus lobatus Hartman, 1947
Cossuridae Day, 1963	*Cossura candida* Hartman, 1955
Maldanidae Malmgren, 1867	*Axiothella* sp.
	Chirimia amoena (Kingerg, 1867)
	Clymenella sp.
	Euclymene sp.
Opheliidae Malmgren, 1867	*Ophelina acuminata* Oersted, 1843
	Ophelina cylindricaudata (Hansen, 1878)
Orbiniidae Hartman, 1942	*Naineris* sp.
Palpata , Aciculata , Phyllodocida , Aphroditiformia	
Acoetidae Kinberg, 1856	*Panthalis* sp.
	Polyodontes sp.
Aphroditidae Malmgren, 1867	*Aphroditella* sp.
	Pontogenia cf. *chrysocoma* (Baird, 1865)
Polynoidae Malmgren, 1867	*Halosydna glabra* Hartman, 1939
	Harmothoe aculeata Andrews, 1891
	Harmothoe lunulata (delle Chiaje, 1841)
	Harmothoe sp.
	Lepidonotus tenuisetosus (Gravier, 1901)
Sigalionidae Kinberg, 1856	*Leanira* sp.
	Neopsammolyce catenulata (Amaral & Nonato, 1984)
	Psammolyce flava Kinberg, 1856
	Sthenelanella atypica Berkeley & Berkeley, 1941
	Sthenolepis oculata (Hartman, 1942)
Nereidiformia	
Hesionidae Grube, 1850	*Gyptis* sp.
	Hesione sp.
Nereididae Johnston, 1865	*Ceratonereis hircinicola* (Eisig, 1870)
	Ceratonereis longicirrata Perkins, 1980
	Ceratonereis mirabilis Kinberg, 1866
	Neanthes caudata (delle Chiaje, 1841)
	Neanthes sp.
	Nereis riisei Grube, 1857
	Nicon sp.
	Perinereis floridana Ehlers, 1868
Syllidae Grube, 1850	*Pionosyllis* sp.
	Trypanosyllis vittigera Ehlers, 1887
	Typosyllis variegata (Grube, 1860)
	Typosyllis sp.
Aciulata não posicionados	
Glyceridae Grube, 1850	*Glycera americana* Leidy, 1855
	Glycera tesselata Grube, 1863
	Glycera sp.
	Hemipodia sp.
Goniadidae Kinberg, 1866	*Goniada maculata* Oersted, 1843
Nephtyidae Grube, 1850	*Aglaophamus verrilli* (McIntosh, 1885)
	Aglaophamus sp.
	Nephtys simoni (Perkins, 1980)
Phyllodocidae Oersted, 1843	*Nereiphylla castanea* (Merenzeller, 1879)
	Phyllodoce madeirensis Langerhans, 1880
	Phyllodoce sp.
Palpata, Aciculata, Amphinomida	
Amphinomidae Savigny, 1818	*Chloeia* cf. *viridis* Schmarda, 1861
	Eurythoe complanata (Pallas, 1766)
	Hermodice carunculata (Pallas, 1766)

Classificação	Espécie ou morfotipo
	Notopygos sp.
Palpata, Aciculata, Eunicida	
Eunicidae Berthold, 1827	*Eunice donathi* Carrera-Parra & Salazar-Vallejo, 1998
	Eunice cf. *edwinlinkae* Carrera-Parra & Salazar-Vallejo, 1998
	Eunice filamentosa Grube, 1856
	Eunice fucata Ehlers, 1887
	Eunice marcusi Zanol, Paiva & Attolini, 2000
	Eunice multicylindri Shisko, 1981
	Eunice cf. *nicidioformis* Treadwell, 1906
	Eunice ornata Andrews, 1891
	Eunice stigmatura (Verrill, 1900)
	Eunice thomasiana Augener, 1922
	Eunice violaceomaculata Ehlers, 1887
	Eunice cf. *websteri* Fauchald, 1969
	Eunice spp.
	Eunice (Nicidion) spp.
	Euniphysa sp.
	Lysidice spp.
	Marphysa sp.
	Palola brasiliensis Zanol, Paiva & Attolini, 2000
	Palola sp.
Lumbrineridae Schmarda, 1861	*Abyssoninoe* sp.
	Eranno sp.
	Lumbrineriopsis mucronata (Ehlers, 1908)
	Lumbrineris latreilli (Audouin & Milne-Edwards, 1834)
	Lumbrineris sp.
	Scoletoma tetraura (Moore, 1911)
Oenonidae Kinberg, 1865	*Arabella mutans* (Chamberlin, 1919)
	Drilonereis filum (Claparède, 1868)
	Oenone fulgida Savigny, 1818
Onuphidae Kinberg, 1865	*Diopatra tridentata* Hartman, 1944
	Hyalinoecia sp.
	Kinbergonuphis sp.
Palpata, Canalipalpata, Sabellida	
Sabellidae Latreille, 1825	*Hypsicomus elegans* (Webster, 1884)
Serpulidae Latreille, 1825	*Pomatostegus stellatus* (Abildgaard, 1789)
	Spirobranchus giganteus (Pallas, 1767)
	Vermiliopsis sp.
Palpata, Canalipalpata, Terebellida, Cirratuliformia	
Cirratulidae Ryckholdt, 1851	*Cirriformia tentaculata* (Montagu, 1808)
	Tharyx sp.
Flabelligeridae Saint-Joseph, 1894	*Diplocirrus* sp.
	Piromis roberti (Hartman, 1951)
	Therochaeta sp.
Sternaspidae Carus, 1863	*Sternaspis capillata* Nonato, 1966
	Sternaspis sp.
Terebelliformia	
Ampharetidae Malmgren, 1866	*Melinninae* gen. sp.
Terebellidae Grube, 1850	*Loimia medusa* (Savigny, 1818)
Trichobranchidae Malmgren, 1865	*Terebellides* sp.
Palpata, Canalipalpata, Spionida	
Magelonidae Cunningham & Ramage, 1888	*Magelona* sp.

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Tabela 282 – Lista de táxons de *Crustacea* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécies e Morfotipos
Subfilo Crustacea	
Classe Maxillopoda Dahl , 1956	
Infraclasse Cirripedia Burmeister, 1834	
Ordem Sessilia Lamarck, 1918	
Família Corolunidae Leach, 1817	*Coronula* sp.
Ordem Pedunculata Lamarck, 1818	
Família Heteralepadidae Nilsson -Cantell, 1921	*Heteralepas* sp.
Ordem Myodocopida Sars, 1866	
Ordem Podocopida Sars, 1866	Superfamília Bairdioidea (Sars, 1865)
Classe Malacostraca	
Ordem Leptostraca Claus, 1880	
Família Nebaliidae Samouelle, 1819	
Ordem Amphipoda Latreille, 1816	
Subordem Gammaridea Latreille, 1816	
Família Ampeliscidae Costa, 1857	*Ampelisca* spp.
Família Ampithoidae Stebbing, 1899	
Família Aoridae Walker, 1908	
Família Isaeidae Dana, 1853	
Família Leucothoidae Dana, 1852	*Leucothoe* spp.
Família Liljeborgidae Stebbing, 1899	
Família Lysianassidae Dana, 1849	
Família Melitidae Bousfield, 1977	
Família Phliantidae Stebbing, 1899	
Família Platyischnopidae Barnard & Drummond, 1979	
Família Synopiidae Dana, 1853	
Ordem Isopoda Latreille, 1817	
Subordem Anthuridea Monod, 1922	
Família Leptanthuridae Poore, 2001	*Accalathura* sp.
Subordem Asellota Latreille, 1802	
Subordem Flabellifera Sars, 1882	
Família Cirolanidae Dana, 1852	*Bathynomus giganteus* A. Milne Edwards, 1879 *Bathynomus miyarei* Lemos de Castro, 1978 *Bathynomus obtusus* Magalhães e Young, 2003 *Calyptolana* sp. *Cirolana* sp *Colopisthus* sp. *Eurydice* sp. *Excirolana* sp. *Metacirolana* sp. *Natatolana* sp. *Politolana* sp. *Rocinela* sp.
Família Corallanidae Hansen, 1890	*Excorallana* sp.
Família Cymothoidae Leach, 1814	
Família Gnathiidae Leach, 1814	*Gnathia* spp.
Família Limnoridae White, 1850	
Família Serolidae Dana, 1852	
Família Sphaeromatidae Latreille, 1825	
Subordem Valvifera Sars, 1882	
Família Arcturidae Dana, 1849	
Família Idoteidae Samouelle, 1819	*Erichsonella* sp.
Ordem Stomatopoda Latreille, 1817	
Família Gonodactylidae Giesbrecht, 1910	*Neogonodactylus lacunatus* (Manning, 1966) *Neogonodactylus spinulosus* (Schmitt, 1924) *Neogonodactylus* sp.
Família Odontodactylidae Manning, 1980	*Odontodactylus havanensis* (Bigelow, 1893)
Família Pseudosquillidae Manning, 1977	*Pseudosquilla ciliata* (Fabricius, 1787)
Família Squillidae Latreille, 1802	*Squilla edentata* (Lunz, 1937) *Squilla grenadensis* Manning, 1969 *Squilla obtusa* Holthuis, 1959
Ordem Decapoda Latreille, 1802	

Classificação	Espécies e Morfotipos
Família Alpheidae Rafinesque, 1815	*Alpheus amblyonyx* Chace, 1972
	Alpheus cristulifrons Rathbun, 1900
	Alpheus floridanus Kingsley, 1878
	Automate sp.
	Synalpheus sp.
Família Bresiliidae Calman, 1896	*Pseudocheles chacei* Kensley, 1983
Família Hippolytidae Bate, 1888	*Latreutes fucorum* (Fabricius, 1798)
	Trachycaris restricta (A. Milne Edwards, 1878)
Família Palaemonidae Borradaile, 1815	*Brachycarpus biunguiculatus* (Lucas, 1849)
	Leander tenuicornis (Say, 1818)
Subfamília Pontoniinae Kingsley, 1878	*Anchistioides antiguensis* (Schmitt, 1924)
	Periclimenaeus bermudensis (Armstrong, 1940)
	Pontonia manningi Fransen, 2000
Família Pasiphaeidae Dana, 1852	*Leptochela* (*Leptochela*) *serratorbita* Bate, 1888
Família Processidae Ortmann, 1890	*Processa brasiliensis* Christoffersen, 1979
Família Axiidae Huxley, 1879	*Coralaxius abelei* Kensley & Gore, 1981
Família Callianassidae Dana, 1852	*Callianassidae* gen. sp.
Família Upogebiidae Borradaile, 1903	*Pomatogebia operculata* (Schmitt, 1924)
	Upogebia sp.
Família Palinuridae Latreille, 1802	*Justitia longimanus* H. Milne Edwards, 1837
Família Galatheidae	*Munida forceps* A. Milne-Edwards, 1880
	Munida spinifrons Henderson, 1885
	Munidopsis sp.
	Munidopsis sp. nov.
Família Porcellanidae Hawor th, 1825	*Pachycheles ackleianus* A. Milne-Edwards, 1880
	Petrolisthes sp.
Família Dromiidae de Hann, 1833	*Moreiradromia antillensis* (Stimpson, 1858)
Família Homolidae de Haan, 1839	*Homola barbata* (Fabricius, 1793)
Família Calappidae H. Milne Edwards, 1837	*Acanthocarpus bispinosus* A. Milne-Edwards, 1880
	Calappa gallus (Herbst, 1803)
	Cryptosoma balgueri (Desbonne, 1867)
	Osachila antillensis Rathbun, 1916
Família Dorippidae MacLeay, 1838	*Ethusa americana* A. Milne Edwards, 1880
Família Goneplacidae MacLeay, 1838	*Bathyplax typhla* A. Milne Edwards, 1880
	Nanoplax xanthiformis (A. Milne Edwards, 1880)
	Neopilumnoplax americana (Rathbun, 1898)
Família Leucosiidae Samouelle, 1819	*Callidactylus asper* Stimpson, 1871
	Iliacantha sparsa Stimpson, 1871
	Myropsis quinquespinosa Stimpson, 1871
	Speloephorus elevatus Tathbun, 1898
	Lithadia sp.
Família Majidae Samouelle, 1819	*Apiomithrax* sp.
	Aepinus septemspinosus (A. Milne Edwards, 1879)
	Collodes armatus Rathbun, 1898
	Collodes rostratus A. Milne Edwards, 1880
	Collodes trispinosus Stimpson, 1871
	Epialtus bituberculatus H. Milne Edwards, 1834
	Herbstia depressa (Stimpson,1860)
	Leurocyclus tuberculosus (H. Milne Edwards & Lucas, 1843)
	Macrocoeloma eutheca (Stimpson, 1871)
	Macrocoeloma laevigatum (Stimpson, 1860)
	Macrocoeloma septemspinosum (Stimpson, 1871)
	Macrocoeloma trispinosum (Latreille, 1825)

Classificação	Espécies e Morfotipos
	Microlissa brasiliensis (Rathbun, 1923)
	Mithraculus forceps (A. Milne Edwards, 1875)
	Mithrax hemphilli Rathbun, 1923
	Mithrax sp.
	Mycrophrys bicornutus (Latreille, 1825)
	Nemausa acuticornis (Stimpson, 1870)
	Nemausa cornutus (Saussure, 1857)
	Picroceroides tubularis Miers, 1886
	Podochelaalgicola Stebbing, 1914
	Podochela brasiliensis Coelho, 1972
	Podochela gracilipes Stimpson, 1871
	Podochela riisei Stimpson, 1860
	Podochela sp.
	Rochinia gracilipes A. Milne Edwards, 1875
	Stenorhynchus seticornis (Herbest, 1788)
Família Palicidae Bouvier, 1898	*Palicus alternatus* (Rathbun, 1897)
Família Parthenopidae MacLeay, 1838	*Parthenope (Platylambrus) fraterculus* (Stimpson, 1871)
	Parthenope (Platylambrus) serrata (H. Milne Edwards, 1834)
	Thyrolambrus astroides Rathbun, 1894
Família Pinnotheridae de Haan, 1833	*Holothuriophilus tomentosus* (Ortmann, 1894)
	Dissodactylus crinitichelis Moreira, 1901
Família Portunidae Rafinesque, 1815	*Cronius tumidulus* Stimpson, 1871
	Laleonectes vocans (A. Milne Edwards, 1878)
	Portunus anceps (Saussure, 1858)
	Portunus ordwayi (Stimpson, 1860)
Família Raninidae de Haan, 1839	*Ranilia constricta* A. Milne Edwards, 1880
	Ranilia muricata H. Milne Edwards, 1837
	Symethis variolosa (Fabricius, 1793)
Família Xanthidae MacLeay, 1838	*Allactaea lithostrota* (Williams, 1974)
	Glyptoxanthus vermiculatus (Lamarck, 1818)
	Melybia thalamita Stimpson, 1871
	Micropanope sp.
	Paractaea rufopunctata nodosa (Stimpson, 1860)
	Pilumnoides coelhoi Guinot & MacPherson, 1987
	Pilumnoides hassleri A. Milne Edwards, 1880
	Pilumnus spinosissimus Rathbun, 1898
	Platypodiella spectabilis (Herbst, 1794)

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Tabela 283 – Lista de táxons de *Echinordemata* coletados pelo ReviZEE – Score Central.

Classificação	Espécie ou morfotipo
Filo Echinordemata	
Classe Crinoidea	
Ordem Isocrinida Sievert-Doreck, 1952	
Família Isocrinidae Gislén, 1924	*Endoxocrinus maclearanus* (Thomson, 1877)
Ordem Comatulida Clark, 1908	
Família Tropiometridae H. A. Clark, 1908	*Tropiometra carinata carinata* (Lamarck, 1816)
Classe Asteroidea	
Ordem Paxillosida Perrier, 1884	
Família Astropectinidae Gray, 1840	*Astropecten* sp. Madsen, 1950
	Astropecten brasiliensis Müller & Troschel, 1842
	Astropecten cingulatus Sladen, 1883
	Astropecten acutiradiatus Tortonese, 1956
	Psilaster cassiope Sladen, 1889
Família Luidiidae Verrill, 1889	*Luidia clathrata* (Say, 1825)
	Luidia alternata alternata (Say, 1825)
Família Goniopectinidae Verrill, 1889	
Ordem Notomyotida Ludwig, 1910	
Família Benthopectinidae Verrill, 1894	*Cheiraster (Cheiraster) planus* Verrill, 1915
Ordem Valvatida Perrier, 1884	
Família Asterinidae Gray, 1840	*Asterina* sp. Nardo, 1834
Família Goniasteridae Forbes, 1841	*Mediaster bairdi capensis* Stimpson, 1857
	Tosia parva (Perrier, 1881)
	Nymphaster arenatus (Perrier, 1881)
	Plinthaster dentatus Perrier, 1884
	Rosaster alexandri Perrier, 1881
Família Oreasteridae Fisher, 1911	*Oreaster reticulatus* (Linnaeus, 1758)
Família Ophiodiasteridae Verril, 1867	*Ophidiaster alexandri* Verril, 1915
	Linckia guildingii Gray, 1840
	Tamaria cf. *floridae* (Perrier, 1881)
	Narcissia trigonaria Sladen, 1883
Ordem Spinulosida Perrier, 1884	
Família Echinasteridae Verril, 1867	*Echinaster* sp. Müller & Troschel, 1840
	Echinaster (*Othilia*) *brasiliensis* Müller & Troschel, 1842
	Echinaster (*Othilia*) *guyanensis* Clark, 1987
Ordem Forcipulatida Perrier, 1893	
Família Asteriidae Gray, 1840	*Coscinasterias tenuispina* (Lamarck, 1816)
Família Zoroasteridae Sladen, 1889	*Zoroaster fulgens* Thomson, 1873
Classe Ophiuroidea	
Ordem Ophiurida Müller & Troschel, 1840	
Família Ophiactidae Matsumoto, 1915	*Ophiactis savignyi* Lütken, 1856
	Ophiactis lymani Ljungman, 1871
Família Ophiocomidae Ljungman, 1867	*Ophiocoma* sp. Agassiz, 1836
	Ophiocoma pumila Lütken, 1859
	Ophiocoma wendtii Müller & Trochel, 1842
	Ophiopsila sp. Forbes, 1843
	Ophiopsila riisei Lutken, 1859
Família Ophiodermatidae Ljungman, 1867	*Ophioderma* sp. Müller & Troschel, 1840
	Ophioderma appressum (Say, 1825)
	Ophioderma januarii Lutken, 1856
Família Ophionereididae Matsumoto, 1915	*Ophionereis* sp. Luetken, 1859
	Ophionereis reticulata Say, 1825
	Ophionereis squamulosa (Koehler, 1914)
	Ophionereis olivacea Clark, 1901
Família Ophiuridae Lyman, 1865	*Ophioplax* sp. Lyman, 1875
	Ophiomusium sp. Lyman, 1869

	Ophioceramis januarii Lutken, 1856
	Ophiosphalma sp. (McClendon, 1909)
	Ophiolepis paucispina (Say, 1825)
	Ophiolepis impressa (Lütken, 1859)
Família Ophiotrichidae Ljungman, 1866	*Ophiothrix* sp. Müller & Troschel, 1840
	Ophiothrix angulata (Say, 1825)
Família Hemieuryalidae Verrill, 1899	
Família Amphiuridae Ljungman, 1867	*Amphiodia planispina* (Martens, 1867)
Ordem Phrynophiurida Matsumoto, 1915	
Família Ophiomyxidae Ljungman, 1866	*Ophiosciasma* sp.
	Ophiomyxa flaccida (Say, 1825)
Família Gorgonocephalidae Ljungman, 1867	
Família Asteronychidae Müller & Troschel, 1842	*Asteronyx loveni* (Müller & Troschel, 1842)
	Astrodia tenuispina (Verrill, 1884)
Classe Echinoidea	
Ordem Cidaroida Claus, 1880	
Família Cidaridae Gray, 1825	*Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816)
	Stylocidaris lineata Mortensen, 1910
	Tretocidaris cf. *bartletti* (Agassiz, 1880)
Ordem Echinothurioida Claus, 1880	
Família Echinothuriidae Thomson, 1872	*Paraphormosoma alternans* (de Meijere, 1902)
	Phormosoma placenta Thomson, 1872
Ordem Diadematoida Duncan, 1889	
Família Diadematidae Gray, 1855	*Diadema* sp. Gray, 1825
Ordem Temnopleuroida Mortensen, 1942	
Família Toxopneustidae Troschel, 1872	*Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816)
	Tripneustes ventricosus (Lamarck, 1816)
Ordem Clypeasteroida Agassiz, 1872	
Família Mellitidae Stefanini, 1911	*Leodia sexiesperforata* (Leske, 1778)
Família Clypeasteridae Agassiz, 1835	*Clypeaster* sp. Lamarck, 1801
	Clypeaster rosaceus (Linnaeus, 1758)
	Clypeaster subdepressus (Gray, 1925)
	Clypeaster ravenelli Agassiz, 1869
Ordem Spatangoida Claus, 1876	
Família Schizasteridae Lambert, 1905	*Agassizia excentrica* Agassiz, 1869
Família Loveniidae Lambert, 1905	*Homolampas lovenioides* Mortensen, 1948
Família Brissidae Gray, 1855	*Brissopsis atlantica* Mortensen, 1907
Classe Holothuroidea	
Ordem Aspidochirotida Grube, 1940	
Família Holothuriidae Ludwig, 1894	
Ordem Dendrochirotida Brandt, 1835	
Família Cucumaridae Ludwig, 1894	
Família Phyllophoridae Oestergren, 1907	
Ordem Elasipodida Théel, 1882	
Família Elpidiidae Théel, 1879	*Scotoplanes* sp. Théel, 1882
Ordem Apodida Brandt, 1835	
Família Chiridotidae Oestergren, 1898	*Chiridota rotifera* (Pourtalés, 1851)

Fonte: Lavrado e Ignácio (2006).

Apêndice Q – Medidas estatísticas e gráficos de distribuição dos dados físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água da região de estudo

Resultados das variáveis físicas da água

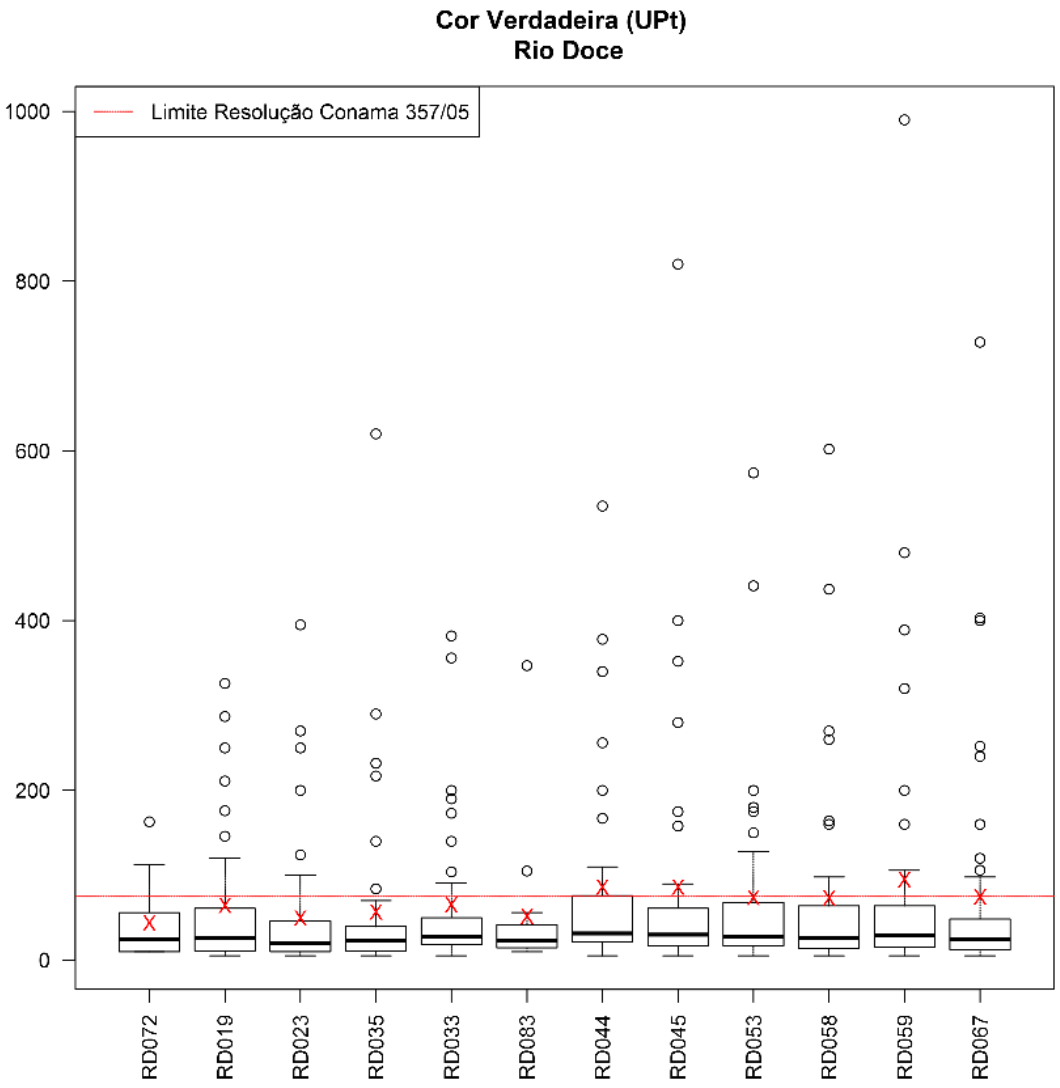
Cor Verdadeira

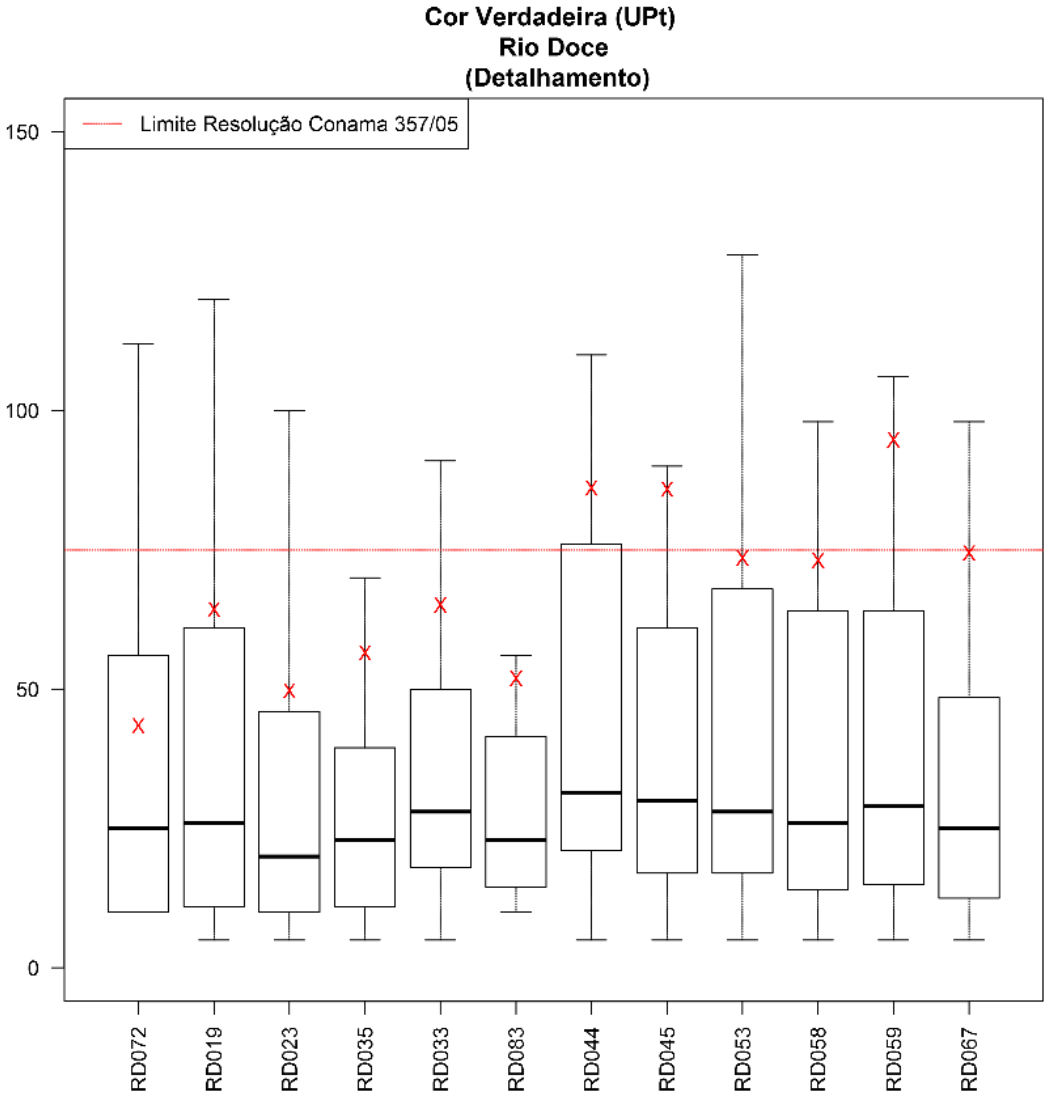
	Cor Verdadeira (UPt) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	10	43	25	163
RD019	37	5	64	26	326
RD023	46	5	50	20	395
RD035	43	5	56	23	620
RD033	37	5	65	28	382
RD083	15	10	52	23	347
RD044	32	5	86	32	535
RD045	37	5	86	30	820
RD053	37	5	74	28	574
RD058	41	5	73	26	602
RD059	37	5	95	29	990
RD067	44	5	74	25	728

	Cor Verdadeira (UPt) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	10	26	19	75
RD019	19	5	25	15	146
RD023	23	5	18	15	53
RD035	21	5	20	19	50
RD033	19	5	23	20	45
RD083	8	10	21	18	44
RD044	16	5	25	25	55
RD045	19	5	24	20	61
RD053	19	5	21	20	54
RD058	20	5	25	20	64
RD059	19	5	21	15	64
RD067	22	5	20	18	53

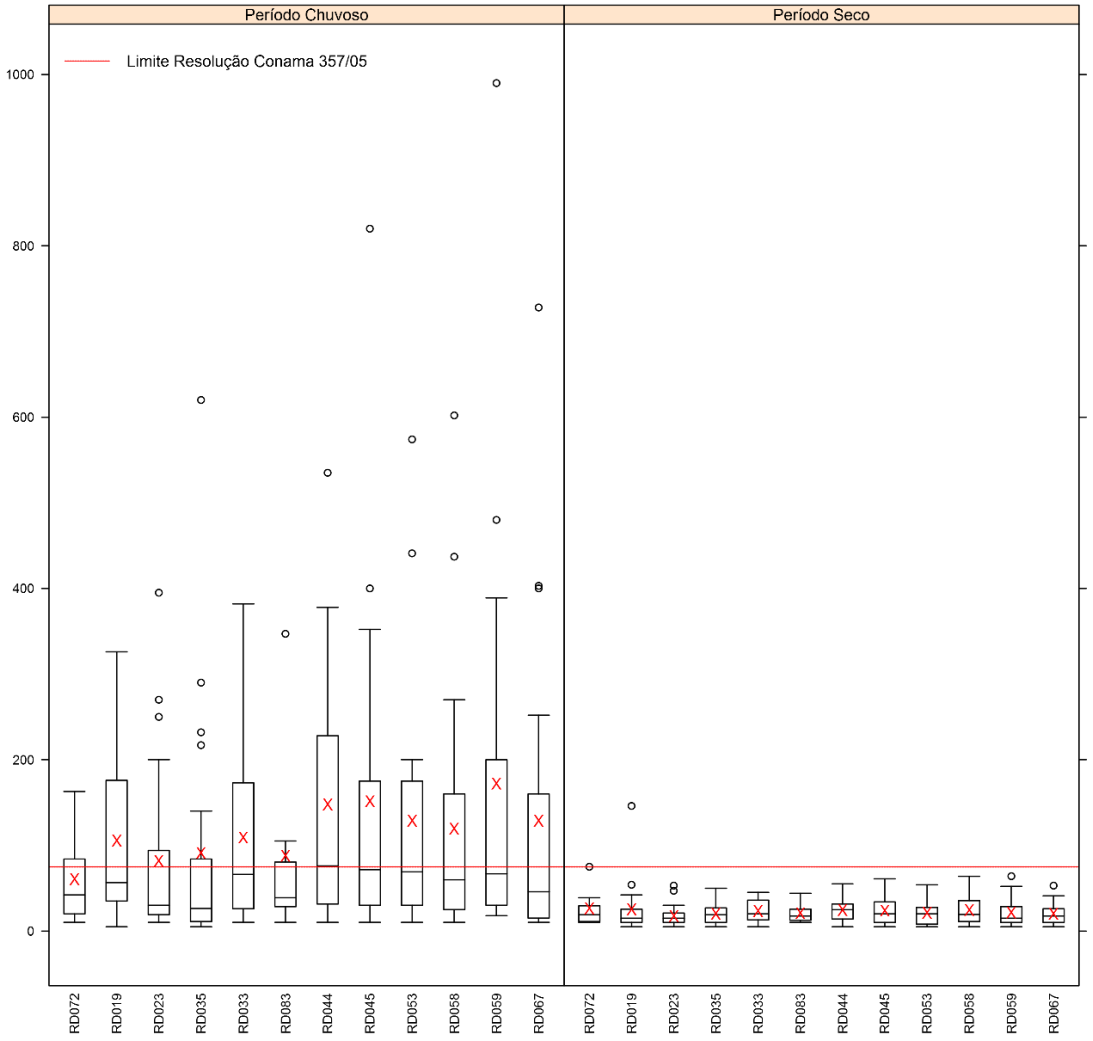
	Cor Verdadeira (UPt) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	10	60	42	163
RD019	18	5	106	57	326
RD023	23	10	82	30	395
RD035	22	5	91	27	620
RD033	18	10	109	66	382
RD083	7	10	88	39	347
RD044	16	10	148	76	535
RD045	18	10	152	72	820
RD053	18	10	129	69	574
RD058	21	10	119	60	602
RD059	18	18	172	67	990

	Cor Verdadeira (UPt) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD067	22	10	129	46	728




Cor Verdadeira (UPt)
Rio Doce
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
150
100
50
0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

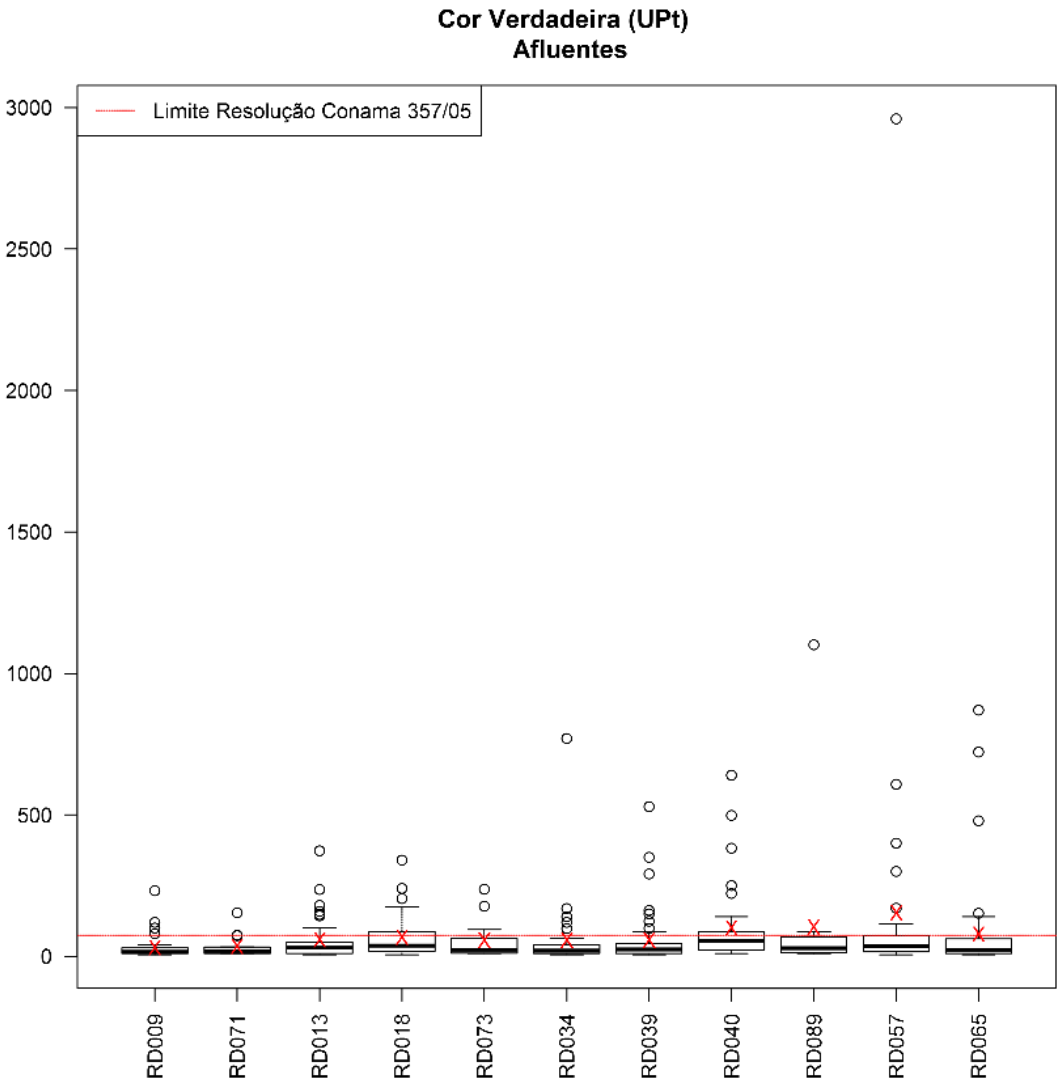
Cor Verdadeira (UPt)
Rio Doce

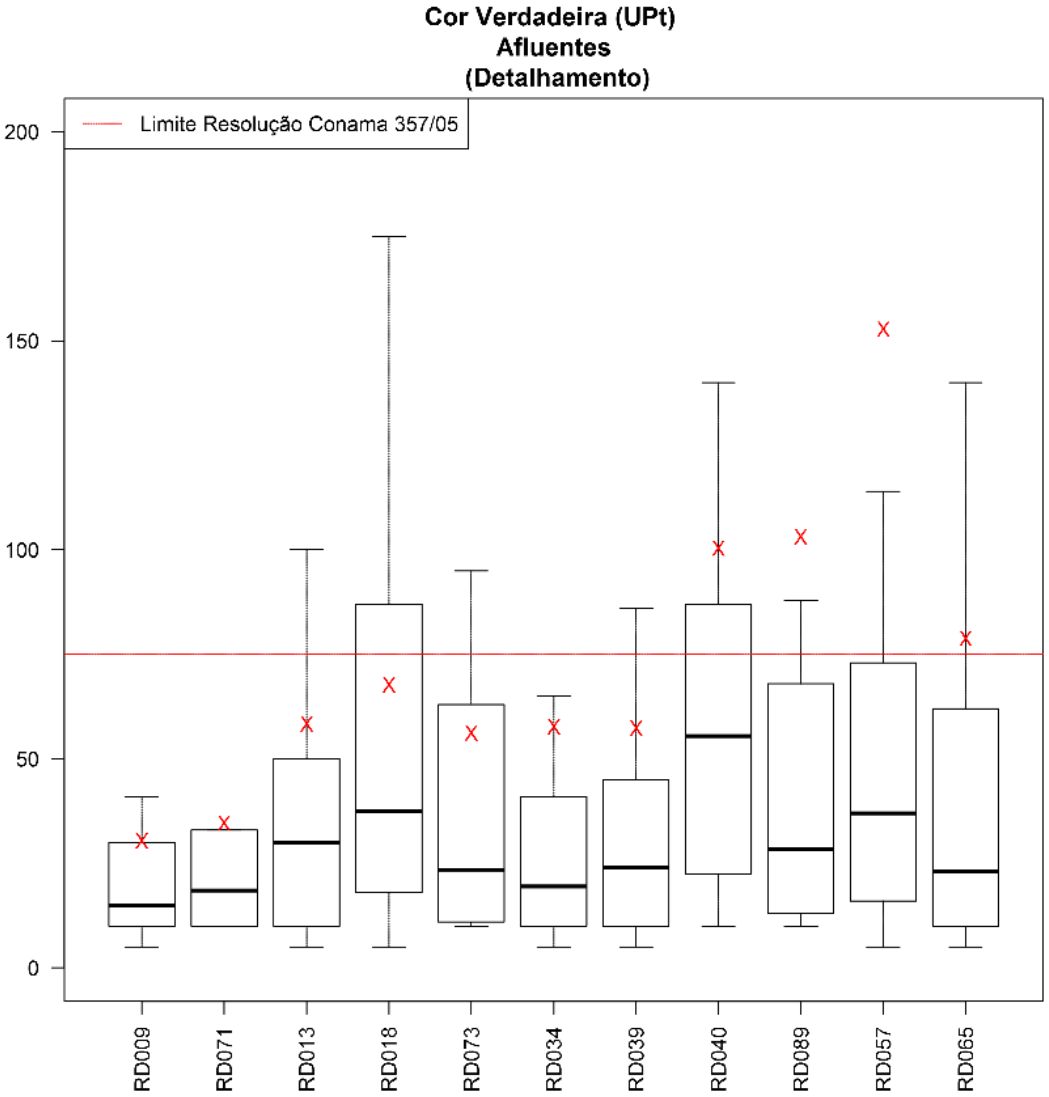


	Cor Verdadeira (UPt) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	34	5	30	15	232
RD071	14	10	35	19	154
RD013	37	5	58	30	373
RD018	32	5	68	38	340
RD073	14	10	56	24	237
RD034	32	5	58	20	770
RD039	46	5	57	24	529
RD040	32	10	100	56	640
RD089	16	10	103	29	1.101
RD057	37	5	153	37	2.960
RD065	46	5	79	23	870

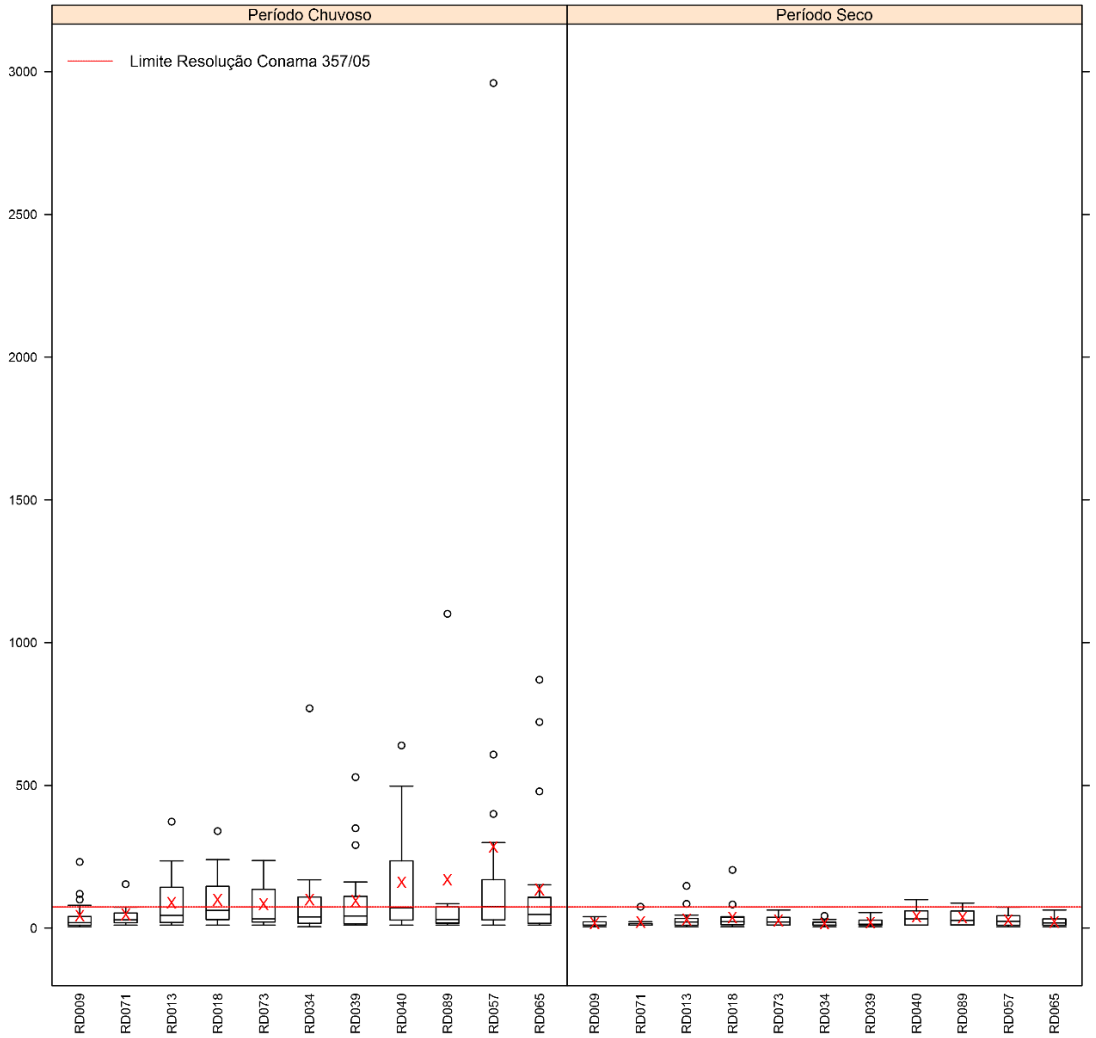
	Cor Verdadeira (UPt) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	5	17	11	40
RD071	7	10	21	10	75
RD013	19	5	30	21	148
RD018	16	5	37	23	204
RD073	7	10	27	22	63
RD034	16	5	16	11	43
RD039	23	5	19	14	55
RD040	16	10	40	33	100
RD089	8	10	37	27	88
RD057	19	5	29	24	73
RD065	23	5	22	18	64

	Cor Verdadeira (UPt) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	5	44	19	232
RD071	7	10	48	29	154
RD013	18	10	88	45	373
RD018	16	10	99	63	340
RD073	7	10	85	33	237
RD034	16	5	99	40	770
RD039	23	10	95	42	529
RD040	16	10	161	71	640
RD089	8	10	170	31	1101
RD057	18	10	284	76	2960
RD065	23	10	136	48	870


Cor Verdadeira (UPt)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065


Cor Verdadeira (UPt)
Afluentes
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
200
150
100
50
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Cor Verdadeira (UPt)
Afluentes



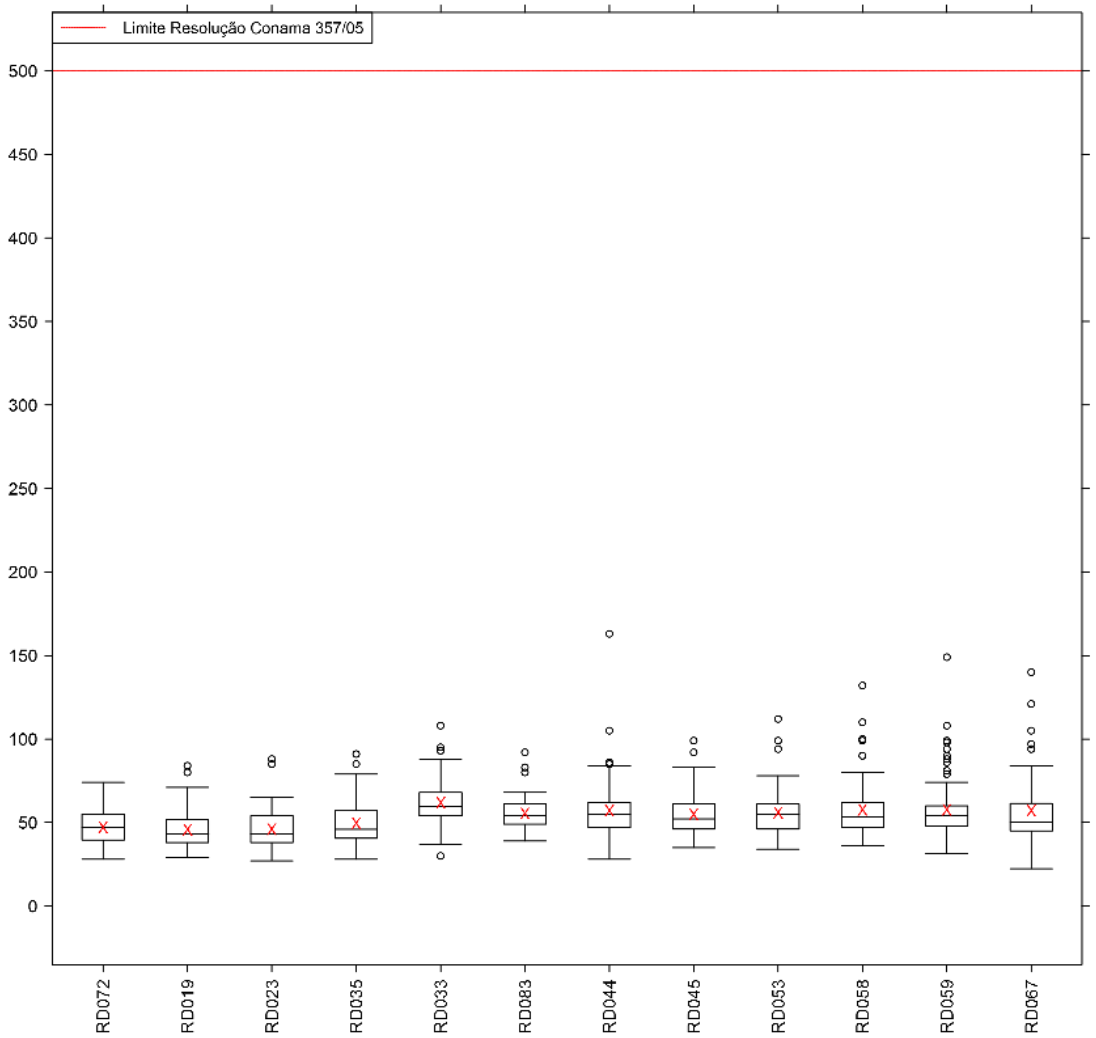
Sólidos Dissolvidos Totais

	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	28	47	47	74
RD019	82	29	46	43	84
RD023	83	27	46	43	88
RD035	76	28	50	46	91
RD033	82	30	62	60	108
RD083	49	39	55	54	92
RD044	75	28	57	55	163
RD045	82	35	55	52	99
RD053	81	34	56	55	112
RD058	76	36	58	54	132
RD059	82	31	58	54	149
RD067	83	22	57	50	140

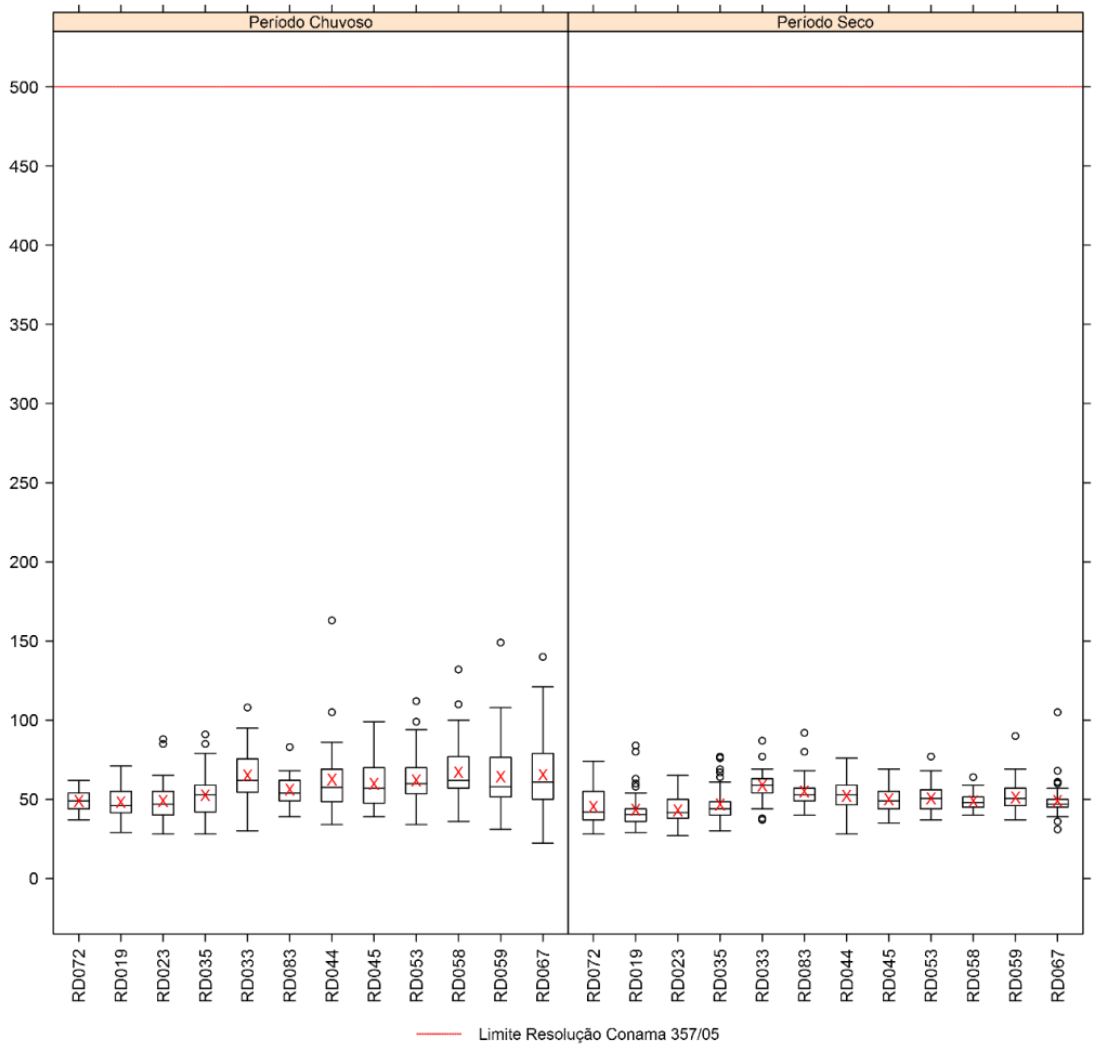
	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	28	45	42	74
RD019	42	29	43	41	84
RD023	42	27	43	42	65
RD035	39	30	47	44	77
RD033	42	37	59	59	87
RD083	26	40	55	53	92
RD044	39	28	52	53	76
RD045	42	35	50	49	69
RD053	42	37	51	51	77
RD058	39	40	49	48	64
RD059	42	37	51	51	90
RD067	42	31	49	47	105

	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	37	49	49	62
RD019	40	29	48	46	71
RD023	41	28	49	47	88
RD035	37	28	52	53	91
RD033	40	30	65	62	108
RD083	23	39	56	54	83
RD044	36	34	62	58	163
RD045	40	39	60	57	99
RD053	39	34	62	60	112
RD058	37	36	67	62	132
RD059	40	31	64	58	149
RD067	41	22	66	61	140

Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)
Rio Doce



Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)
Rio Doce

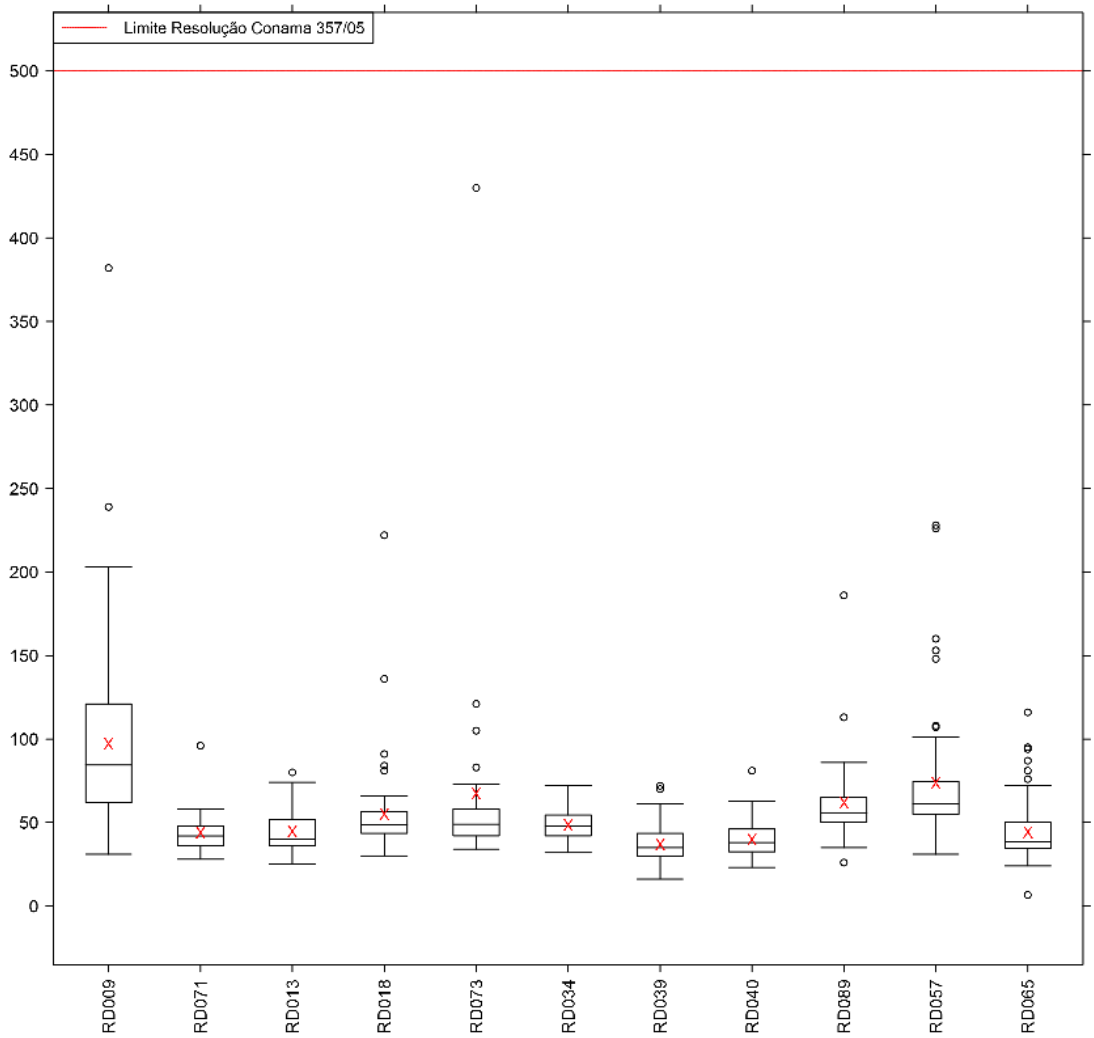


	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	56	31	97	85	382
RD071	29	28	44	42	96
RD013	79	25	45	40	80
RD018	56	30	55	49	222
RD073	29	34	67	49	430
RD034	56	32	48	48	72
RD039	64	16	37	35	72
RD040	56	23	40	38	81
RD089	30	26	62	56	186
RD057	63	31	74	61	228
RD065	64	7	44	39	116

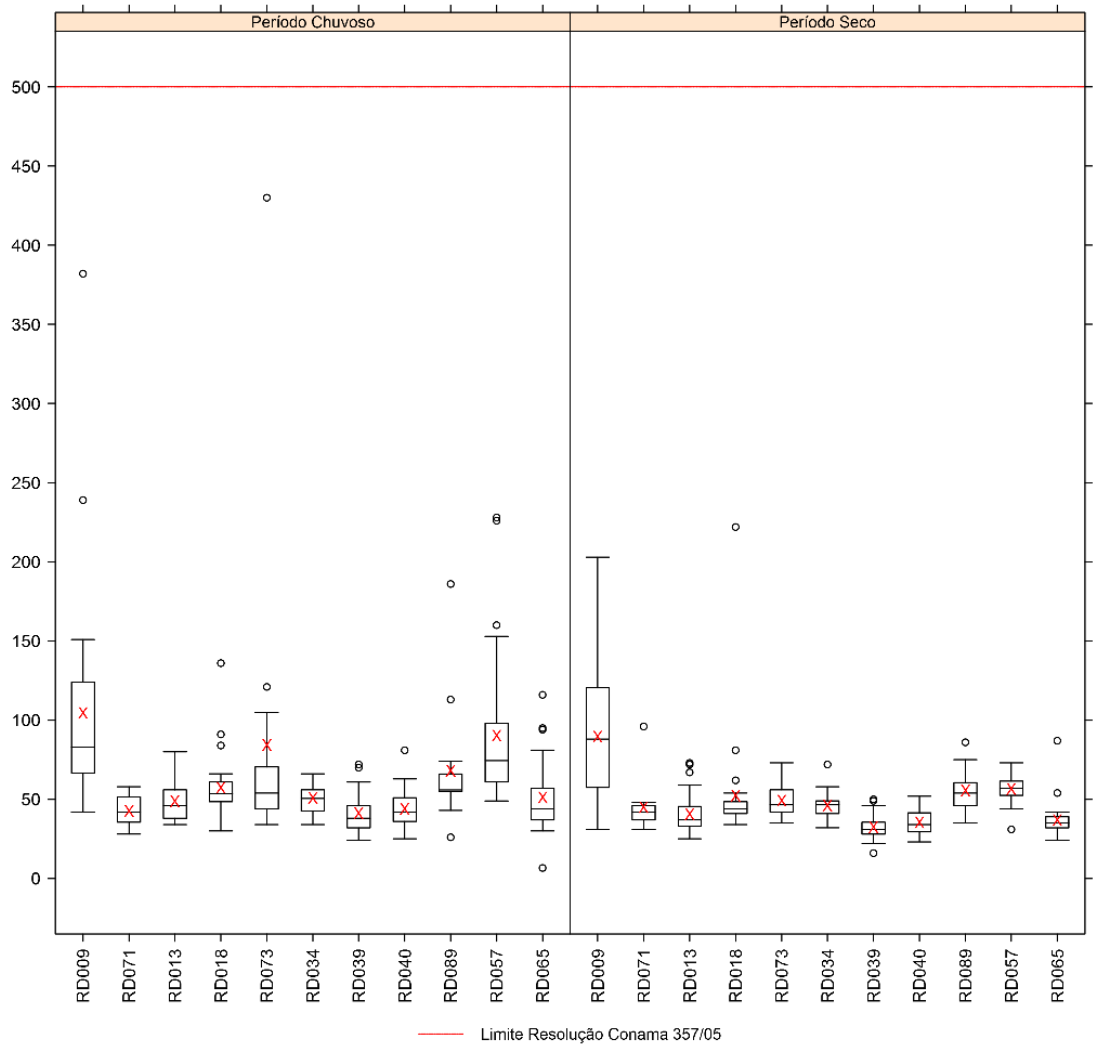
	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	28	31	90	88	203
RD071	14	31	45	42	96
RD013	39	25	41	37	73
RD018	28	34	52	44	222
RD073	14	35	49	47	73
RD034	28	32	46	47	72
RD039	31	16	32	31	50
RD040	28	23	36	34	52
RD089	15	35	56	54	86
RD057	31	31	57	57	73
RD065	31	24	37	35	87

	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	28	42	105	83	382
RD071	15	28	43	42	58
RD013	40	34	49	46	80
RD018	28	30	57	54	136
RD073	15	34	84	54	430
RD034	28	34	51	51	66
RD039	33	24	41	38	72
RD040	28	25	44	42	81
RD089	15	26	68	56	186
RD057	32	49	90	75	228
RD065	33	7	51	44	116

Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)
Afluentes



Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)
Afluentes



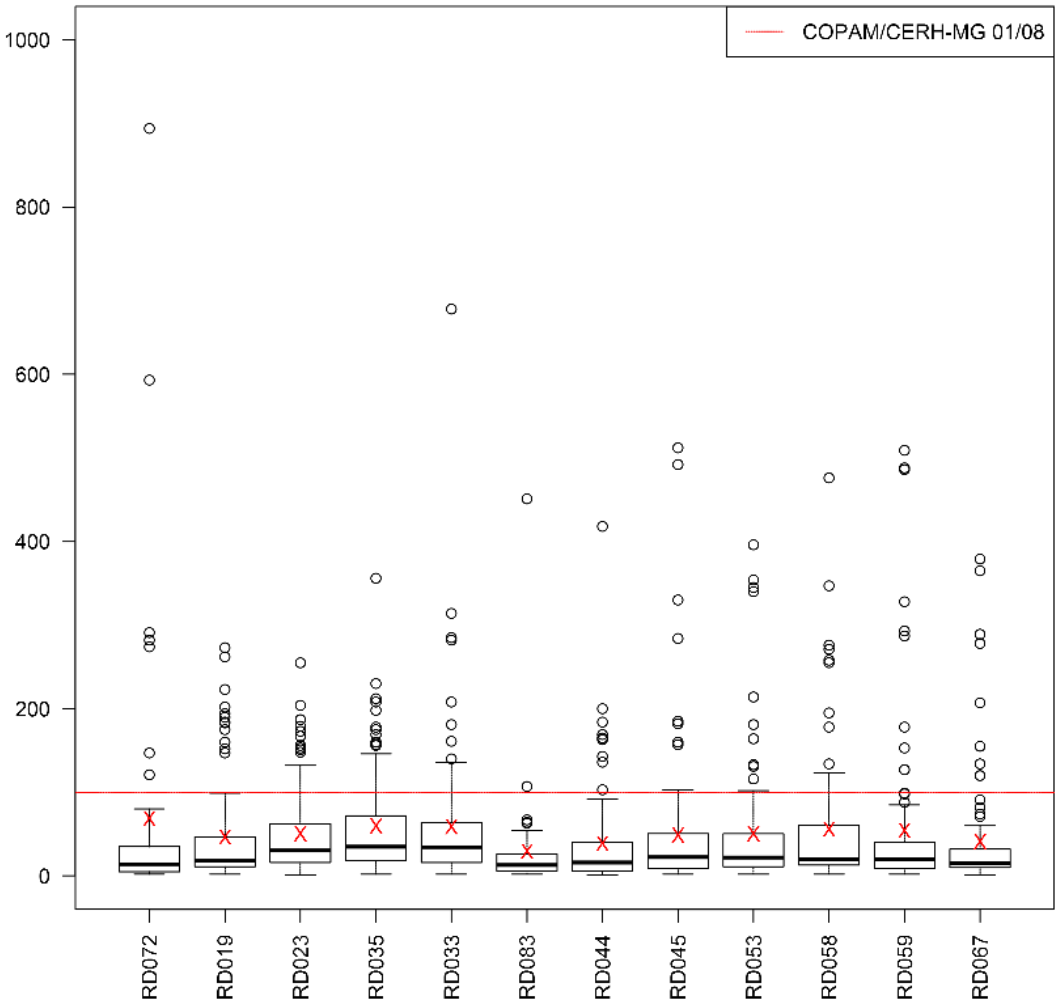
Sólidos em Suspensão Totais

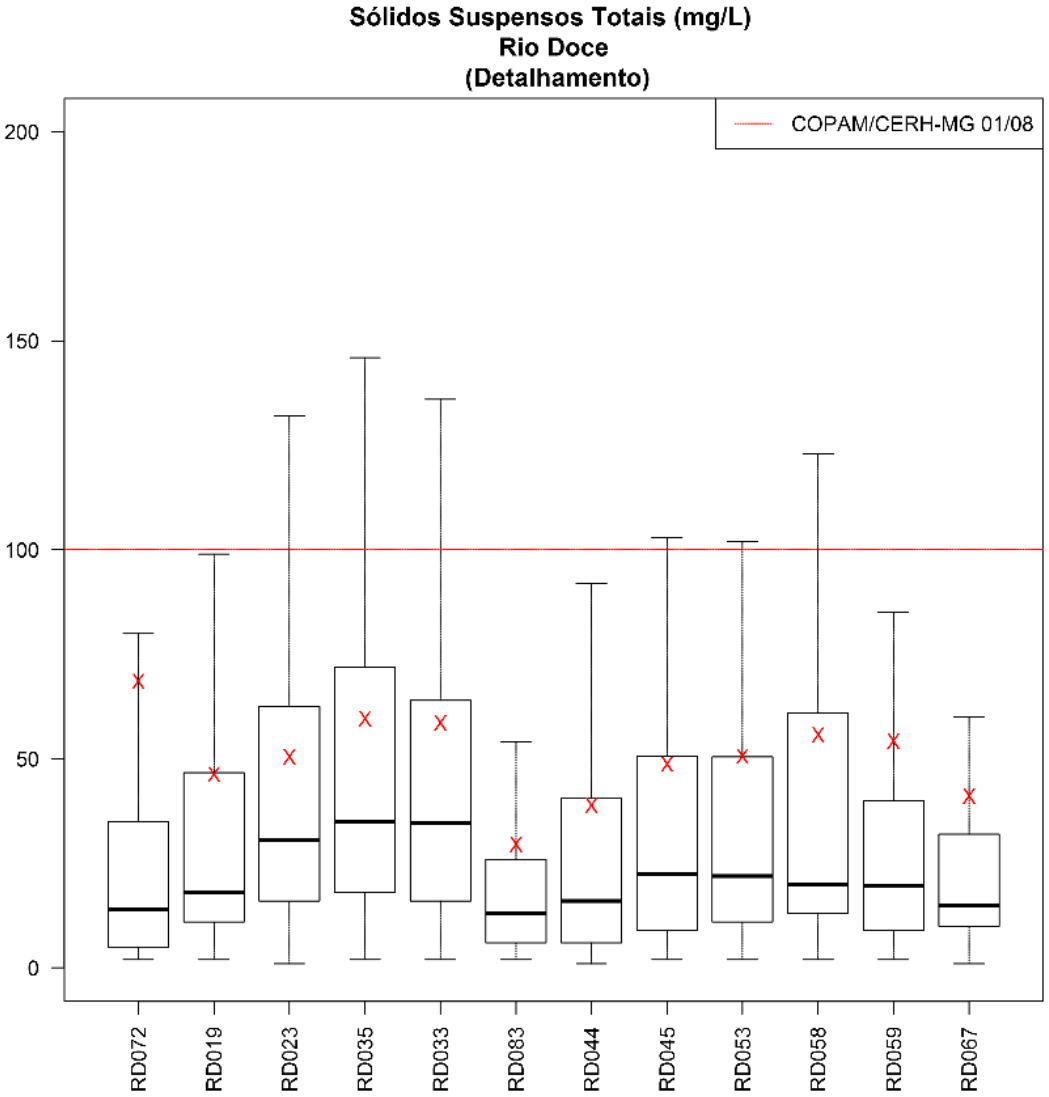
	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	2	69	14	894
RD019	92	2	46	18	273
RD023	92	1	50	31	255
RD035	85	2	60	35	356
RD033	92	2	59	35	678
RD083	49	2	30	13	451
RD044	83	1	39	16	418
RD045	92	2	49	23	512
RD053	91	2	51	22	396
RD058	83	2	56	20	476
RD059	92	2	54	20	509
RD067	89	1	41	15	379

	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	2	81	10	894
RD019	47	2	31	16	223
RD023	47	1	33	23	204
RD035	44	2	50	21	356
RD033	47	2	29	20	181
RD083	26	2	17	12	67
RD044	43	1	23	11	143
RD045	47	2	24	12	160
RD053	47	2	27	15	181
RD058	43	2	30	17	195
RD059	47	2	24	16	127
RD067	46	1	19	14	91

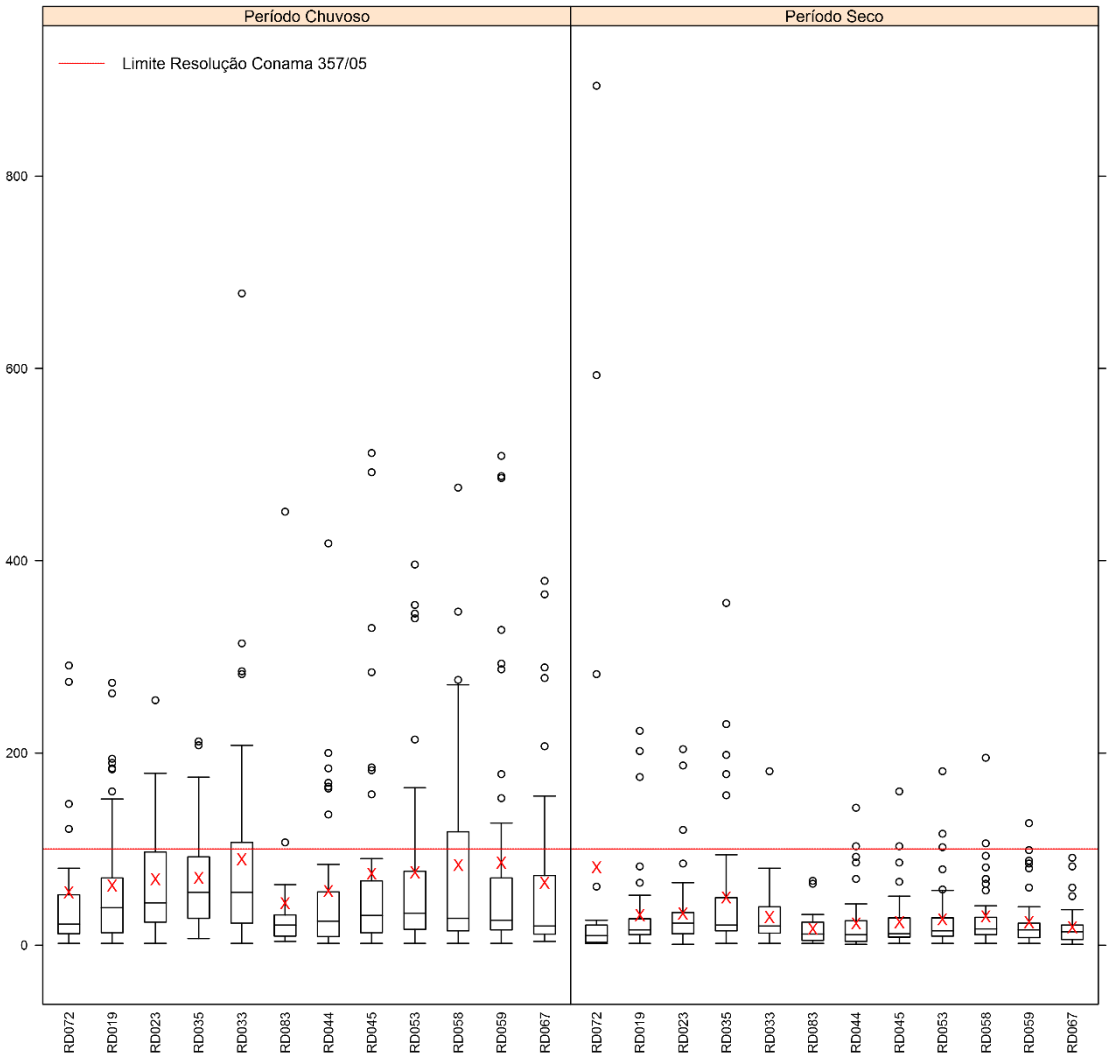
	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	2	55	22	291
RD019	45	2	62	39	273
RD023	45	2	69	44	255
RD035	41	7	70	55	212
RD033	45	2	89	55	678
RD083	23	4	44	21	451
RD044	40	2	56	25	418
RD045	45	2	74	31	512
RD053	44	2	76	34	396
RD058	40	2	83	28	476
RD059	45	2	86	26	509
RD067	43	4	65	20	379

Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
Rio Doce




Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)
COPAM/CERH-MG 01/08
200
150
100
50
0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

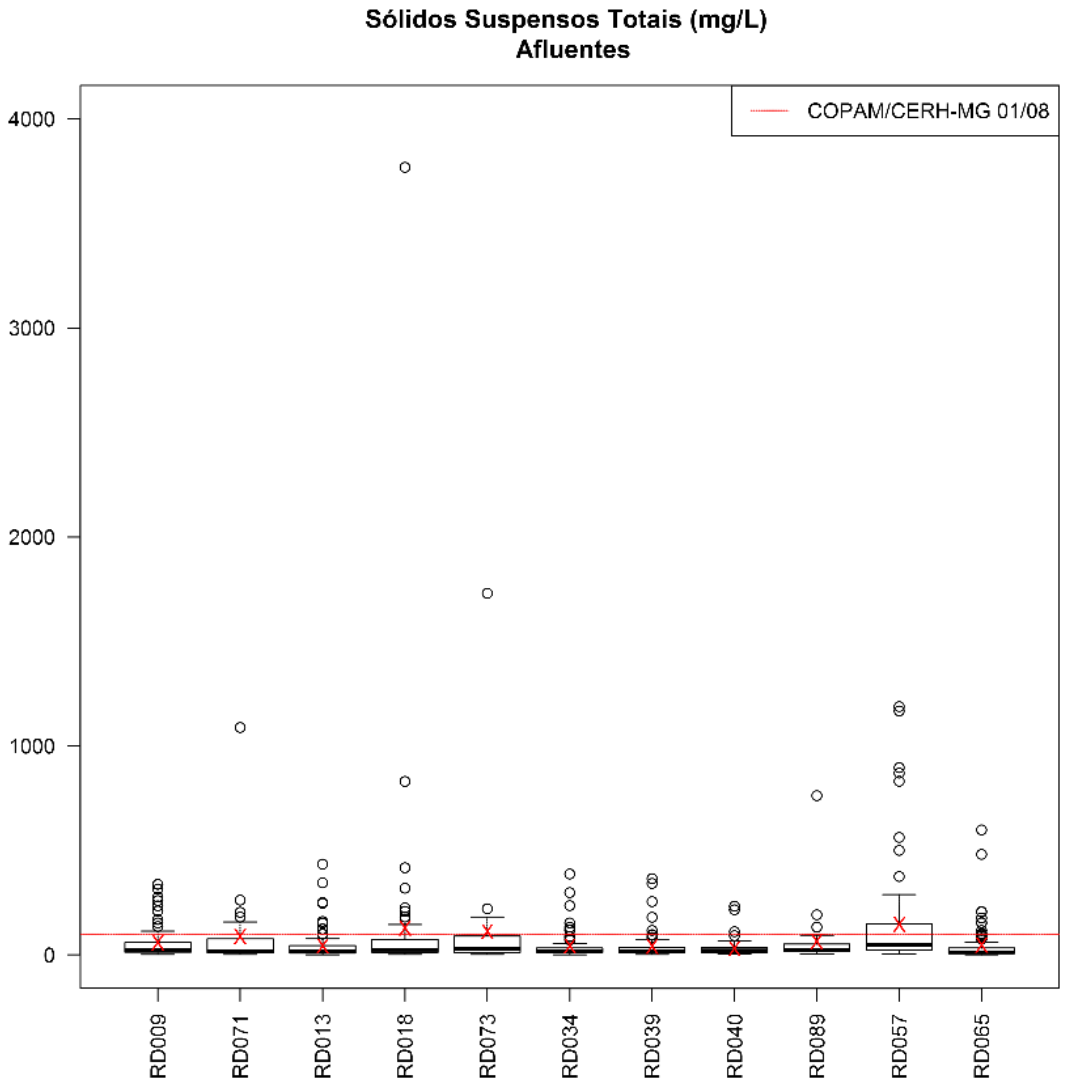
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
Rio Doce

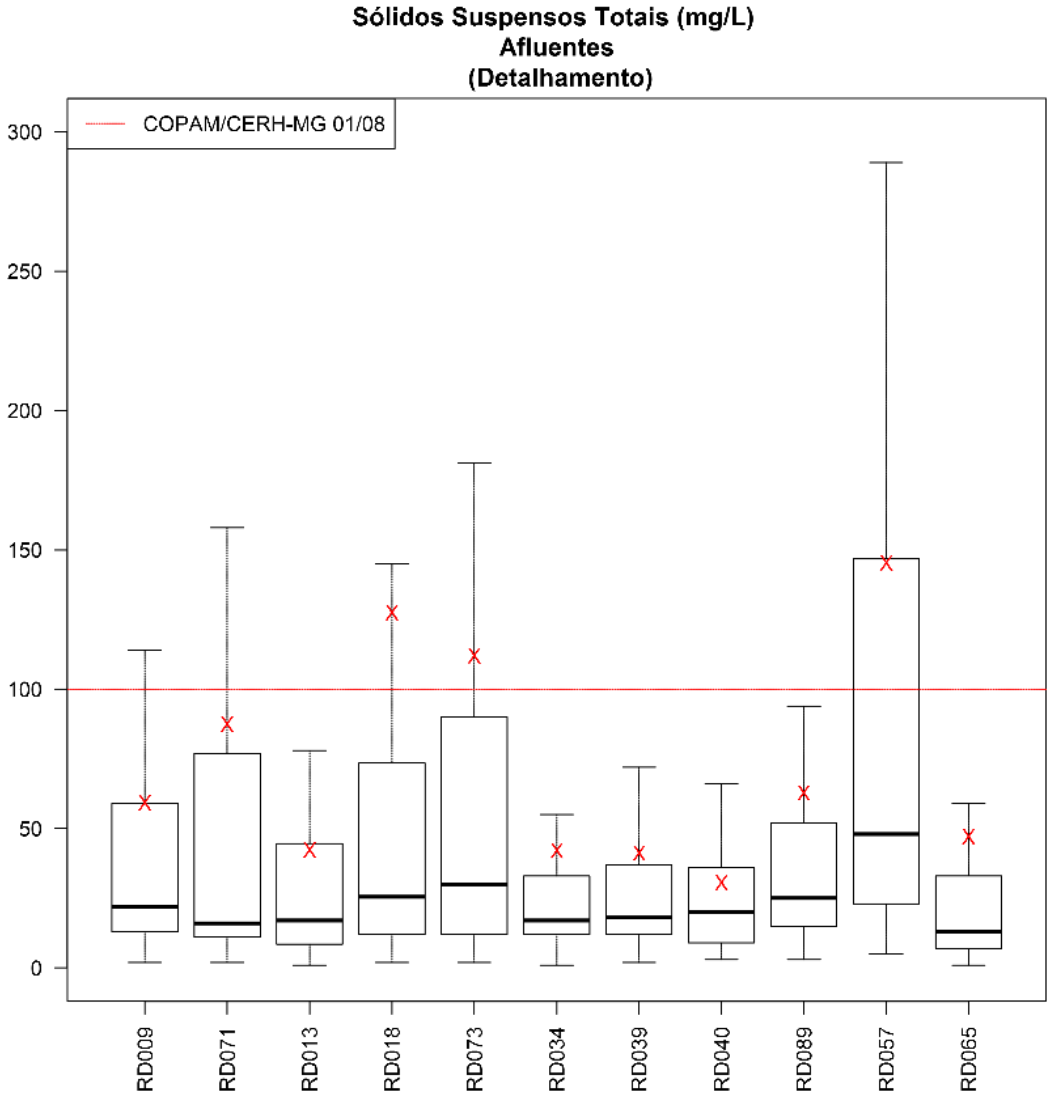


	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	2	59	22	338
RD071	29	2	87	16	1.088
RD013	88	1	42	17	434
RD018	64	2	127	26	3.768
RD073	29	2	112	30	1.730
RD034	64	1	42	17	387
RD039	73	2	41	18	365
RD040	64	3	31	20	233
RD089	30	3	63	25	762
RD057	73	5	145	48	1.188
RD065	73	1	47	13	598

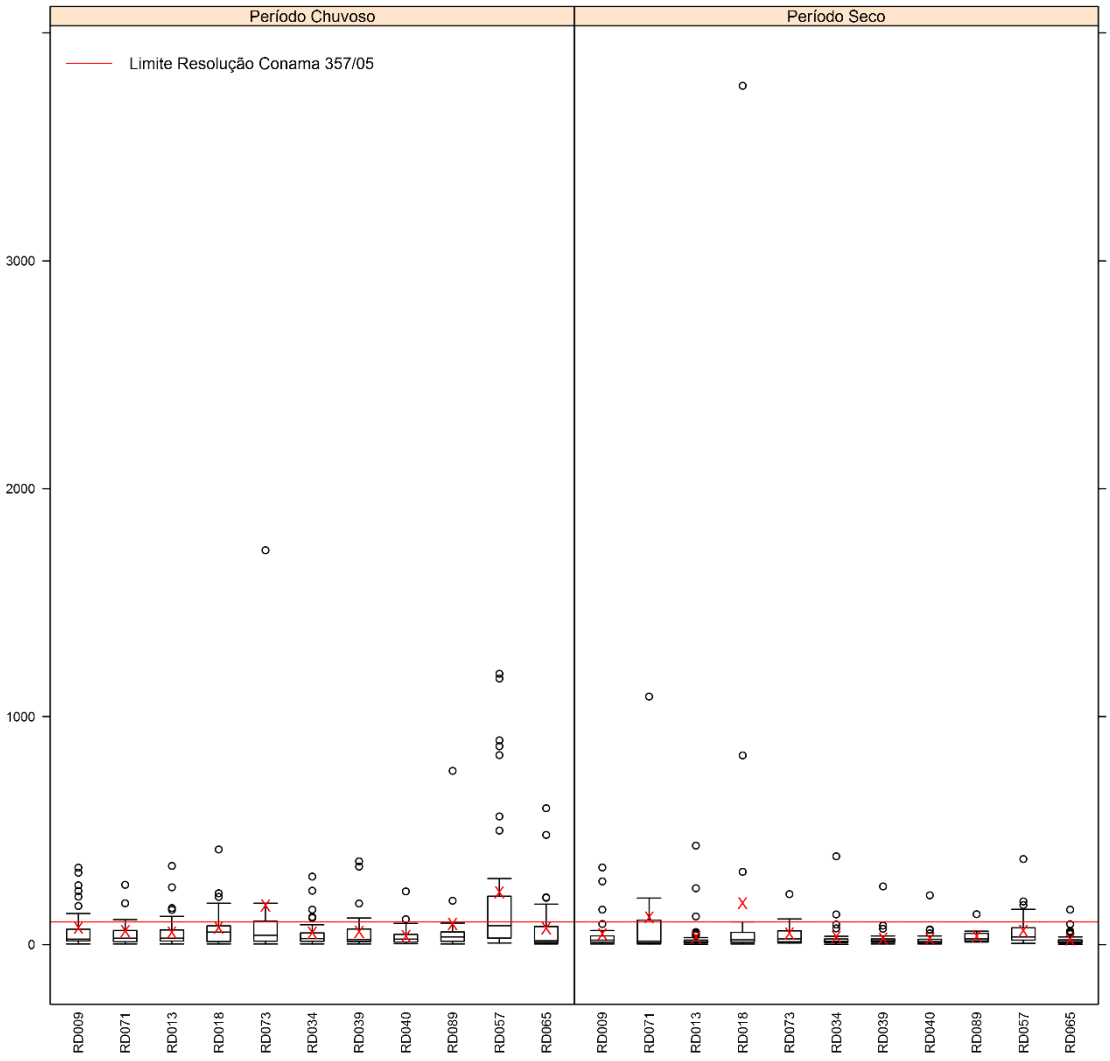
	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	2	46	19	338
RD071	14	2	119	15	1088
RD013	44	1	32	12	434
RD018	32	2	181	20	3768
RD073	14	6	49	26	221
RD034	32	1	33	14	387
RD039	36	2	27	17	255
RD040	32	3	25	14	216
RD089	15	11	35	25	133
RD057	36	5	59	33	375
RD065	36	1	22	12	153

	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	3	73	24	337
RD071	15	2	58	28	262
RD013	44	2	53	28	345
RD018	32	2	74	55	417
RD073	15	2	171	40	1730
RD034	32	2	51	26	298
RD039	37	2	55	22	365
RD040	32	4	36	23	233
RD089	15	3	90	33	762
RD057	37	7	229	82	1188
RD065	37	2	71	17	598


Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
Afluentes
COPAM/CERH-MG 01/08
4000
3000
2000
1000
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065


Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)
COPAM/CERH-MG 01/08
300
250
200
150
100
50
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
Afluentes



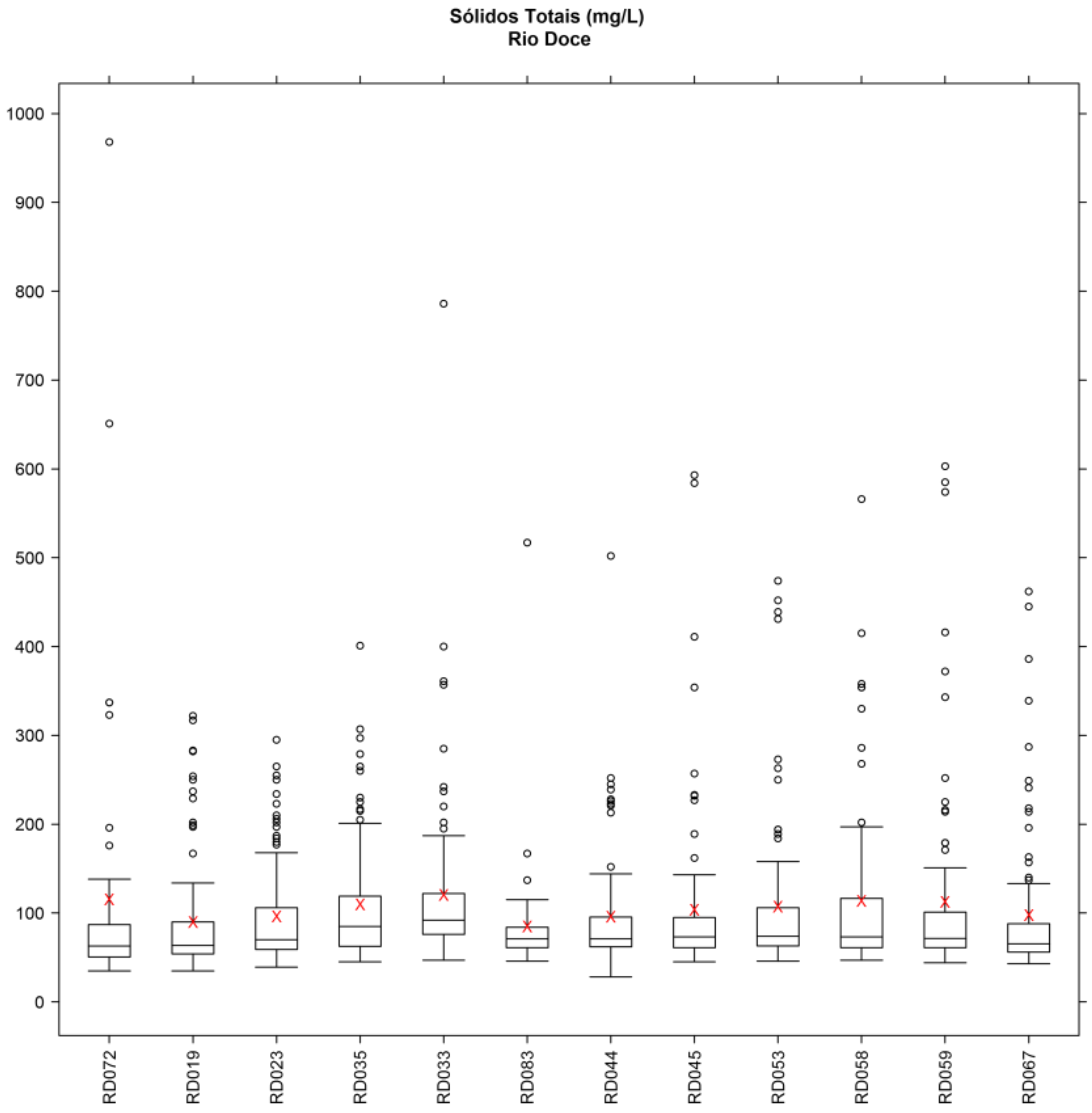
Sólidos Totais

	Sólidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	35	116	63	968
RD019	90	35	90	64	322
RD023	90	39	96	70	295
RD035	83	45	110	85	401
RD033	90	47	121	92	786
RD083	49	46	85	71	517
RD044	83	28	96	71	502
RD045	90	45	104	73	593
RD053	89	46	107	74	474
RD058	83	47	114	73	566
RD059	90	44	113	72	603
RD067	90	43	98	66	462
RDC1E010	27	40	129	96	417
RDC1E015	19	40	139	110	442
RDC1D020	27	50	217	90	2999
RDC1D025	25	50	115	85	540
RDC1E030	25	50	101	80	420

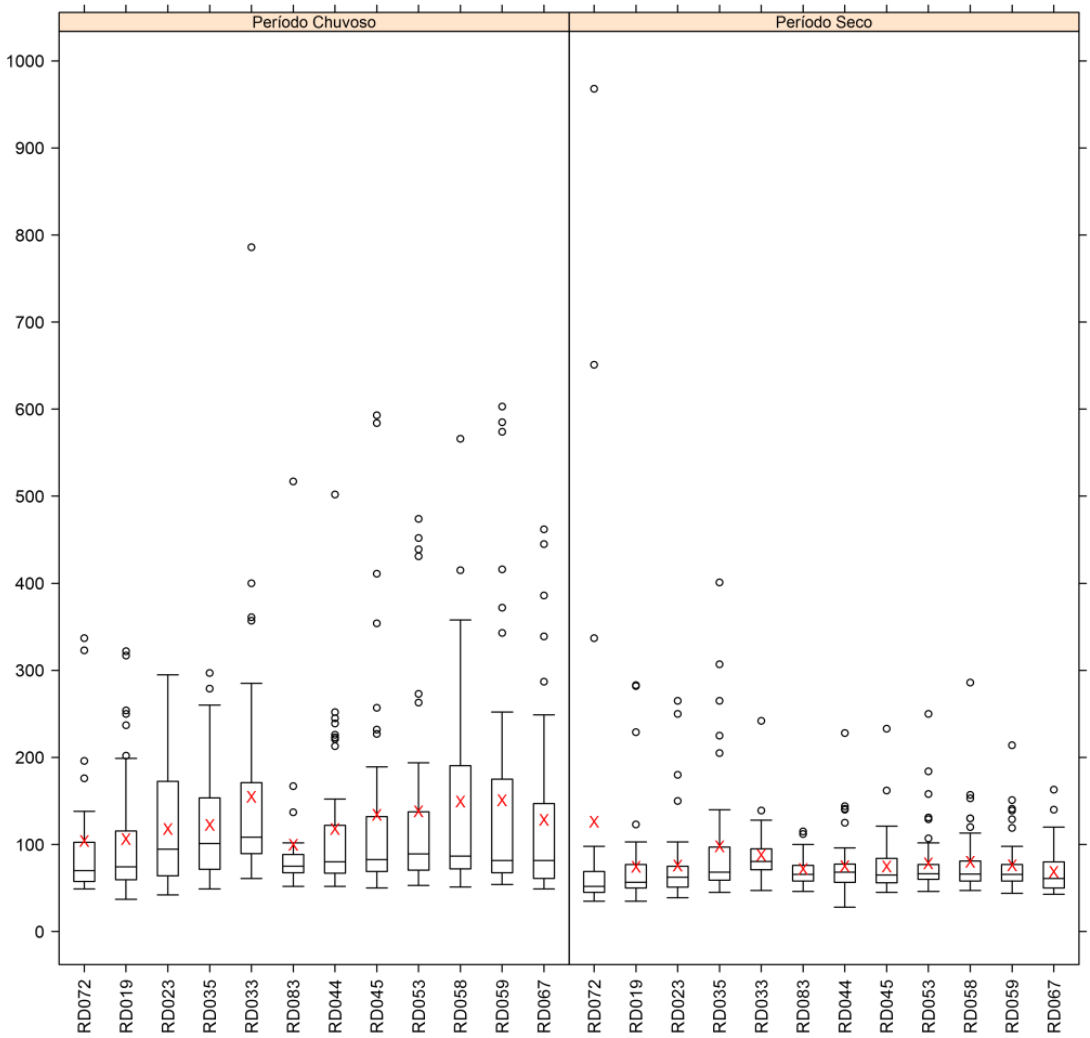
	Sólidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	35	126	52	968
RD019	46	35	74	57	283
RD023	46	39	76	63	265
RD035	43	45	98	68	401
RD033	46	47	88	81	242
RD083	26	46	72	66	115
RD044	43	28	75	68	228
RD045	46	45	75	65	233
RD053	46	46	78	67	250
RD058	43	47	80	66	286
RD059	46	44	76	66	214
RD067	46	43	69	61	163
RDC1E010	19	40	108	76	320
RDC1E015	13	40	101	85	240
RDC1D020	19	50	92	79	230
RDC1D025	18	50	109	80	540
RDC1E030	18	50	96	73	420

	Sólidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	49	104	70	337
RD019	44	37	106	75	322
RD023	44	42	118	95	295
RD035	40	49	123	101	297
RD033	44	61	155	109	786
RD083	23	52	100	75	517
RD044	40	52	118	80	502
RD045	44	50	134	83	593

	Sólidos Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD053	43	53	138	89	474
RD058	40	51	149	87	566
RD059	44	54	151	82	603
RD067	44	49	128	82	462
RDC1E010	8	70	178	145	417
RDC1E015	6	110	222	195	442
RDC1D020	8	60	515	185	2.999
RDC1D025	7	70	131	147	220
RDC1E030	7	50	116	100	180



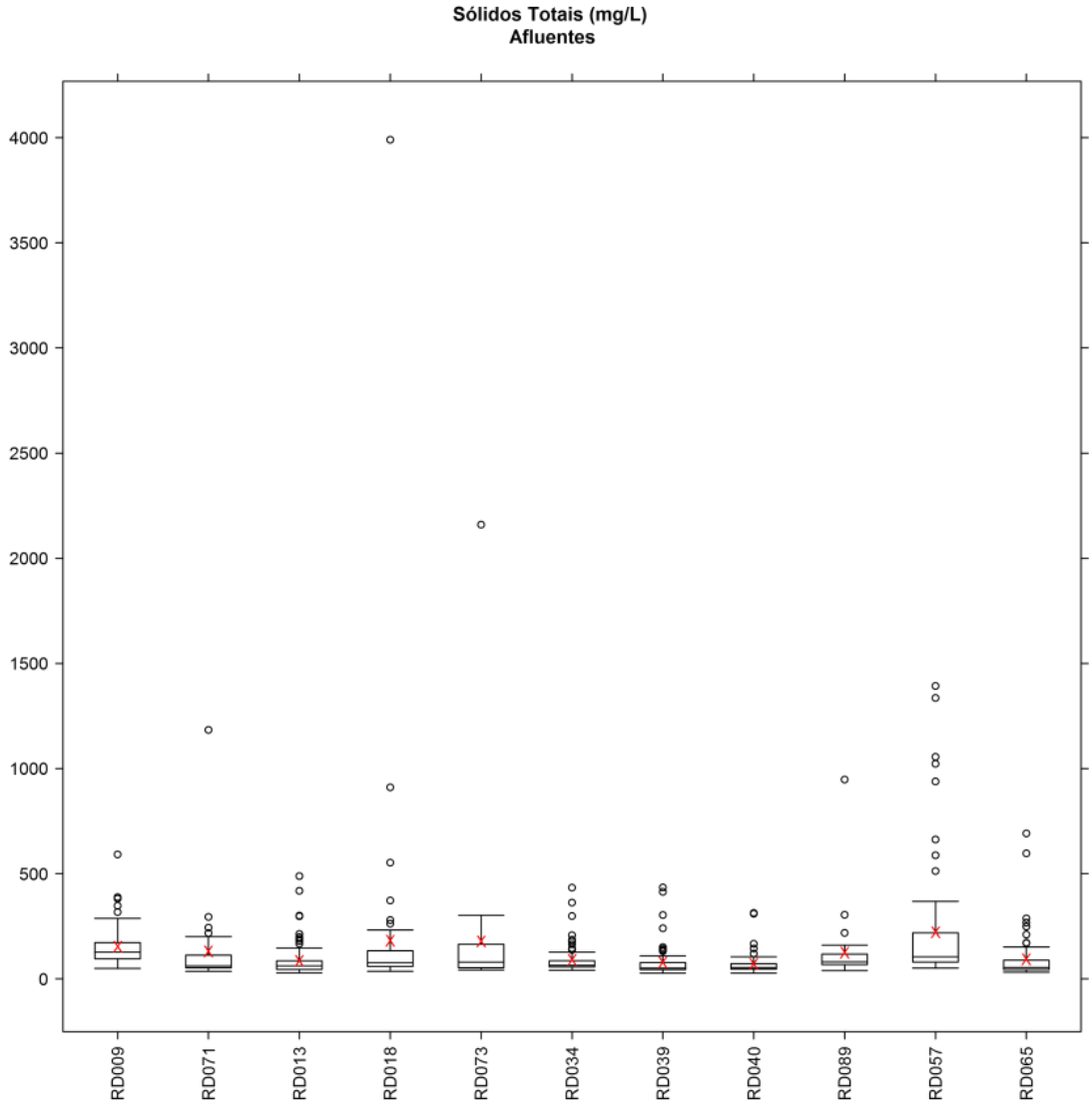
Sólidos Totais (mg/L)
Rio Doce

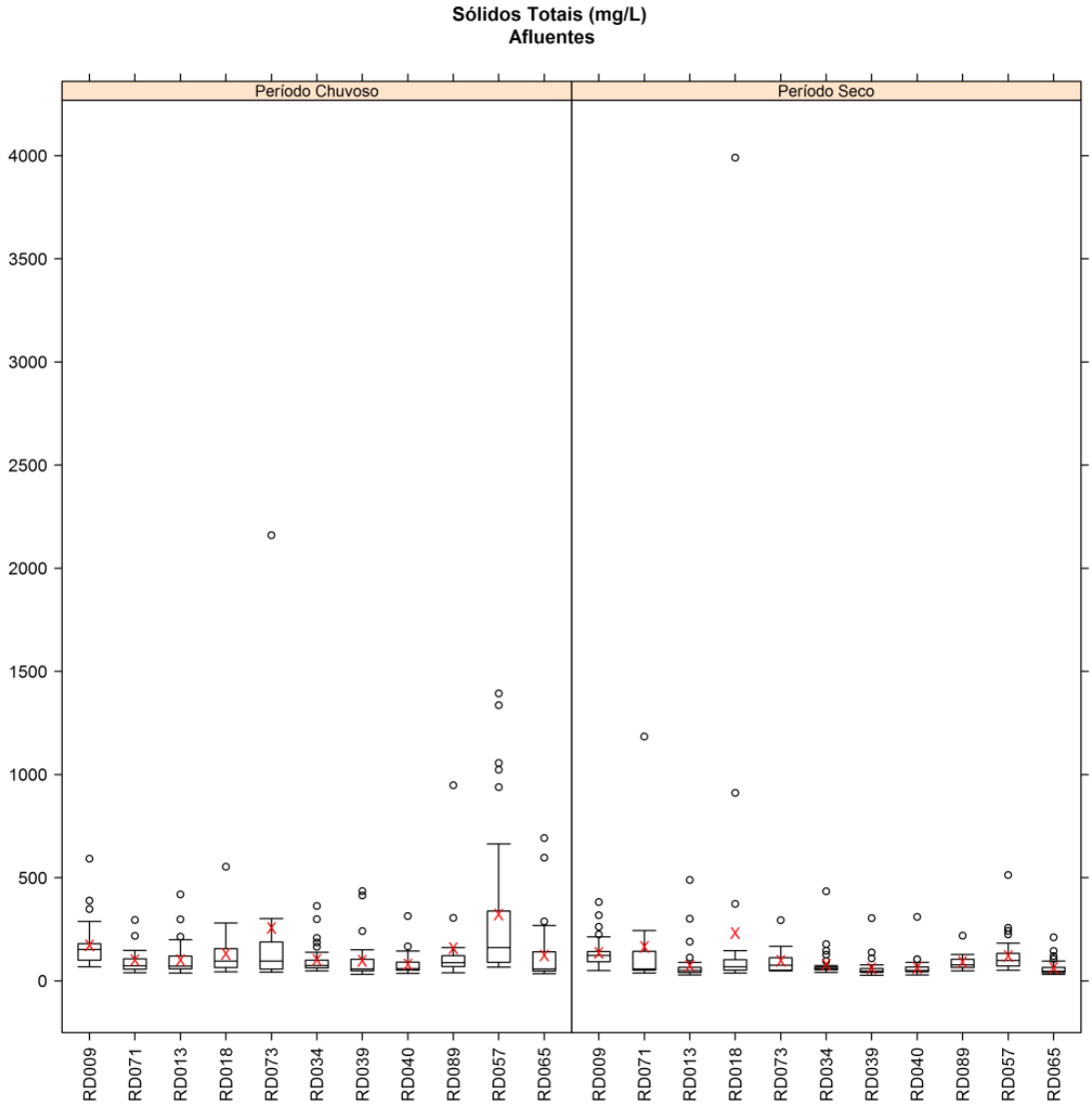


	Sólidos Totais (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	64	50	154	128	592
RD071	29	37	131	62	1.184
RD013	87	29	86	62	489
RD018	64	37	181	77	3.990
RD073	29	42	179	80	2.160
RD034	64	41	90	65	434
RD039	71	27	78	52	435
RD040	64	28	71	55	314
RD089	30	39	125	82	948
RD057	71	51	222	105	1.393
RD065	71	32	93	54	692
RDC2C007	27	37	217	150	670
RDC2C012	27	8	119	100	310

	Sólidos Totais (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	50	136	123	382
RD071	14	37	164	57	1.184
RD013	43	29	72	50	489
RD018	32	37	232	68	3.990
RD073	14	48	98	76	294
RD034	32	41	79	59	434
RD039	35	27	60	47	304
RD040	32	28	63	51	310
RD089	15	49	91	77	219
RD057	35	51	120	99	513
RD065	35	32	62	47	211
RDC2C007	18	37	149	124	460
RDC2C012	19	8	105	100	200

	Sólidos Totais (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	68	171	152	592
RD071	15	39	101	72	295
RD013	44	38	99	72	419
RD018	32	43	131	96	553
RD073	15	42	255	96	2.160
RD034	32	49	102	74	363
RD039	36	32	97	57	435
RD040	32	36	79	59	314
RD089	15	39	158	88	948
RD057	36	66	321	161	1.393
RD065	36	34	123	58	692
RDC2C007	9	150	355	304	670
RDC2C012	8	70	150	131	310


Sólidos Totais (mg/L)
Afluentes
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

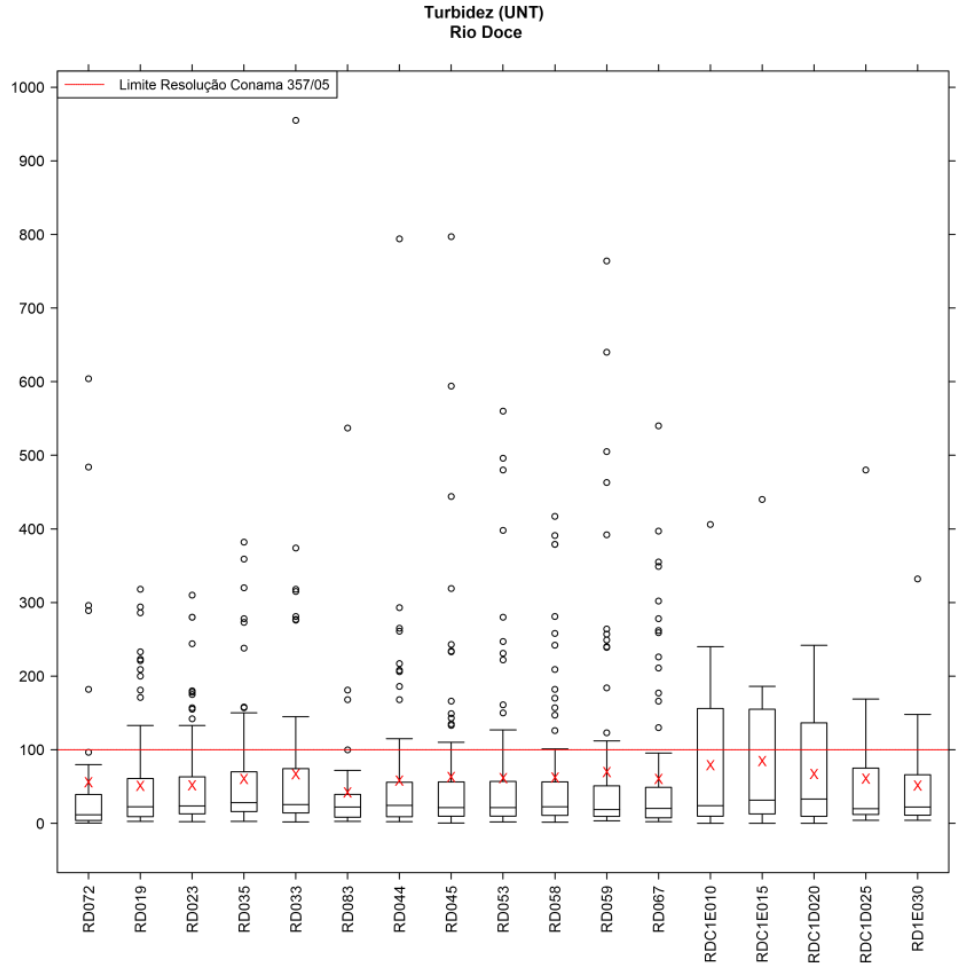

Sólidos Totais (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

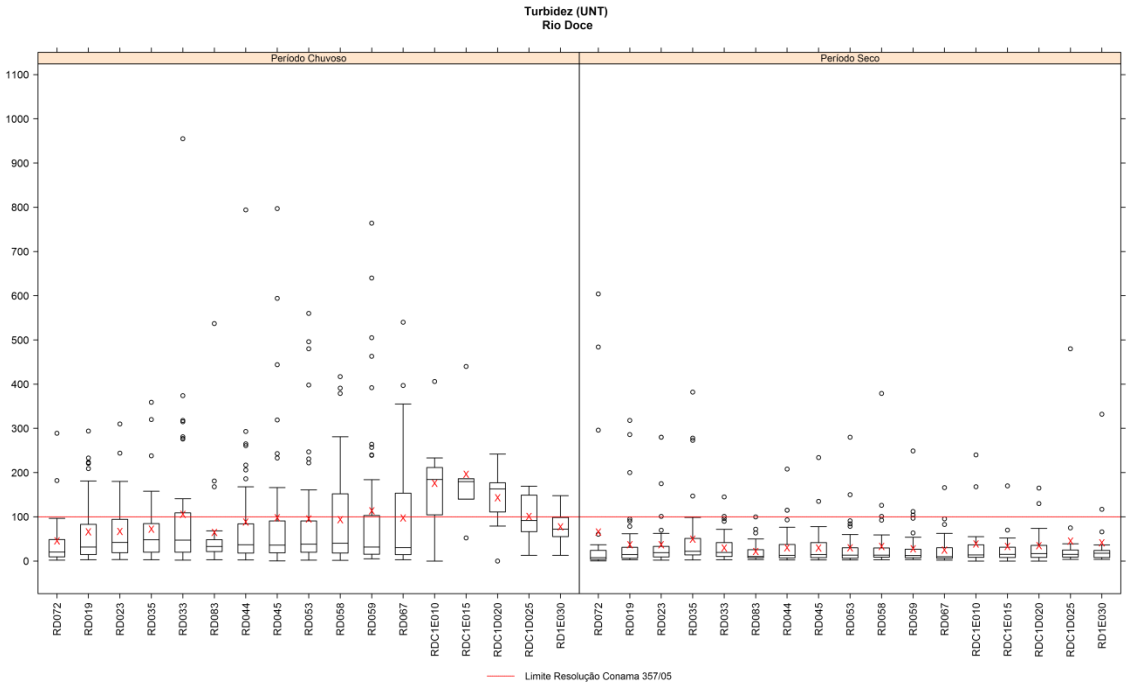
Turbidez

	Turbidez (UNT) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	1	56	12	604
RD019	92	3	51	23	318
RD023	92	2	52	23	310
RD035	85	3	60	28	382
RD033	92	2	67	25	955
RD083	49	3	42	22	537
RD044	83	2	58	24	794
RD045	92	1	63	21	797
RD053	91	2	62	22	560
RD058	83	2	62	22	417
RD059	92	3	70	19	764
RD067	90	2	60	20	540
RDC1E010	27	0	79	24	406
RDC1E015	19	0	84	31	440
RDC1D020	27	0	67	33	242
RDC1D025	25	4	61	20	480
RDC1E030	25	4	51	22	332

	Turbidez (UNT) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	1	66	8	604
RD019	47	3	37	15	318
RD023	47	2	37	19	280
RD035	44	3	50	22	382
RD033	47	3	29	20	145
RD083	26	3	22	10	100
RD044	43	3	30	13	208
RD045	47	3	29	15	234
RD053	47	2	30	13	280
RD058	43	3	33	14	379
RD059	47	3	28	13	249
RD067	46	2	25	10	166
RDC1E010	19	0	38	14	240
RDC1E015	13	0	33	15	170
RDC1D020	19	0	35	17	165
RDC1D025	18	4	45	15	480
RDC1E030	18	4	41	18	332

	Turbidez (UNT) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	2	46	21	289
RD019	45	3	66	32	294
RD023	45	3	67	42	310
RD035	41	3	72	48	359
RD033	45	2	105	47	955
RD083	23	3	65	33	537
RD044	40	2	88	37	794
RD045	45	1	98	36	797
RD053	44	2	95	38	560
RD058	40	2	93	40	417
RD059	45	5	113	32	764
RD067	44	3	97	30	540
RDC1E010	8	0	176	185	406
RDC1E015	6	52	196	180	440
RDC1D020	8	0	143	163	242
RDC1D025	7	13	101	92	169
RDC1E030	7	13	77	72	148



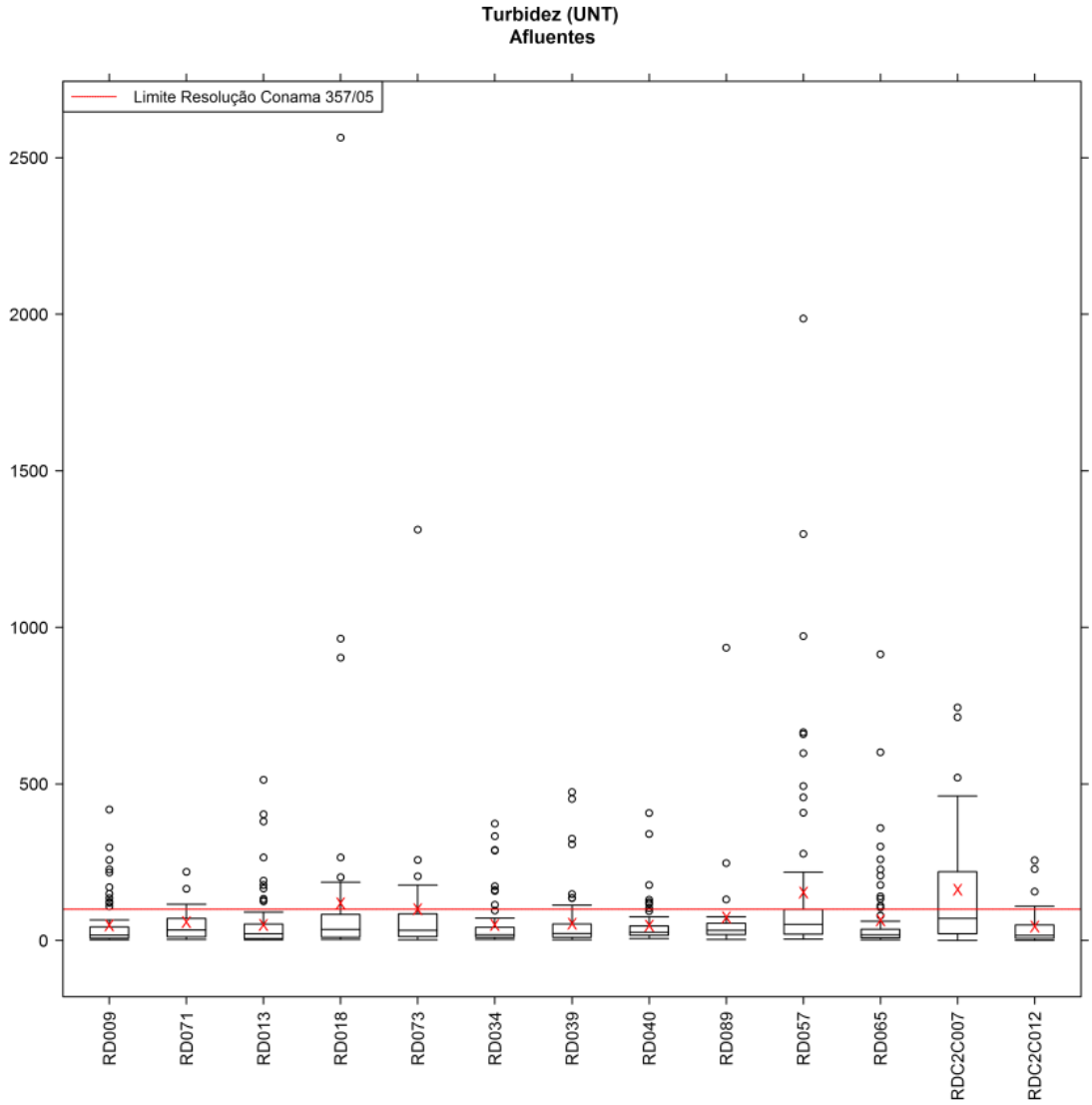


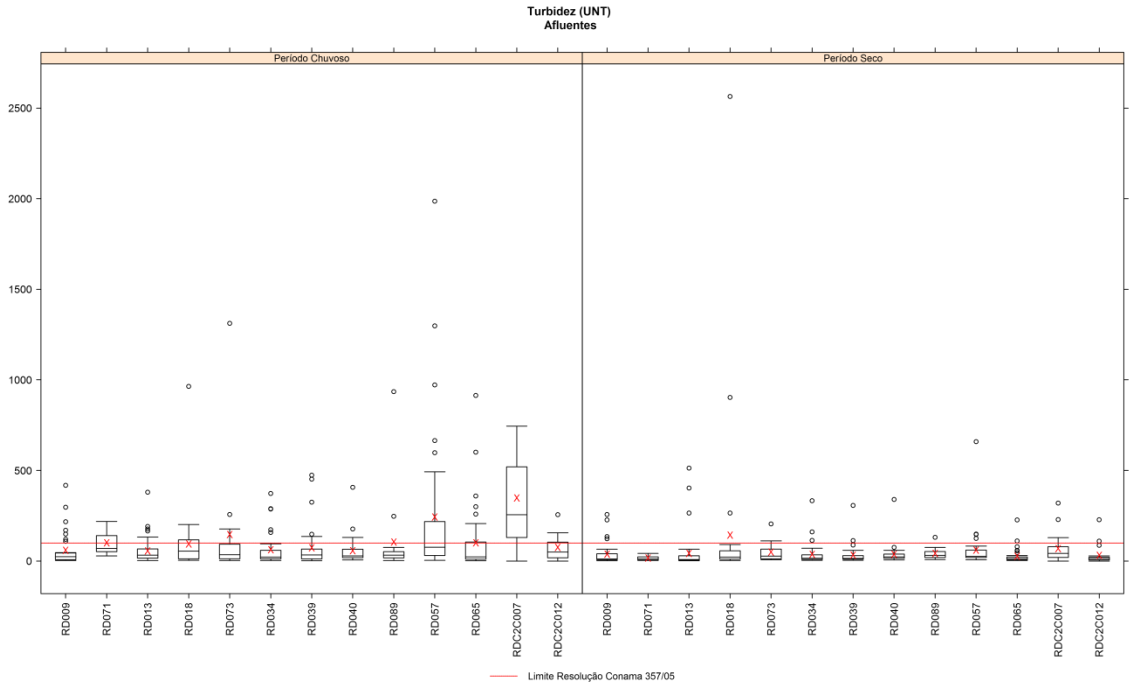
	Turbidez (UNT) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	2	49	17	418
RD071	14	3	58	34	219
RD013	89	2	49	21	513
RD018	64	3	119	35	2.564
RD073	29	3	99	32	1.312
RD034	64	3	49	18	373
RD039	73	2	53	22	474
RD040	64	6	47	26	407

	Turbidez (UNT) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD089	30	3	74	32	935
RD057	73	4	153	51	1.986
RD065	73	2	64	18	914
RDC2C007	27	0	162	70	744
RDC2C012	27	0	45	16	256

	Turbidez (UNT) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	2	38	12	257
RD071	7	3	16	12	42
RD013	44	2	43	9	513
RD018	32	3	143	22	2564
RD073	14	7	49	27	205
RD034	32	3	37	16	333
RD039	36	4	32	15	307
RD040	32	7	37	24	340
RD089	15	8	42	32	131
RD057	36	8	60	26	659
RD065	36	3	26	14	227
RDC2C007	18	0	69	43	320
RDC2C012	19	0	32	13	228

	Turbidez (UNT) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	3	59	24	418
RD071	7	28	100	70	219
RD013	45	3	56	33	380
RD018	32	4	94	55	964
RD073	15	3	146	35	1312
RD034	32	3	62	22	373
RD039	37	2	73	33	474
RD040	32	6	57	29	407
RD089	15	3	105	33	935
RD057	37	4	243	76	1986
RD065	37	2	100	23	914
RDC2C007	9	0	349	256	744
RDC2C012	8	0	75	50	256


Turbidez (UNT)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
2500
2000
1500
1000
500
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012


Turbidez (UNT)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
2500
2000
1500
1000
500
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012
Limite Resolução Conama 357/05

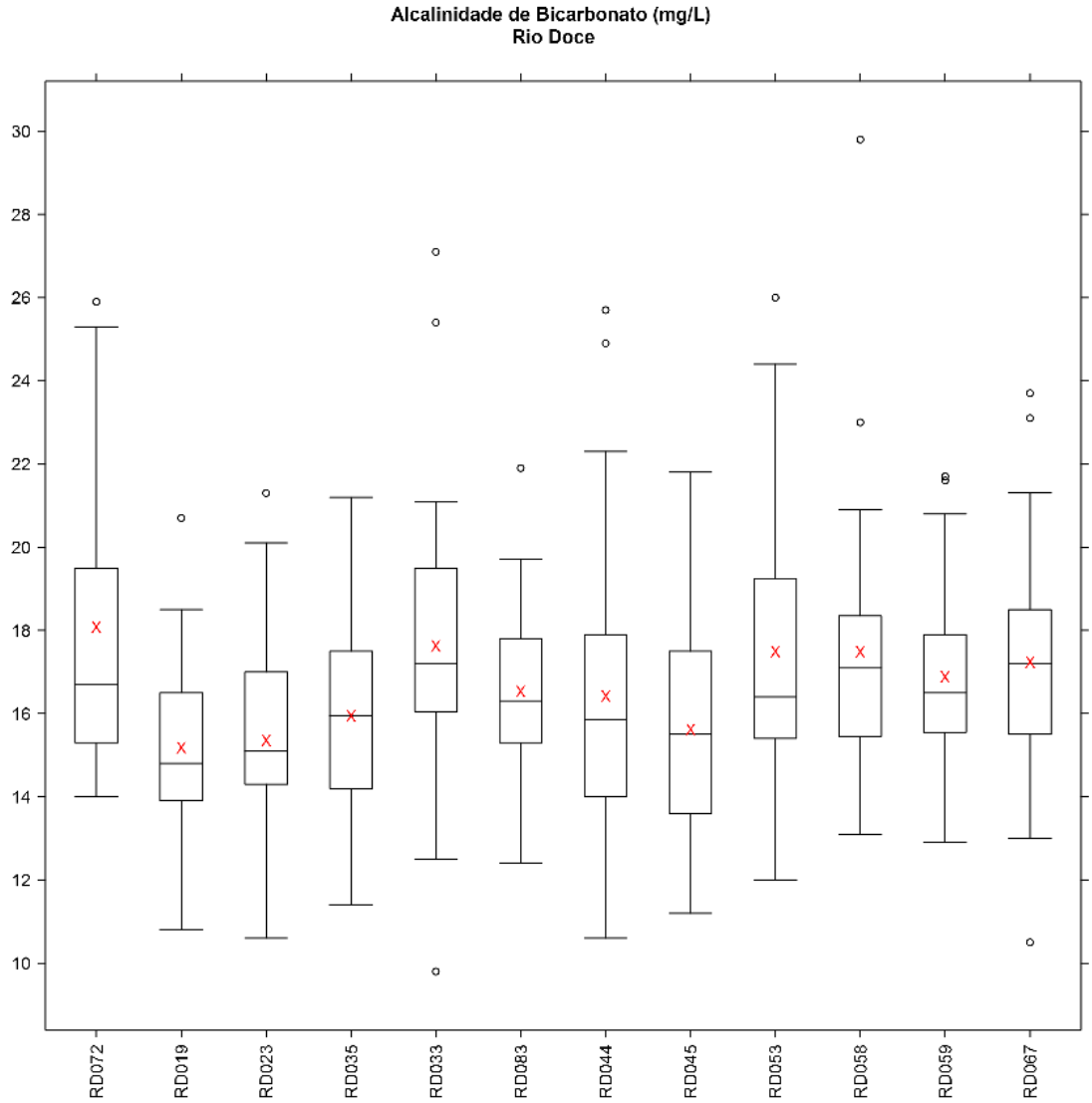
Resultados das variáveis químicas da água (exceto metais e semimetais)

Alcalinidade de Bicarbonato

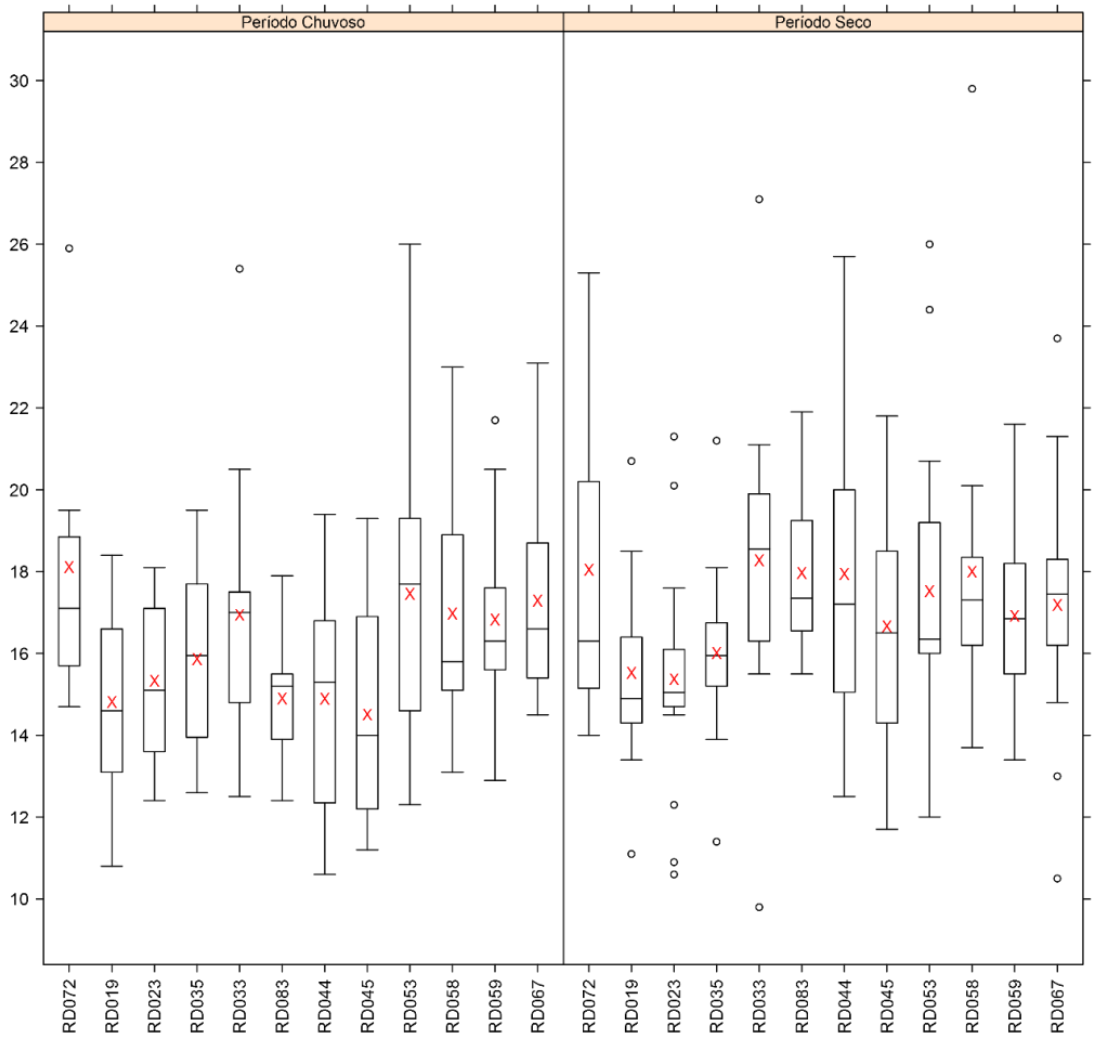
	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	14,0	18,1	16,7	25,9
RD019	35	10,8	15,2	14,8	20,7
RD023	35	10,6	15,3	15,1	21,3
RD035	32	11,4	15,9	16,0	21,2
RD033	35	9,8	17,6	17,2	27,1
RD083	15	12,4	16,5	16,3	21,9
RD044	32	10,6	16,4	15,9	25,7
RD045	35	11,2	15,6	15,5	21,8
RD053	35	12,0	17,5	16,4	26,0
RD058	32	13,1	17,5	17,1	29,8
RD059	35	12,9	16,9	16,5	21,7
RD067	35	10,5	17,2	17,2	23,7

	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	14,0	18,0	16,3	25,3
RD019	18	11,1	15,5	14,9	20,7
RD023	18	10,6	15,4	15,1	21,3
RD035	16	11,4	16,0	16,0	21,2
RD033	18	9,8	18,3	18,6	27,1
RD083	8	15,5	18,0	17,4	21,9
RD044	16	12,5	17,9	17,2	25,7
RD045	18	11,7	16,7	16,5	21,8
RD053	18	12,0	17,5	16,4	26,0
RD058	16	13,7	18,0	17,3	29,8
RD059	18	13,4	16,9	16,9	21,6
RD067	18	10,5	17,2	17,5	23,7

	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	14,7	18,1	17,1	25,9
RD019	17	10,8	14,8	14,6	18,4
RD023	17	12,4	15,3	15,1	18,1
RD035	16	12,6	15,9	16,0	19,5
RD033	17	12,5	16,9	17,0	25,4
RD083	7	12,4	14,9	15,2	17,9
RD044	16	10,6	14,9	15,3	19,4
RD045	17	11,2	14,5	14,0	19,3
RD053	17	12,3	17,5	17,7	26,0
RD058	16	13,1	17,0	15,8	23,0
RD059	17	12,9	16,8	16,3	21,7
RD067	17	14,5	17,3	16,6	23,1


Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L)
Rio Doce
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

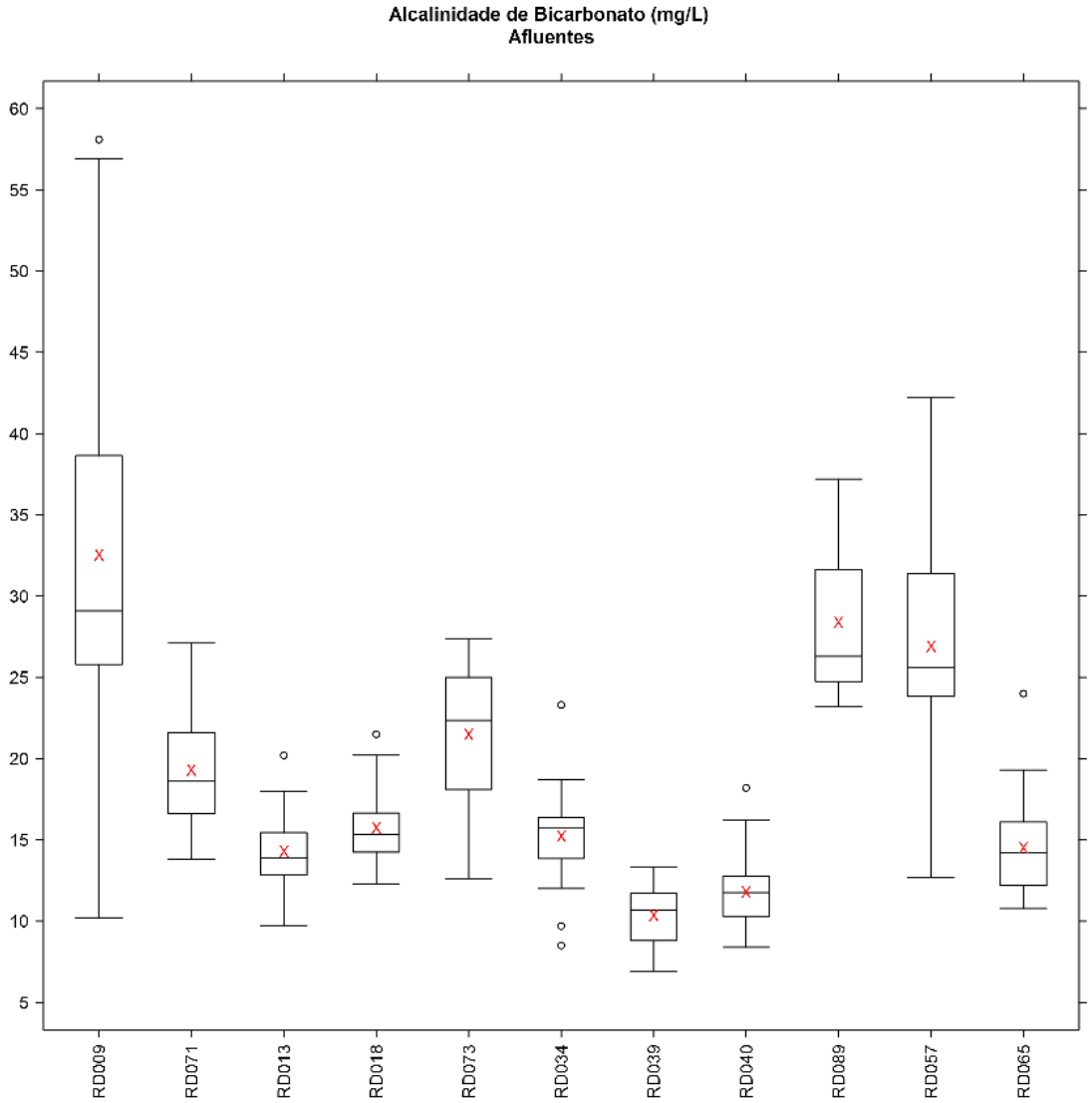
Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L)
Rio Doce



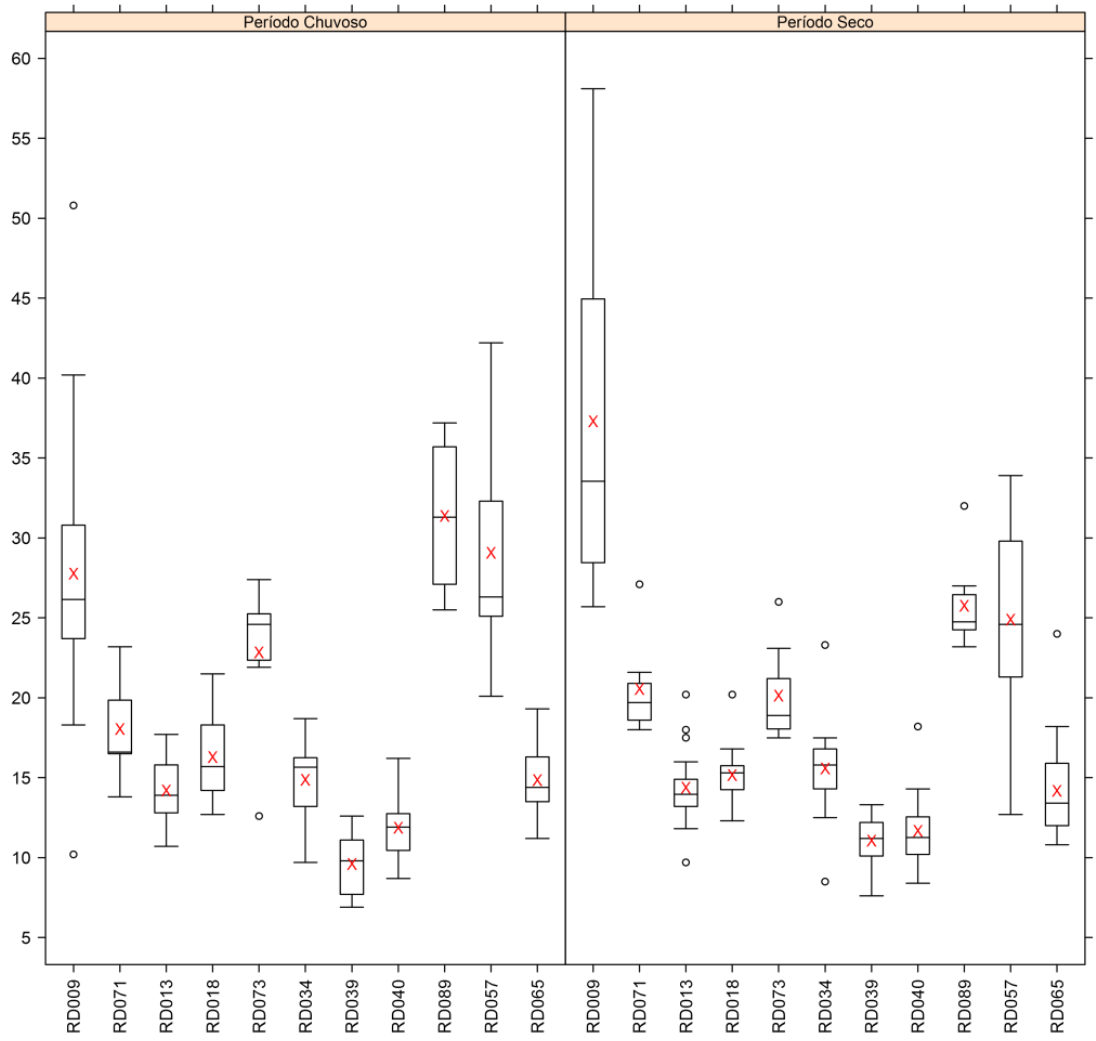
	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	10,2	32,5	29,1	58,1
RD071	14	13,8	19,3	18,6	27,1
RD013	35	9,7	14,3	13,9	20,2
RD018	32	12,3	15,7	15,4	21,5
RD073	14	12,6	21,5	22,4	27,4
RD034	32	8,5	15,2	15,8	23,3
RD039	35	6,9	10,3	10,7	13,3
RD040	32	8,4	11,8	11,8	18,2
RD089	15	23,2	28,4	26,3	37,2
RD057	35	12,7	26,9	25,6	42,2
RD065	35	10,8	14,5	14,2	24,0

	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	25,7	37,3	33,6	58,1
RD071	7	18,0	20,5	19,7	27,1
RD013	18	9,7	14,4	14,0	20,2
RD018	16	12,3	15,2	15,3	20,2
RD073	7	17,5	20,1	18,9	26,0
RD034	16	8,5	15,6	15,8	23,3
RD039	18	7,6	11,1	11,2	13,3
RD040	16	8,4	11,7	11,3	18,2
RD089	8	23,2	25,8	24,8	32,0
RD057	18	12,7	24,9	24,6	33,9
RD065	18	10,8	14,2	13,4	24,0

	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	10,2	27,8	26,2	50,8
RD071	7	13,8	18,0	16,6	23,2
RD013	17	10,7	14,2	13,9	17,7
RD018	16	12,7	16,3	15,7	21,5
RD073	7	12,6	22,8	24,6	27,4
RD034	16	9,7	14,9	15,7	18,7
RD039	17	6,9	9,6	9,8	12,6
RD040	16	8,7	11,9	11,9	16,2
RD089	7	25,5	31,4	31,3	37,2
RD057	17	20,1	29,1	26,3	42,2
RD065	17	11,2	14,8	14,4	19,3


Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L)
Afluentes
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L)
Afluentes

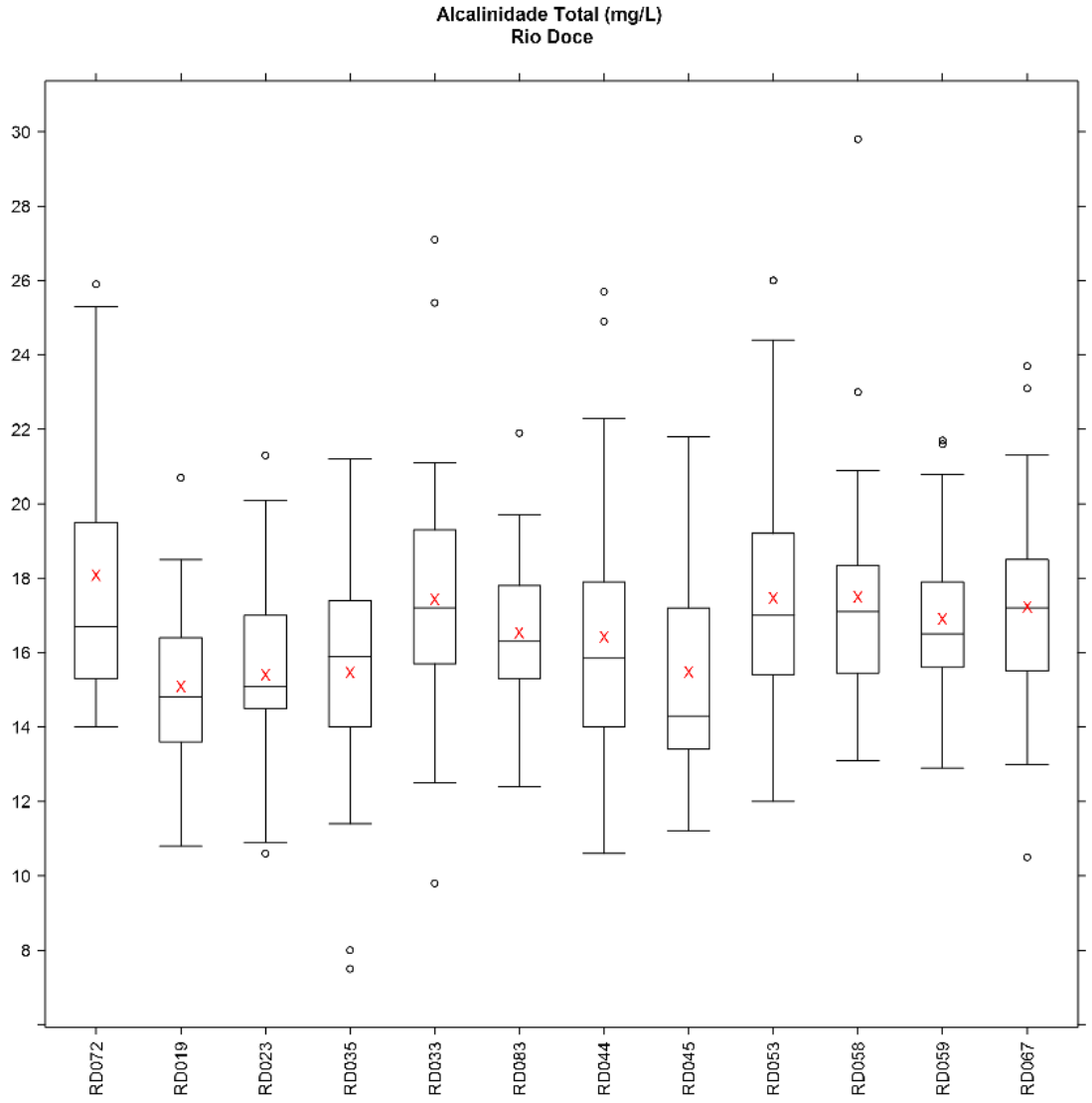


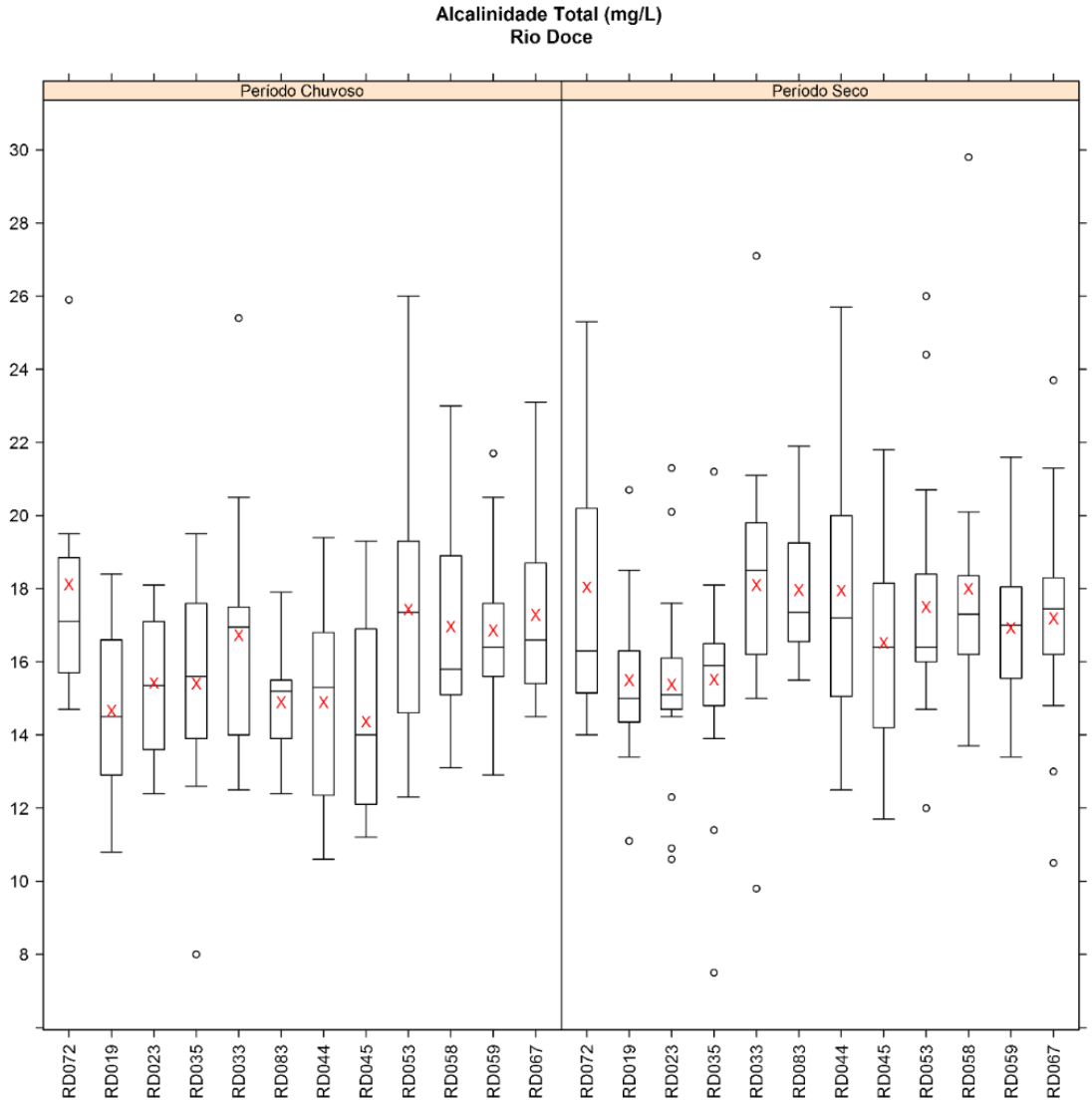
Alcalinidade Total

	Alcalinidade Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	14,0	18,1	16,7	25,9
RD019	37	10,8	15,1	14,8	20,7
RD023	37	10,6	15,4	15,1	21,3
RD035	34	7,5	15,5	15,9	21,2
RD033	37	9,8	17,4	17,2	27,1
RD083	15	12,4	16,5	16,3	21,9
RD044	32	10,6	16,4	15,9	25,7
RD045	37	11,2	15,5	14,3	21,8
RD053	37	12,0	17,5	17,0	26,0
RD058	32	13,1	17,5	17,1	29,8
RD059	37	12,9	16,9	16,5	21,7
RD067	35	10,5	17,2	17,2	23,7

	Alcalinidade Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	14,0	18,0	16,3	25,3
RD019	19	11,1	15,5	15,0	20,7
RD023	19	10,6	15,4	15,1	21,3
RD035	17	7,5	15,5	15,9	21,2
RD033	19	9,8	18,1	18,5	27,1
RD083	8	15,5	18,0	17,4	21,9
RD044	16	12,5	17,9	17,2	25,7
RD045	19	11,7	16,5	16,4	21,8
RD053	19	12,0	17,5	16,4	26,0
RD058	16	13,7	18,0	17,3	29,8
RD059	19	13,4	16,9	17,0	21,6
RD067	18	10,5	17,2	17,5	23,7

	Alcalinidade Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	14,7	18,1	17,1	25,9
RD019	18	10,8	14,7	14,5	18,4
RD023	18	12,4	15,4	15,4	18,1
RD035	17	8,0	15,4	15,6	19,5
RD033	18	12,5	16,7	17,0	25,4
RD083	7	12,4	14,9	15,2	17,9
RD044	16	10,6	14,9	15,3	19,4
RD045	18	11,2	14,4	14,0	19,3
RD053	18	12,3	17,4	17,4	26,0
RD058	16	13,1	17,0	15,8	23,0
RD059	18	12,9	16,9	16,4	21,7
RD067	17	14,5	17,3	16,6	23,1


Alcalinidade Total (mg/L)
Rio Doce
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

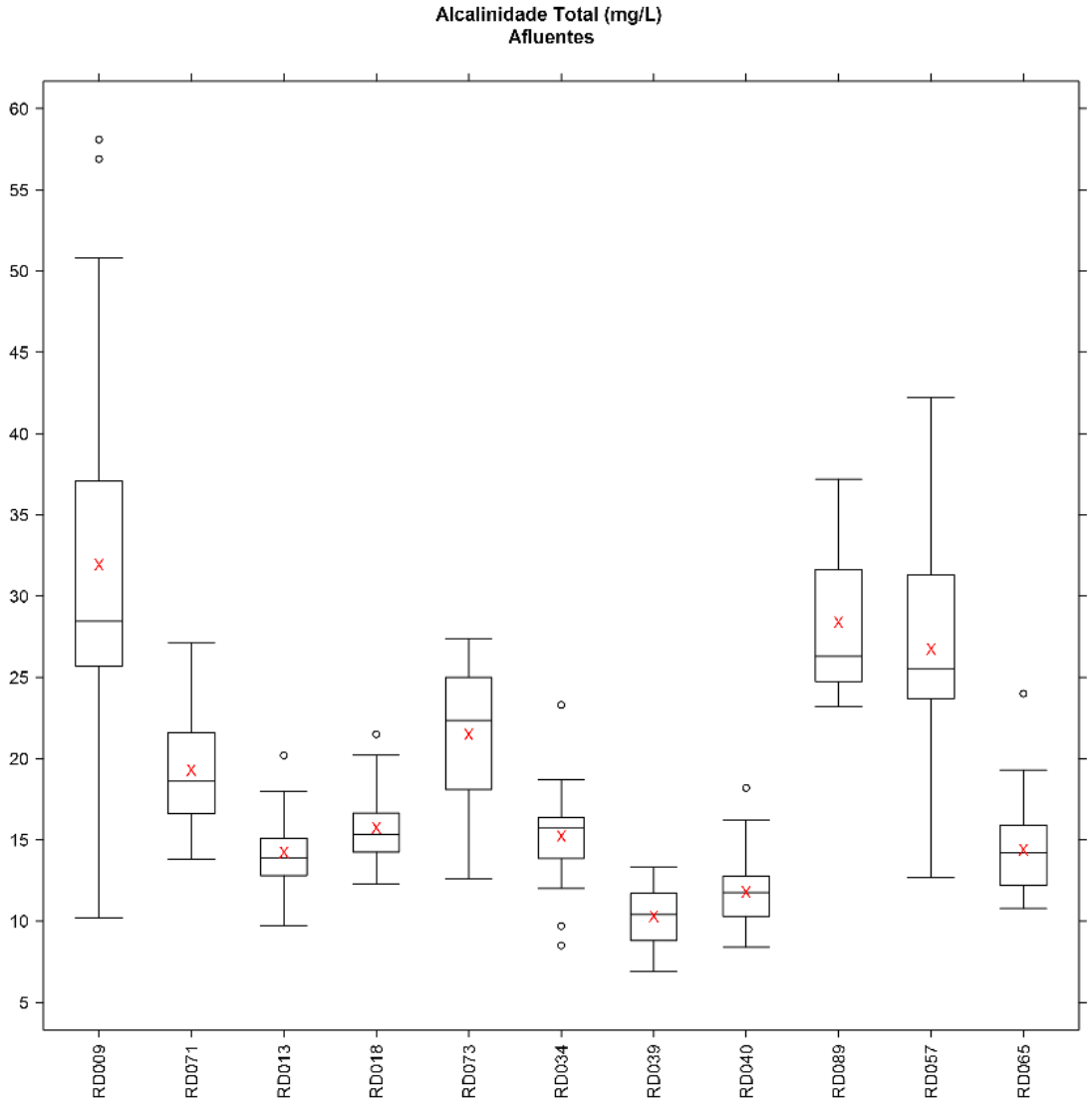

Alcalinidade Total (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

,

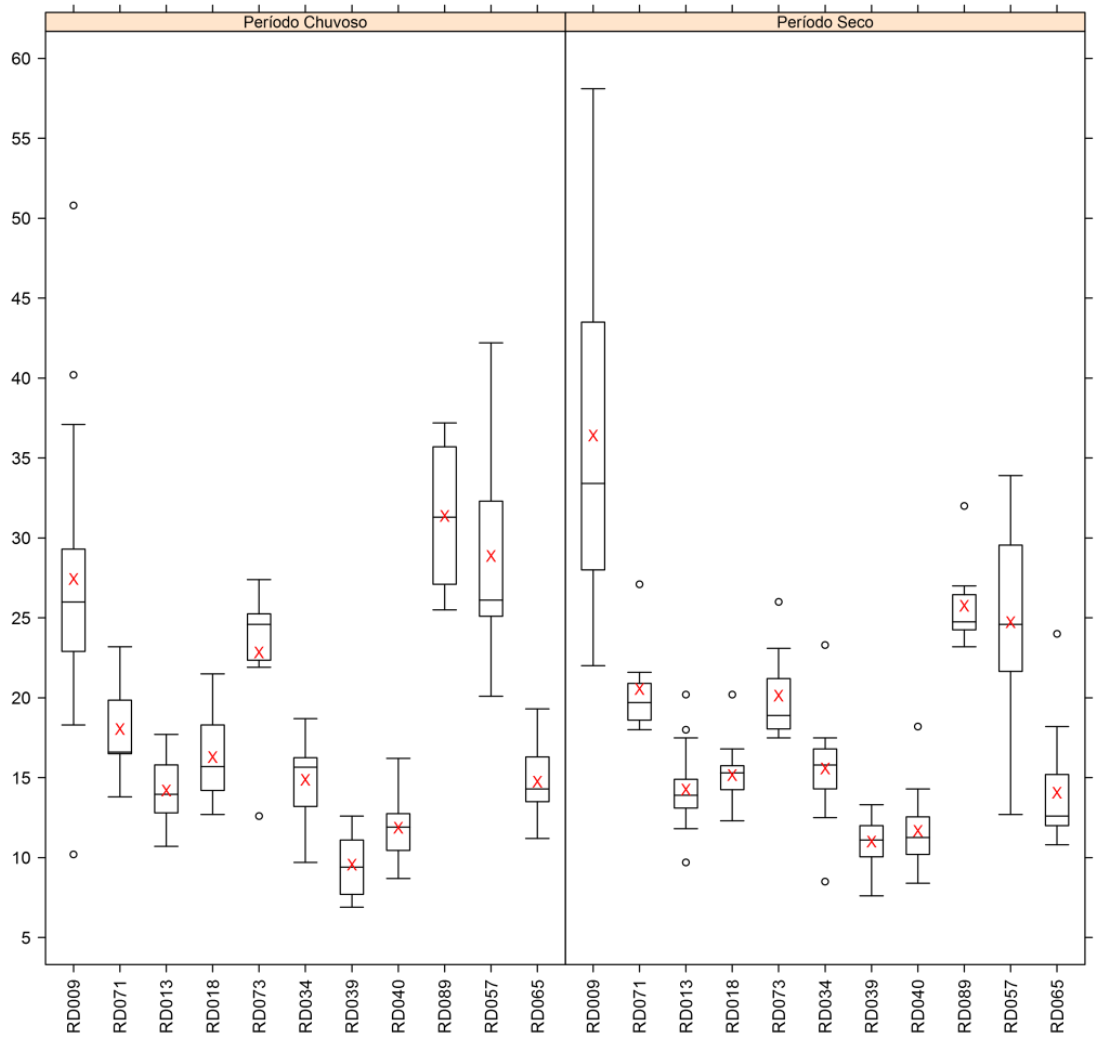
	Alcalinidade Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	34	10,2	31,9	28,5	58,1
RD071	14	13,8	19,3	18,6	27,1
RD013	37	9,7	14,2	13,9	20,2
RD018	32	12,3	15,7	15,4	21,5
RD073	14	12,6	21,5	22,4	27,4
RD034	32	8,5	15,2	15,8	23,3
RD039	37	6,9	10,3	10,4	13,3
RD040	32	8,4	11,8	11,8	18,2
RD089	15	23,2	28,4	26,3	37,2
RD057	37	12,7	26,7	25,5	42,2
RD065	37	10,8	14,4	14,2	24,0

	Alcalinidade Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	22,0	36,4	33,4	58,1
RD071	7	18,0	20,5	19,7	27,1
RD013	19	9,7	14,3	13,9	20,2
RD018	16	12,3	15,2	15,3	20,2
RD073	7	17,5	20,1	18,9	26,0
RD034	16	8,5	15,6	15,8	23,3
RD039	19	7,6	11,0	11,1	13,3
RD040	16	8,4	11,7	11,3	18,2
RD089	8	23,2	25,8	24,8	32,0
RD057	19	12,7	24,7	24,6	33,9
RD065	19	10,8	14,1	12,6	24,0

	Alcalinidade Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	10,2	27,4	26,0	50,8
RD071	7	13,8	18,0	16,6	23,2
RD013	18	10,7	14,2	14,0	17,7
RD018	16	12,7	16,3	15,7	21,5
RD073	7	12,6	22,8	24,6	27,4
RD034	16	9,7	14,9	15,7	18,7
RD039	18	6,9	9,6	9,4	12,6
RD040	16	8,7	11,9	11,9	16,2
RD089	7	25,5	31,4	31,3	37,2
RD057	18	20,1	28,9	26,1	42,2
RD065	18	11,2	14,7	14,3	19,3


Alcalinidade Total (mg/L)
Afluentes
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Alcalinidade Total (mg/L)
Afluentes

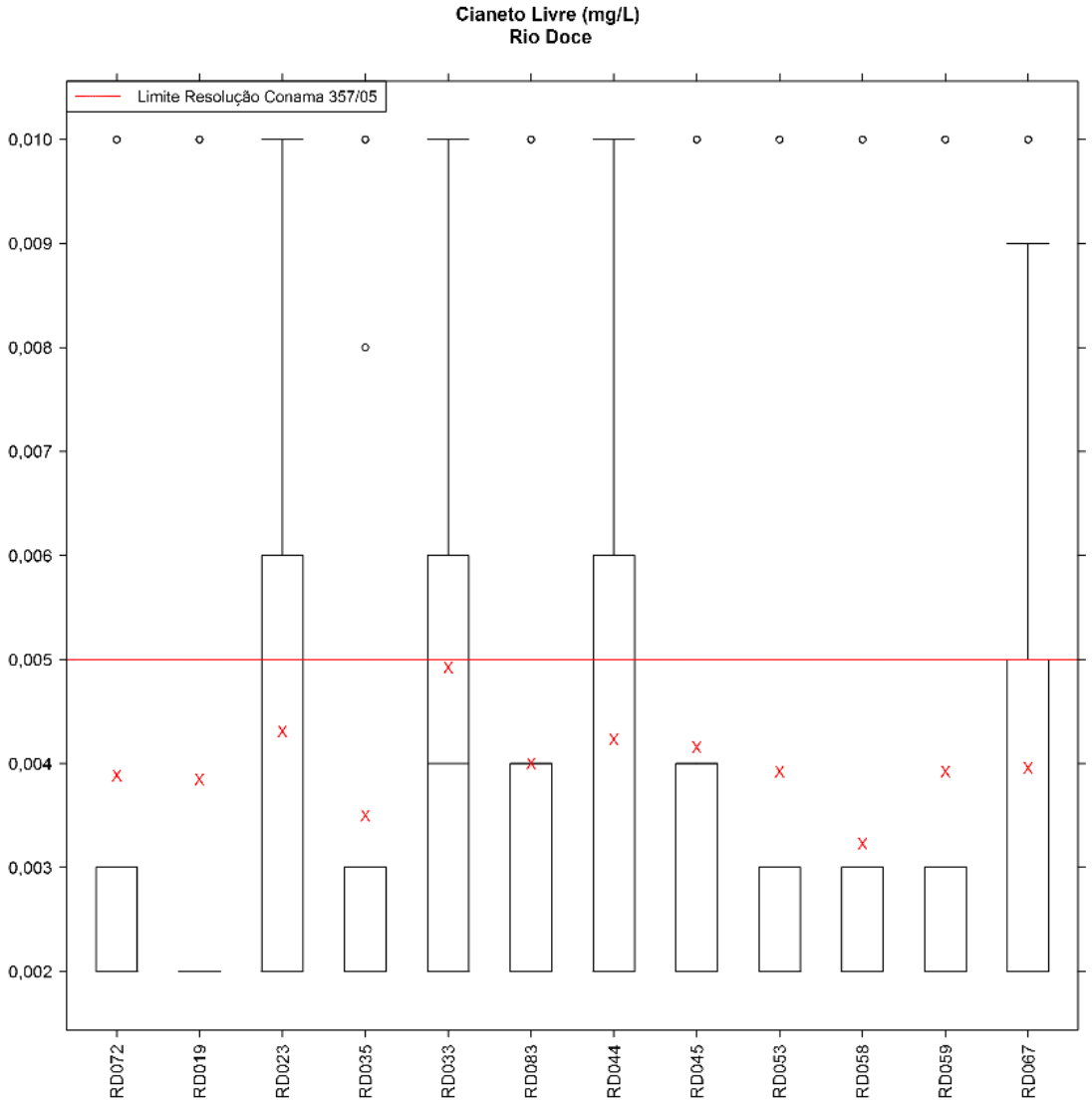


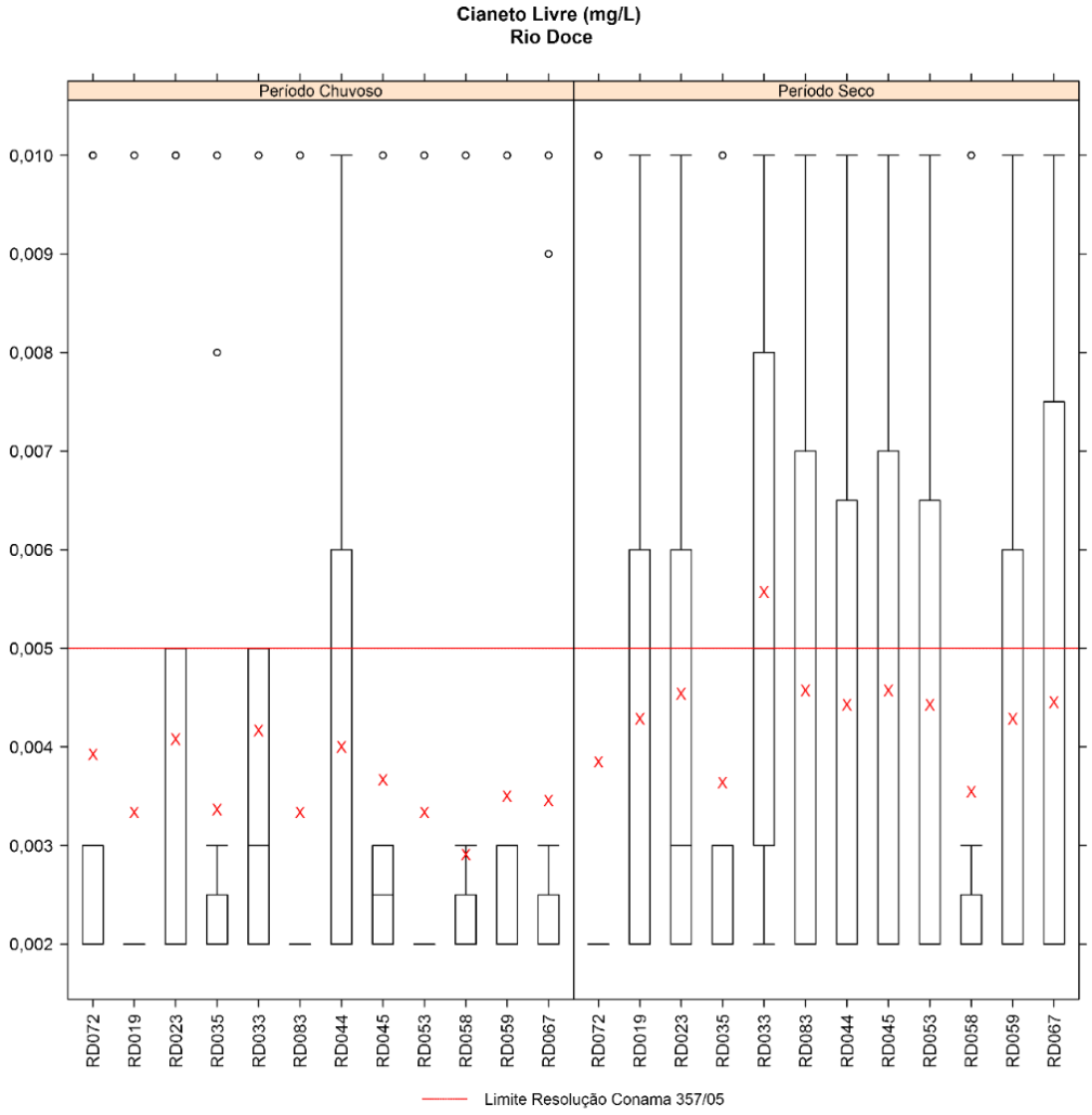
Cianeto Livre

	Cianeto Livre (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	26	0,002	0,004	0,002	0,010
RD019	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD023	26	0,002	0,004	0,002	0,010
RD035	22	0,002	0,004	0,002	0,010
RD033	13	0,002	0,005	0,004	0,010
RD083	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD044	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD045	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD053	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD058	22	0,002	0,003	0,002	0,010
RD059	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD067	22	0,002	0,004	0,002	0,010

	Cianeto Livre (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD019	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD023	13	0,002	0,005	0,003	0,010
RD035	11	0,002	0,004	0,002	0,010
RD033	7	0,002	0,006	0,005	0,010
RD083	7	0,002	0,005	0,002	0,010
RD044	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD045	7	0,002	0,005	0,002	0,010
RD053	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD058	11	0,002	0,004	0,002	0,010
RD059	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD067	11	0,002	0,004	0,002	0,010

	Cianeto Livre (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD019	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD023	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD035	11	0,002	0,003	0,002	0,010
RD033	6	0,002	0,004	0,003	0,010
RD083	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD044	6	0,002	0,004	0,002	0,010
RD045	6	0,002	0,004	0,003	0,010
RD053	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD058	11	0,002	0,003	0,002	0,010
RD059	6	0,002	0,004	0,002	0,010
RD067	11	0,002	0,003	0,002	0,010

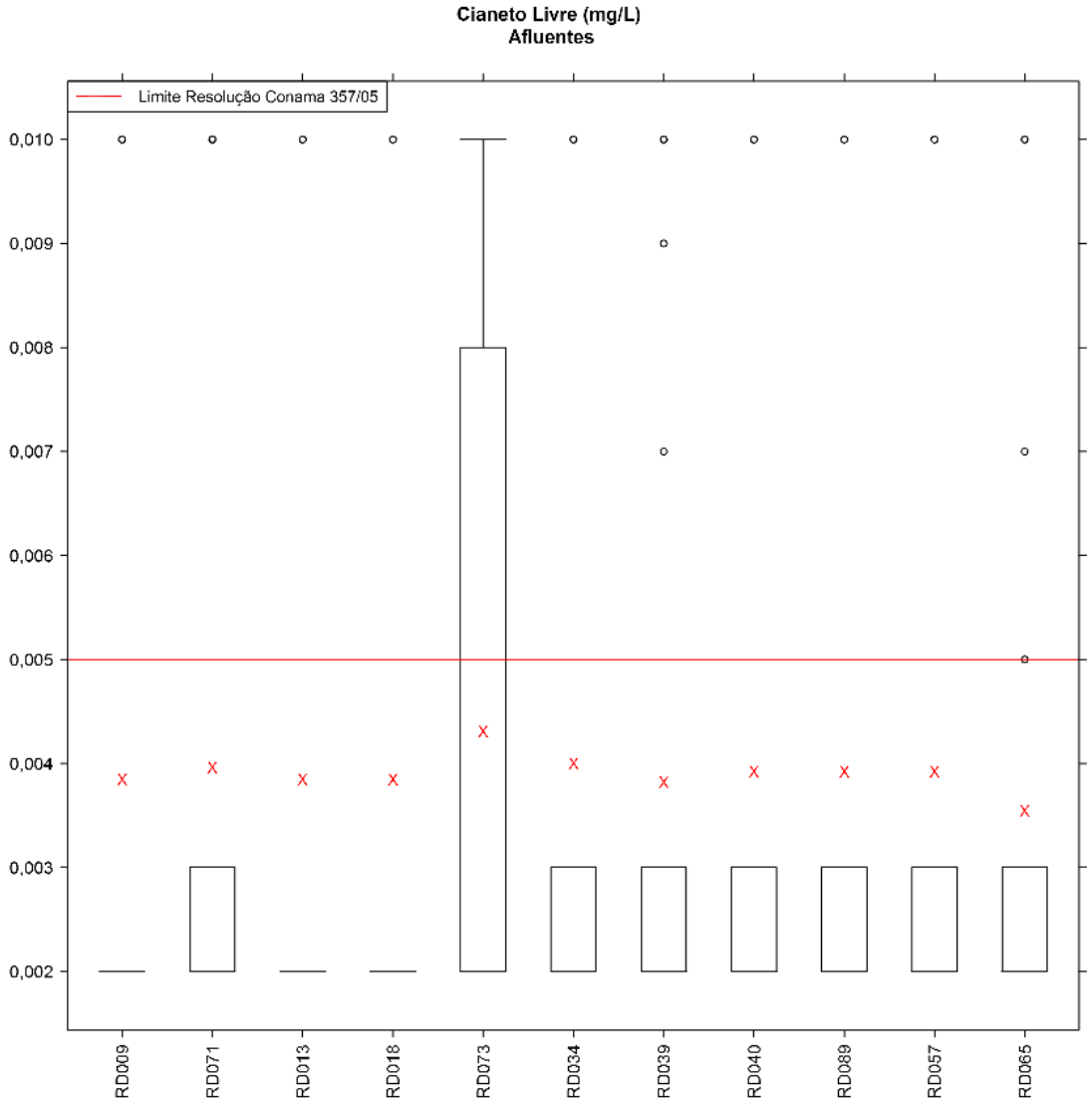

Cianeto Livre (mg/L)
Rio Doce
Limite Resolução Conama 357/05
0,010
0,009
0,008
0,007
0,006
0,005
0,004
0,003
0,002
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067


Cianeto Livre (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
0,010
0,009
0,008
0,007
0,006
0,005
0,004
0,003
0,002
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
Limite Resolução Conama 357/05

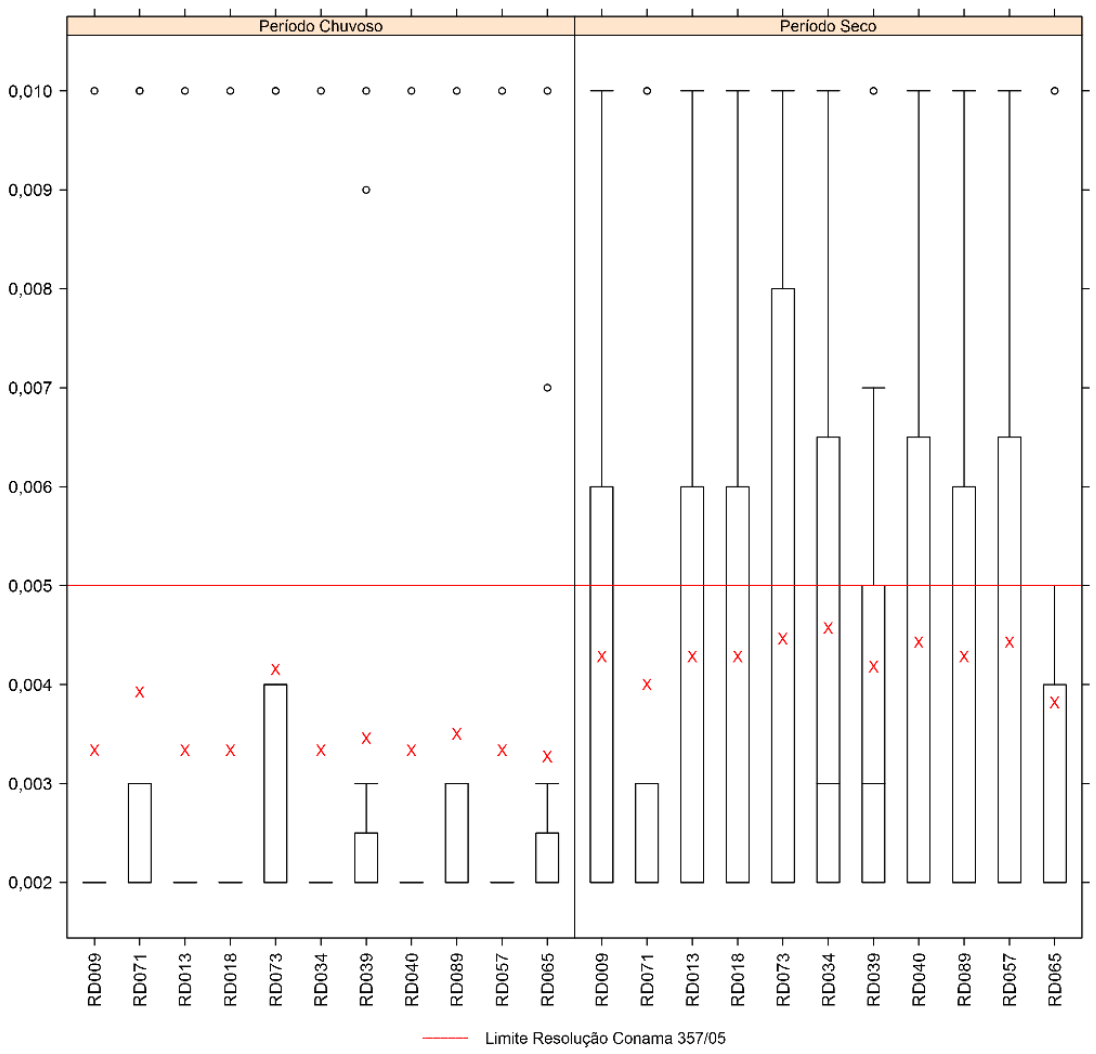
	Cianeto Livre (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD071	26	0,002	0,004	0,002	0,010
RD013	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD018	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD073	26	0,002	0,004	0,002	0,010
RD034	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD039	22	0,002	0,004	0,002	0,010
RD040	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD089	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD057	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD065	22	0,002	0,004	0,002	0,010

	Cianeto Livre (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD071	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD013	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD018	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD073	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD034	7	0,002	0,005	0,003	0,010
RD039	11	0,002	0,004	0,003	0,010
RD040	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD089	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD057	7	0,002	0,004	0,002	0,010
RD065	11	0,002	0,004	0,002	0,010

	Cianeto Livre (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD071	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD013	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD018	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD073	13	0,002	0,004	0,002	0,010
RD034	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD039	11	0,002	0,003	0,002	0,010
RD040	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD089	6	0,002	0,004	0,002	0,010
RD057	6	0,002	0,003	0,002	0,010
RD065	11	0,002	0,003	0,002	0,010


Cianeto Livre (mg/L)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
0,010
0,009
0,008
0,007
0,006
0,005
0,004
0,003
0,002
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Cianeto Livre (mg/L)
Afluentes



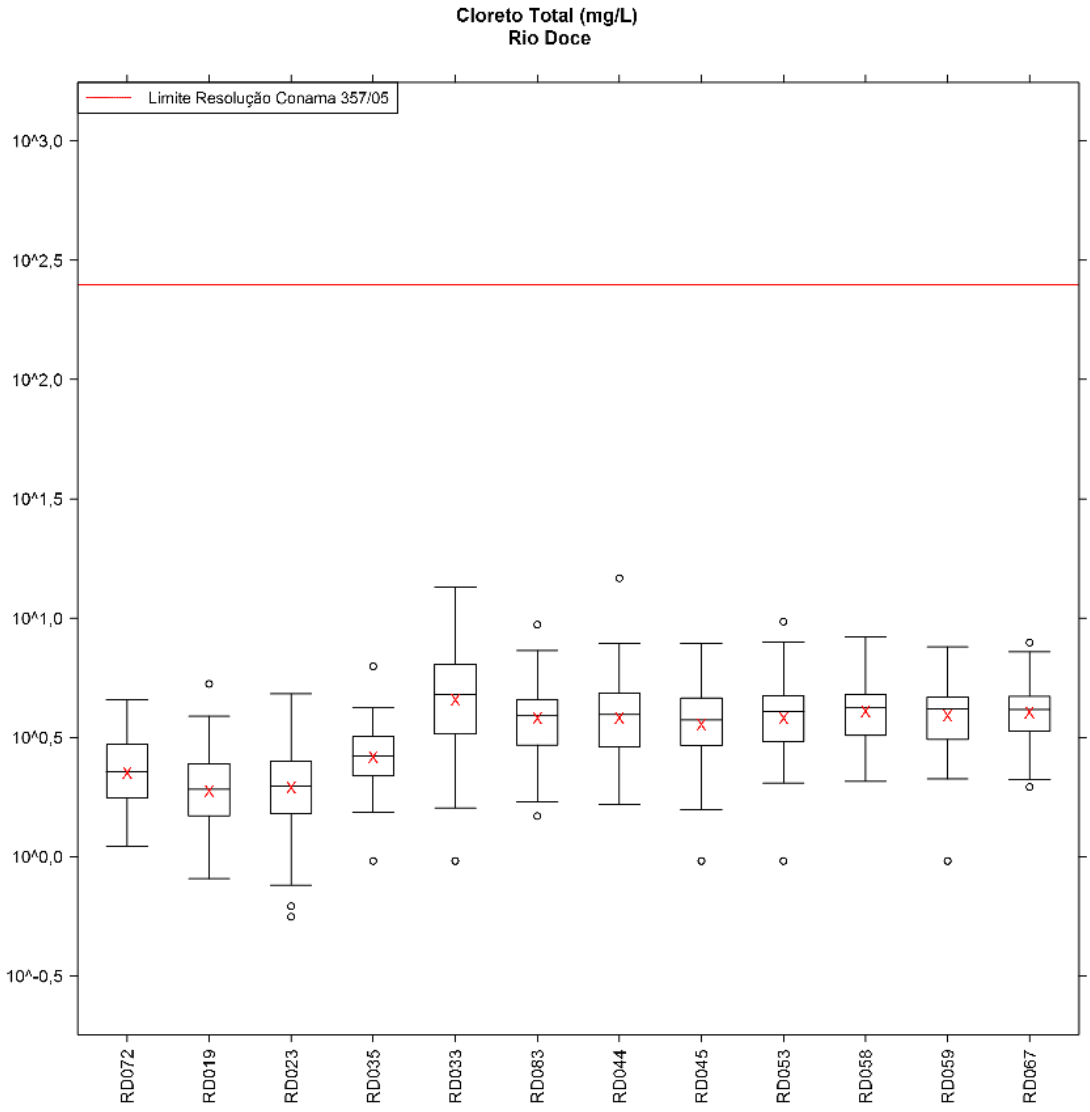
Cloreto Total

	Cloreto Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	1,1	2,4	2,3	4,6
RD019	92	0,8	2,0	1,9	5,3
RD023	92	0,6	2,1	2,0	4,8
RD035	85	1,0	2,7	2,6	6,3
RD033	92	1,0	5,1	4,8	13,5
RD083	49	1,5	4,1	3,9	9,4
RD044	83	1,7	4,1	3,9	14,7
RD045	92	1,0	3,8	3,7	7,8
RD053	91	1,0	4,0	4,1	9,7
RD058	83	2,1	4,3	4,2	8,3
RD059	92	1,0	4,1	4,2	7,6
RD067	90	2,0	4,2	4,1	7,9

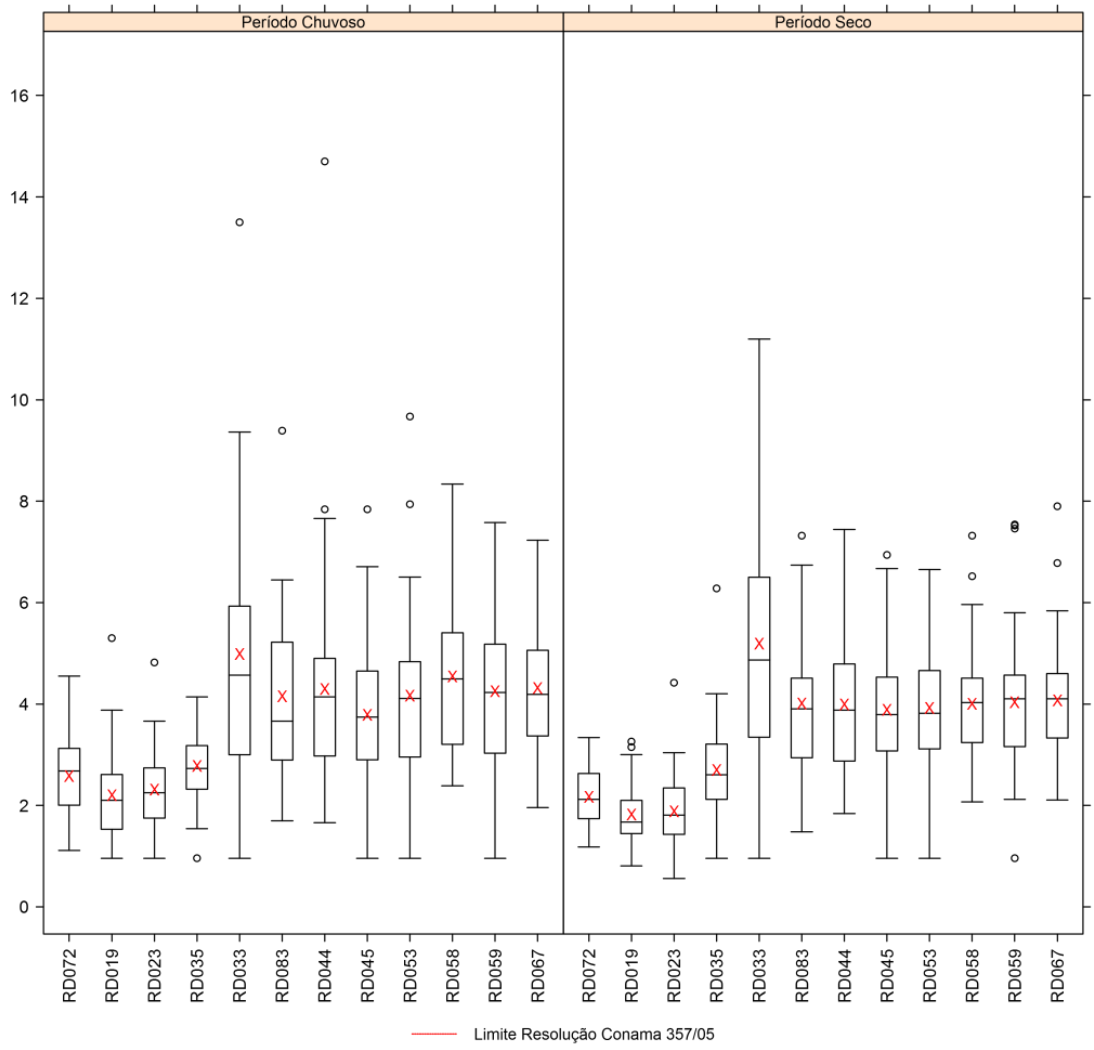
	Cloreto Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	1,2	2,2	2,1	3,3
RD019	47	0,8	1,8	1,7	3,3
RD023	47	0,6	1,9	1,8	4,4
RD035	44	1,0	2,7	2,6	6,3
RD033	47	1,0	5,2	4,9	11,2
RD083	26	1,5	4,0	3,9	7,3
RD044	43	1,8	4,0	3,9	7,4
RD045	47	1,0	3,9	3,8	6,9
RD053	47	1,0	3,9	3,8	6,7
RD058	43	2,1	4,0	4,0	7,3
RD059	47	1,0	4,0	4,1	7,5
RD067	46	2,1	4,1	4,1	7,9

	Cloreto Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	1,1	2,6	2,7	4,6
RD019	45	1,0	2,2	2,1	5,3
RD023	45	1,0	2,3	2,3	4,8
RD035	41	1,0	2,8	2,7	4,1
RD033	45	1,0	5,0	4,6	13,5
RD083	23	1,7	4,2	3,7	9,4
RD044	40	1,7	4,3	4,1	14,7

	Cloreto Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	45	1,0	3,8	3,7	7,8
RD053	44	1,0	4,2	4,1	9,7
RD058	40	2,4	4,5	4,5	8,3
RD059	45	1,0	4,3	4,2	7,6
RD067	44	2,0	4,3	4,2	7,2



Cloreto Total (mg/L)
Rio Doce

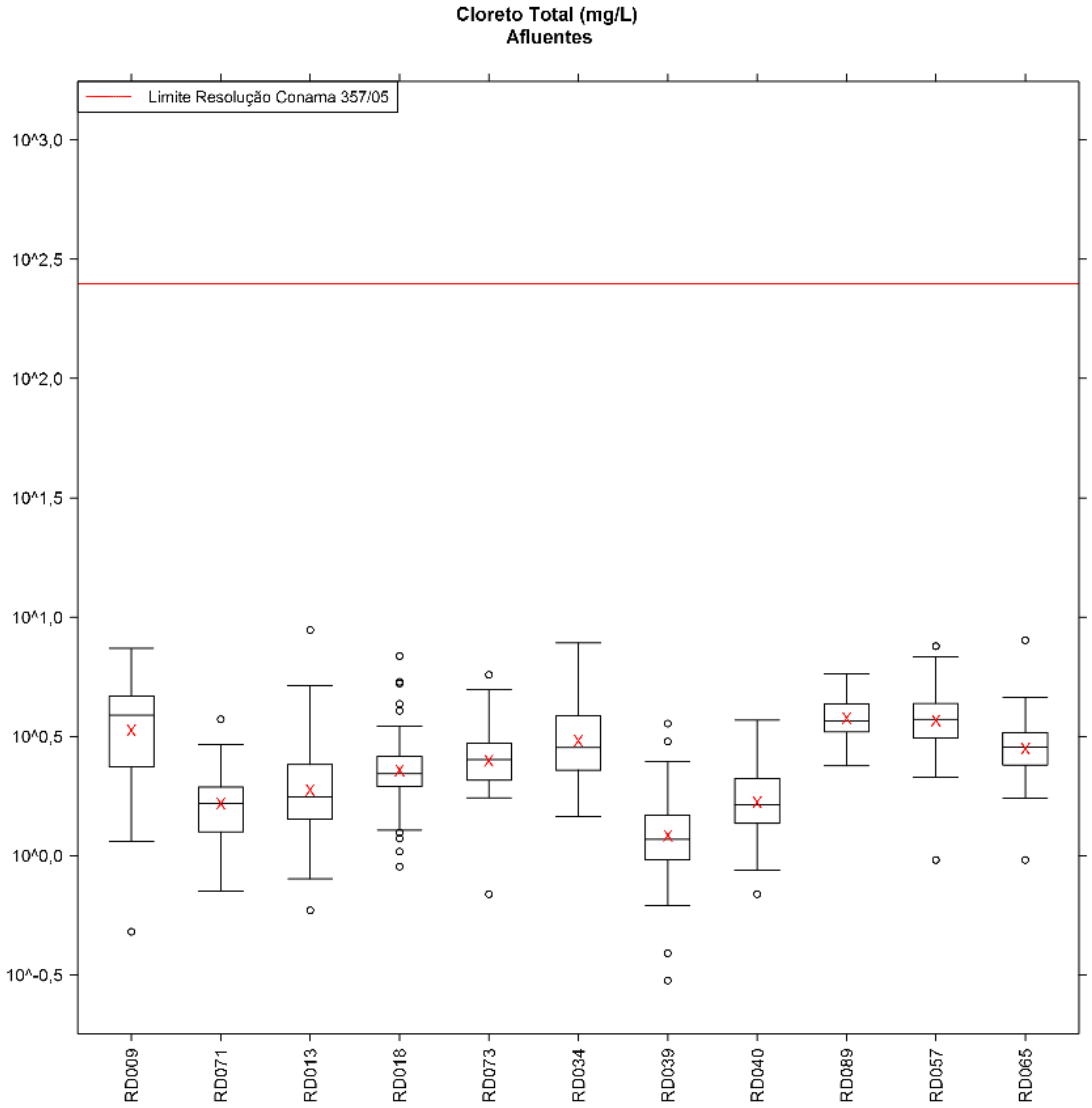


	Cloreto Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	0,5	3,8	3,9	7,4
RD071	29	0,7	1,8	1,7	3,7
RD013	89	0,6	2,1	1,8	8,8
RD018	64	0,9	2,4	2,2	6,9
RD073	29	0,7	2,7	2,5	5,7
RD034	64	1,5	3,3	2,8	7,8
RD039	73	0,3	1,3	1,2	3,6
RD040	64	0,7	1,8	1,6	3,7
RD089	30	2,4	3,9	3,7	5,8
RD057	73	1,0	3,9	3,7	7,6
RD065	73	1,0	2,9	2,9	8,0

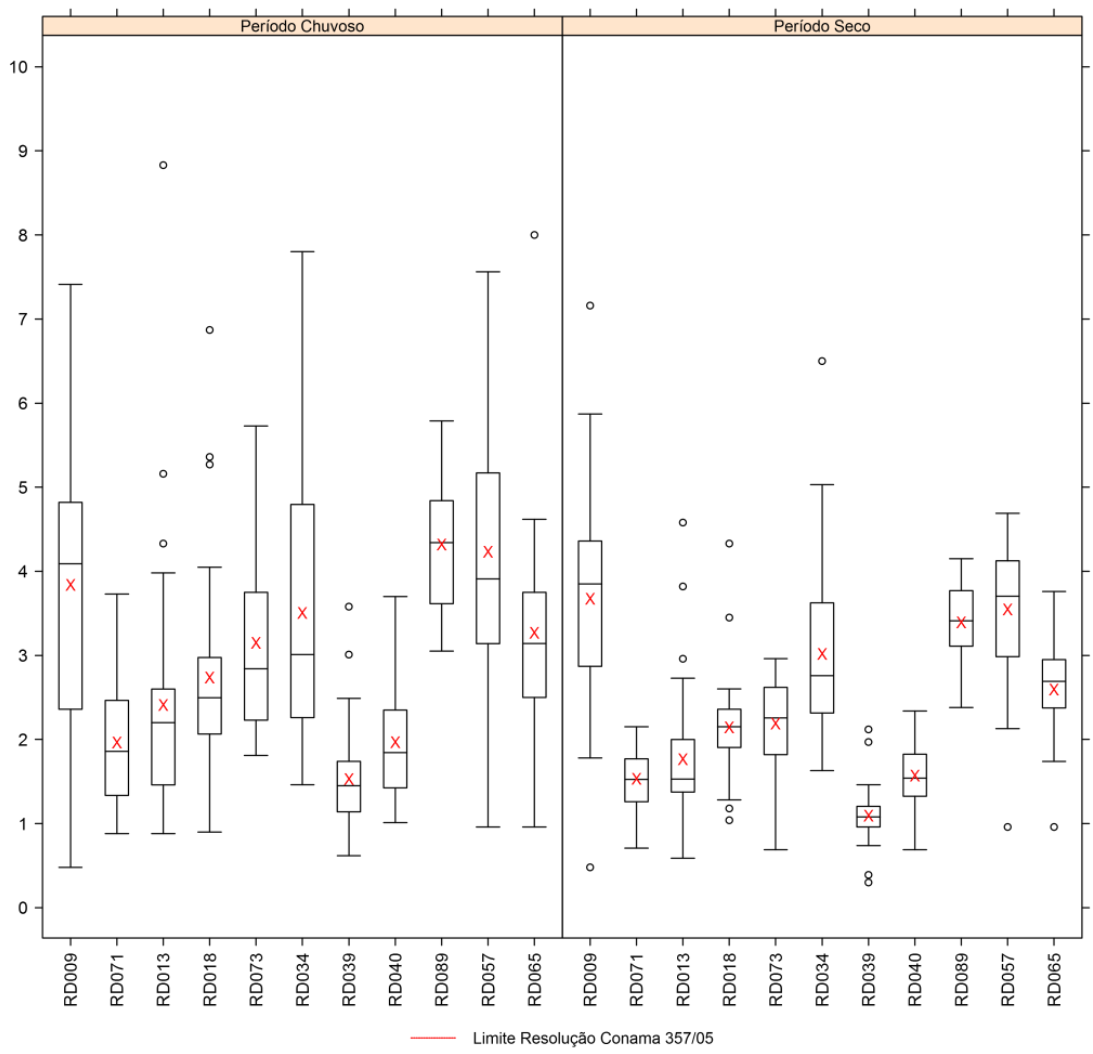
	Cloreto Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,5	3,7	3,9	7,2
RD071	14	0,7	1,5	1,5	2,2
RD013	44	0,6	1,8	1,5	4,6
RD018	32	1,0	2,1	2,2	4,3
RD073	14	0,7	2,2	2,3	3,0
RD034	32	1,6	3,0	2,8	6,5
RD039	36	0,3	1,1	1,1	2,1
RD040	32	0,7	1,6	1,5	2,3
RD089	15	2,4	3,4	3,4	4,2
RD057	36	1,0	3,5	3,7	4,7
RD065	36	1,0	2,6	2,7	3,8

	Cloreto Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,5	3,8	4,1	7,4
RD071	15	0,9	2,0	1,9	3,7
RD013	45	0,9	2,4	2,2	8,8
RD018	32	0,9	2,7	2,5	6,9
RD073	15	1,8	3,1	2,8	5,7
RD034	32	1,5	3,5	3,0	7,8
RD039	37	0,6	1,5	1,5	3,6
RD040	32	1,0	2,0	1,8	3,7
RD089	15	3,1	4,3	4,3	5,8
RD057	37	1,0	4,2	3,9	7,6

	Cloreto Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	37	1,0	3,3	3,1	8,0



Cloreto Total (mg/L)
Afluentes

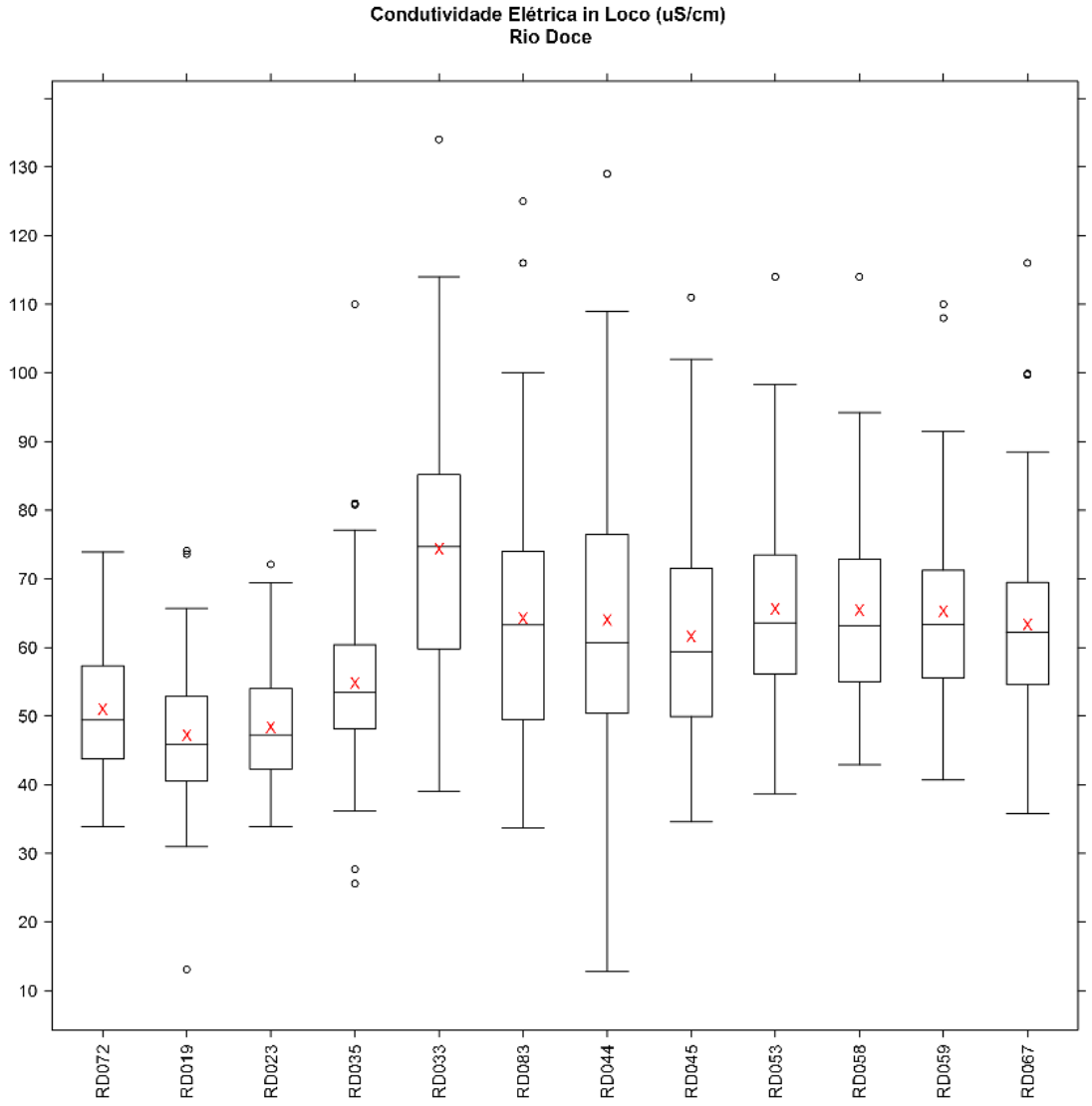


Condutividade Elétrica *in loco*

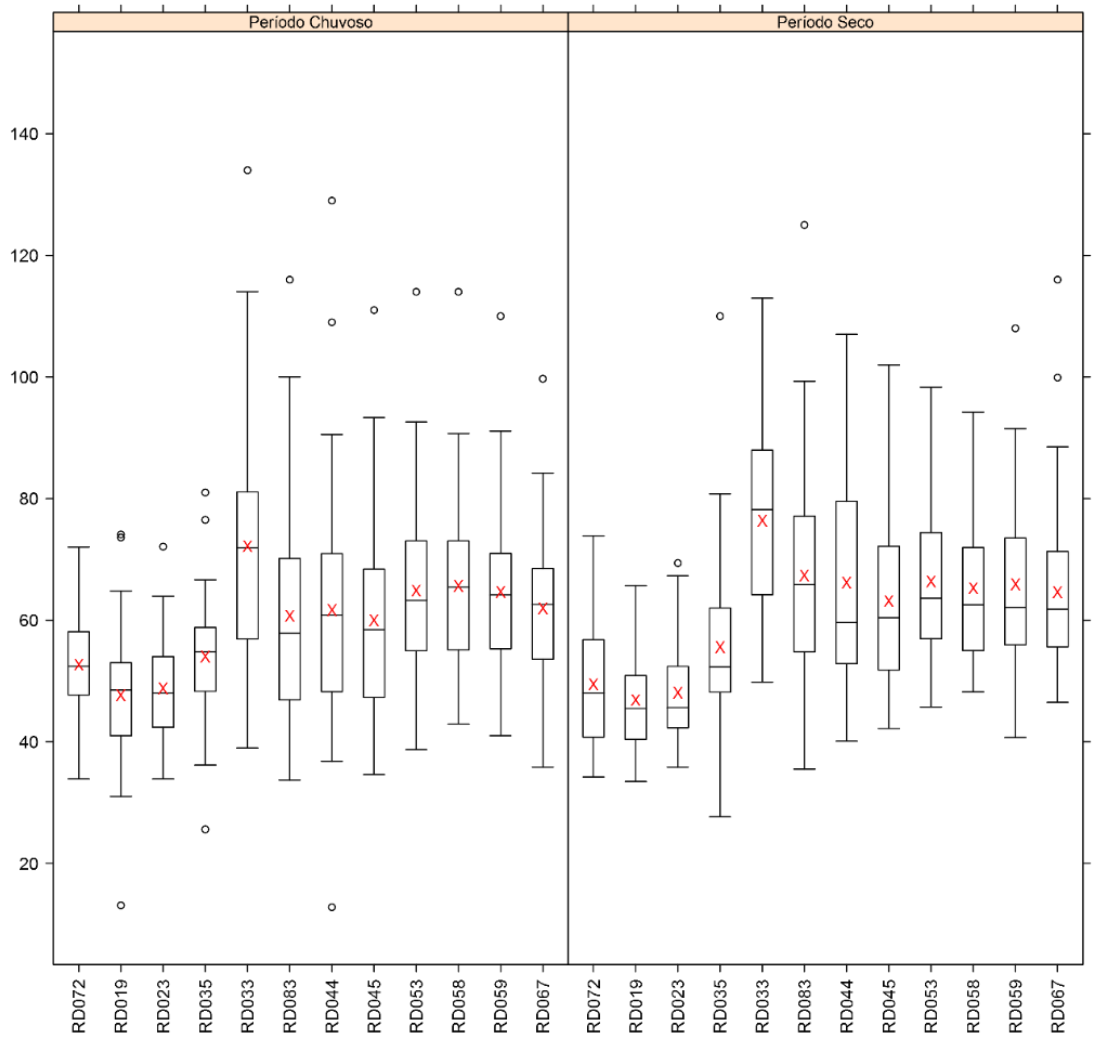
	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	47	34	51	49	74
RD019	91	13	47	46	74
RD023	90	34	48	47	72
RD035	85	26	55	54	110
RD033	92	39	74	75	134
RD083	49	34	64	63	125
RD044	83	13	64	61	129
RD045	92	35	62	59	111
RD053	91	39	66	64	114
RD058	83	43	65	63	114
RD059	92	41	65	63	110
RD067	90	36	63	62	116

	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	24	34	49	48	74
RD019	46	34	47	45	66
RD023	45	36	48	46	69
RD035	44	28	56	52	110
RD033	47	50	76	78	113
RD083	26	36	67	66	125
RD044	43	40	66	60	107
RD045	47	42	63	60	102
RD053	47	46	66	64	98
RD058	43	48	65	63	94
RD059	47	41	66	62	108
RD067	46	47	65	62	116

	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	34	53	52	72
RD019	45	13	48	49	74
RD023	45	34	49	48	72
RD035	41	26	54	55	81
RD033	45	39	72	72	134
RD083	23	34	61	58	116
RD044	40	13	62	61	129
RD045	45	35	60	58	111
RD053	44	39	65	63	114
RD058	40	43	66	65	114
RD059	45	41	65	64	110
RD067	44	36	62	63	100


Condutividade Elétrica in Loco (uS/cm)
Rio Doce
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

Condutividade Elétrica in Loco (uS/cm)
Rio Doce

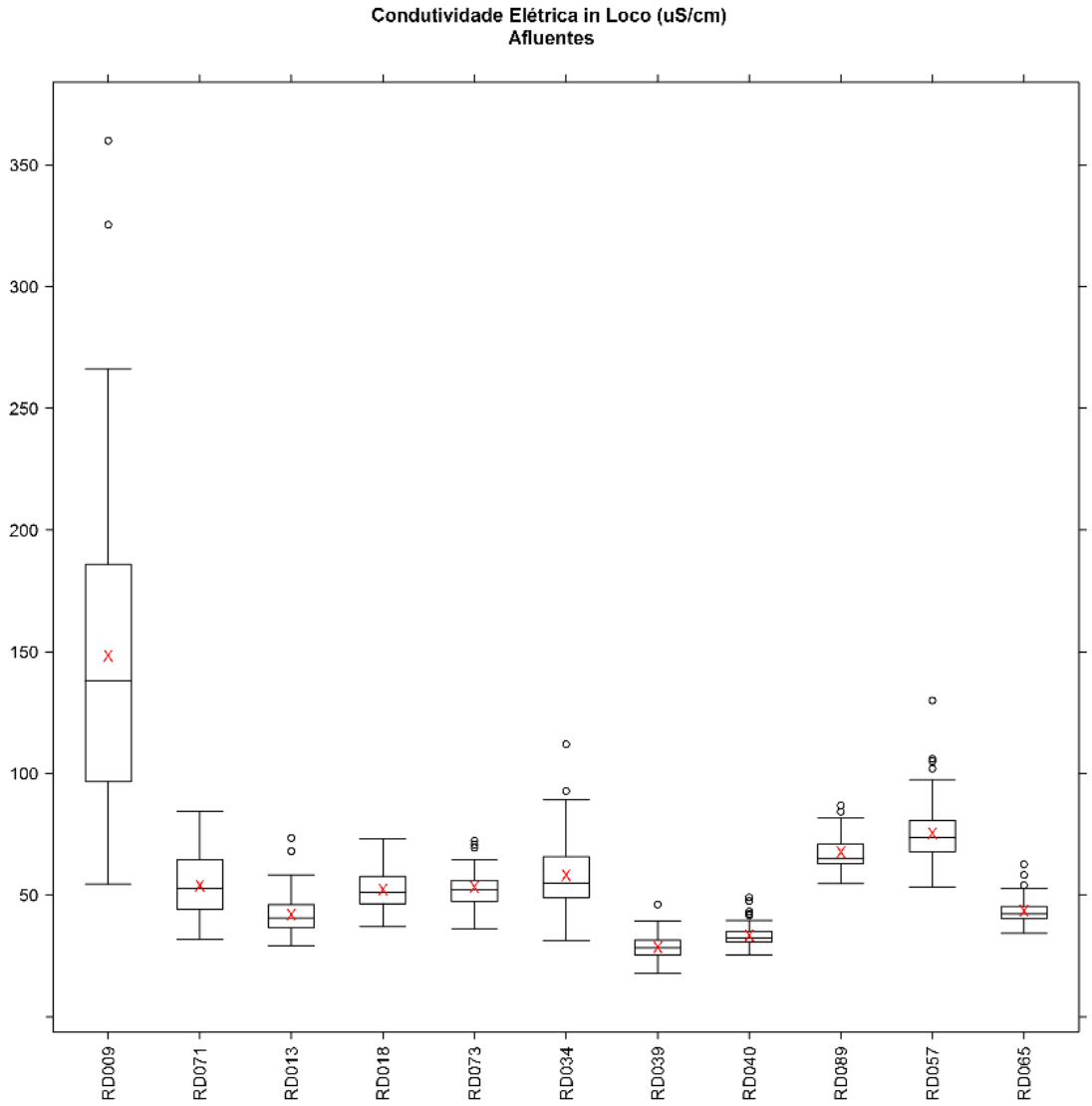


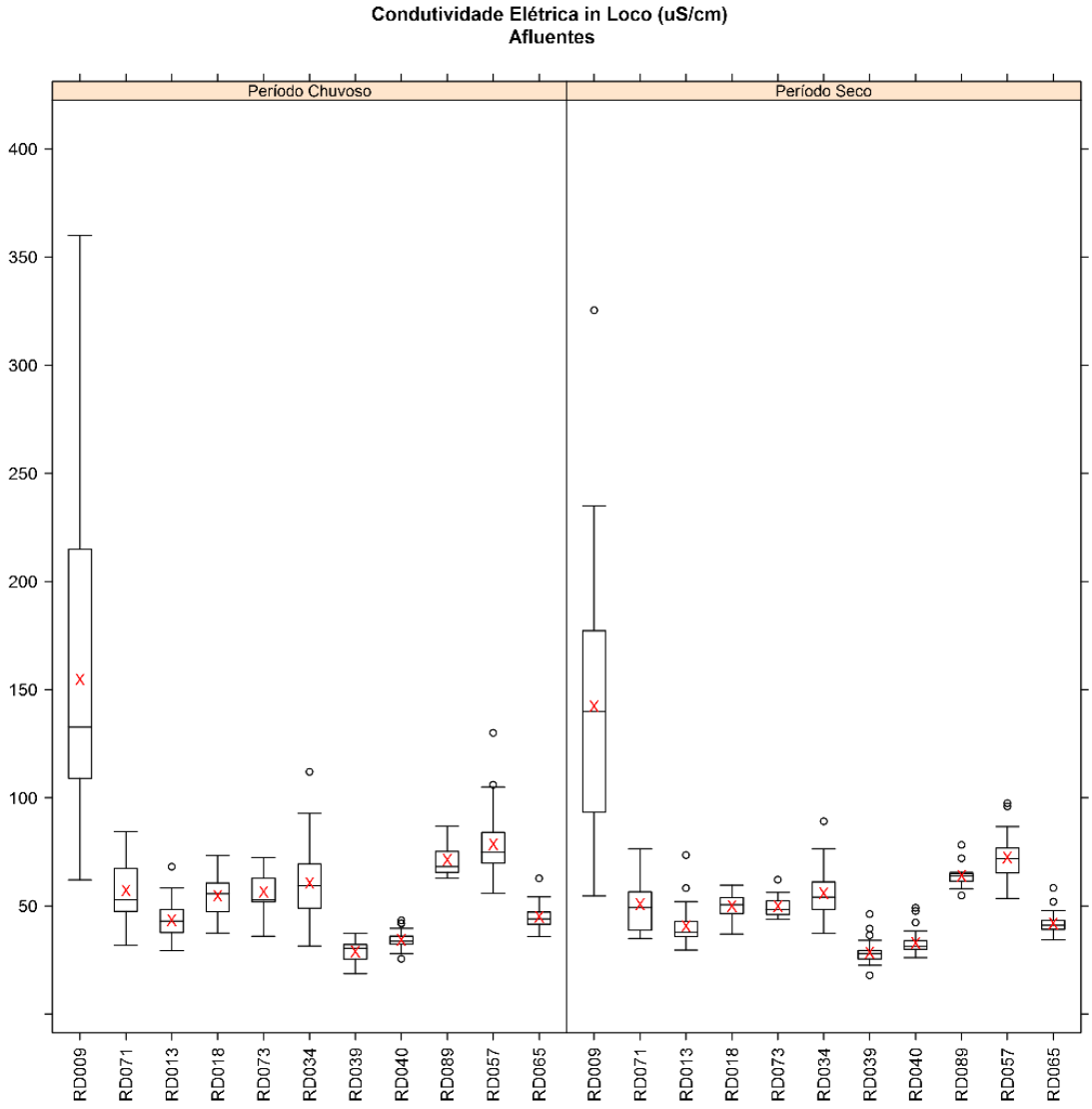
	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	55	148	138	360
RD071	29	32	54	53	84
RD013	88	29	42	41	74
RD018	64	37	52	51	73
RD073	29	36	53	52	72
RD034	64	31	58	55	112
RD039	73	18	29	28	46
RD040	64	26	33	32	49
RD089	30	55	68	65	87
RD057	73	53	75	74	130
RD065	73	34	44	42	63

	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	55	142	140	325
RD071	14	35	51	49	77
RD013	43	30	41	38	74
RD018	32	37	50	51	60
RD073	14	44	50	48	62
RD034	32	37	56	54	89
RD039	36	18	28	28	46
RD040	32	26	33	31	49
RD089	15	55	64	64	78
RD057	36	53	72	72	98
RD065	36	34	42	41	58

	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	62	155	133	360
RD071	15	32	57	53	84
RD013	45	29	43	43	68
RD018	32	37	55	56	73
RD073	15	36	56	53	72
RD034	32	31	61	59	112
RD039	37	19	29	30	37
RD040	32	26	34	34	43
RD089	15	63	71	68	87
RD057	37	56	78	75	130

	Condutividade Elétrica *in Loco* (µS/cm) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	37	36	45	44	63



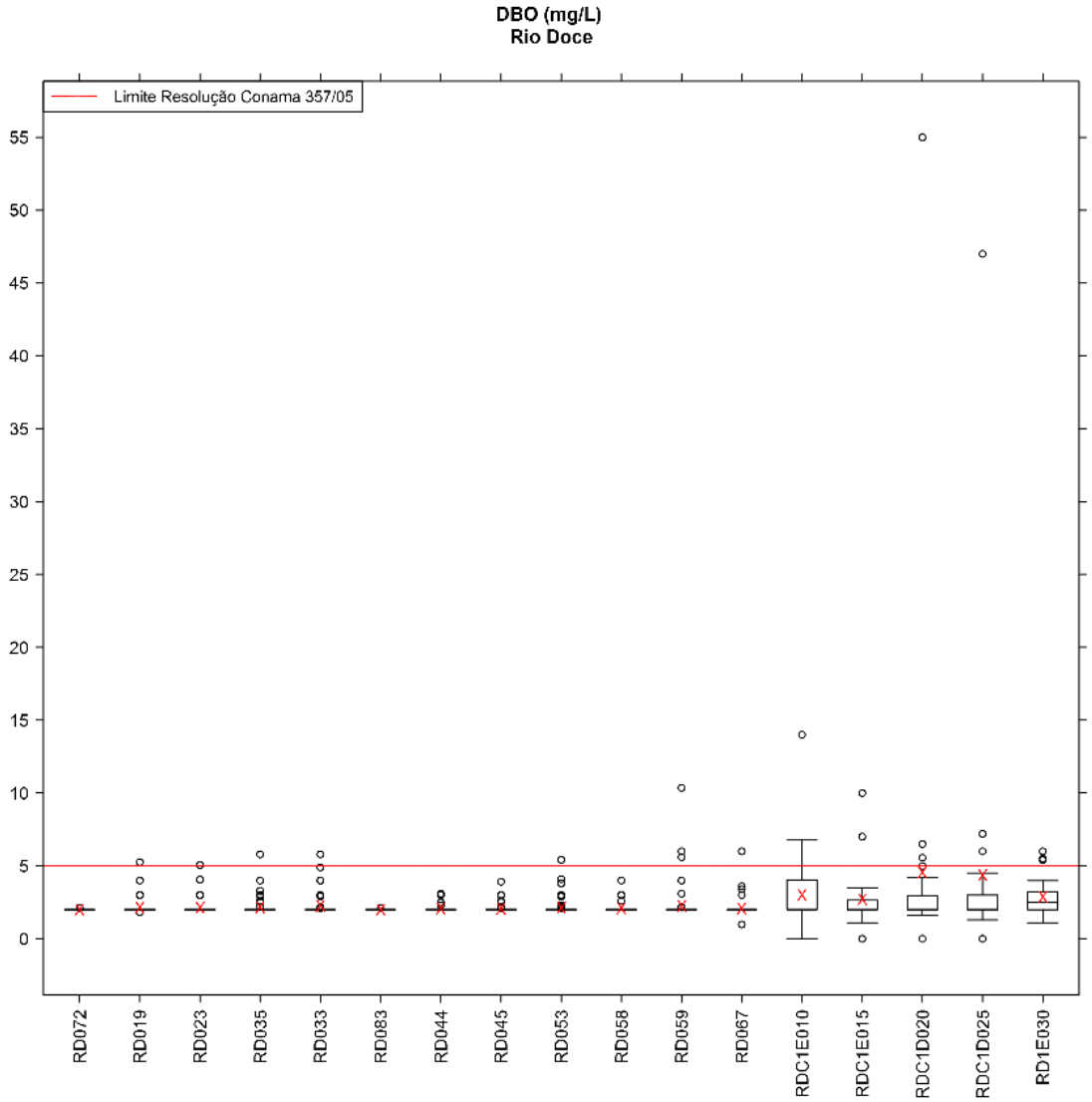

Condutividade Elétrica in Loco (uS/cm)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
400
350
300
250
200
150
100
50
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

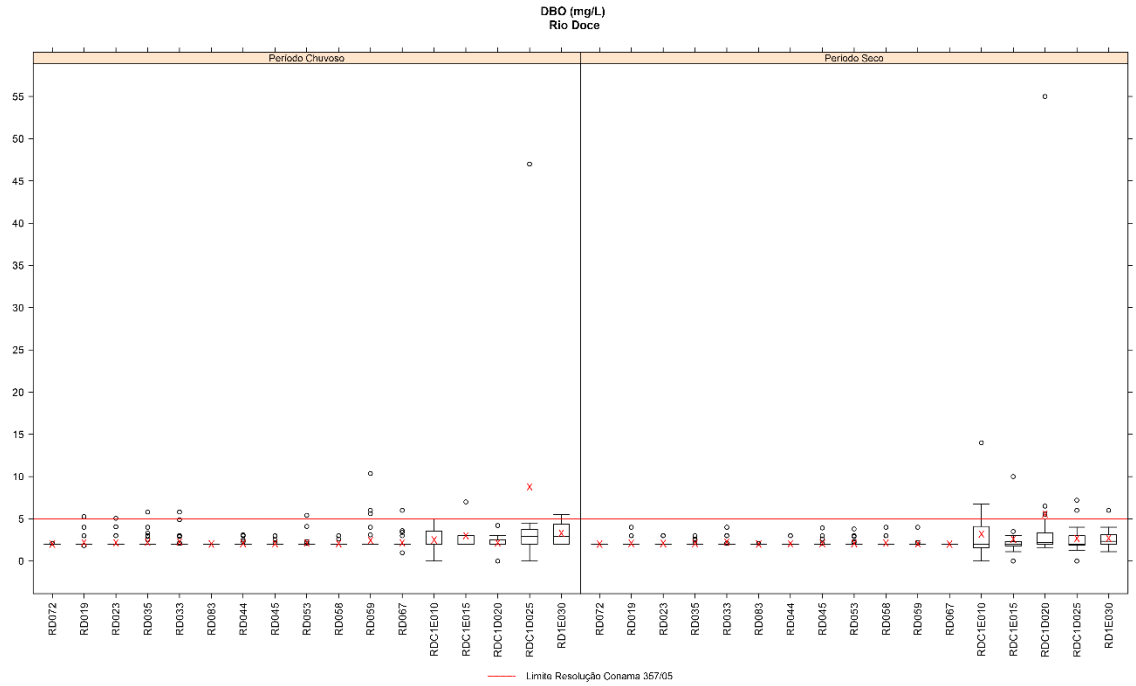
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	2,0	2,0	2,0	2,1
RD019	92	1,8	2,1	2,0	5,3
RD023	92	2,0	2,1	2,0	5,1
RD035	85	2,0	2,2	2,0	5,8
RD033	92	2,0	2,3	2,0	5,8
RD083	49	2,0	2,0	2,0	2,1
RD044	83	2,0	2,1	2,0	3,1
RD045	92	2,0	2,1	2,0	3,9
RD053	90	2,0	2,1	2,0	5,4
RD058	83	2,0	2,1	2,0	4,0
RD059	92	2,0	2,2	2,0	10,4
RD067	90	1,0	2,1	2,0	6,0
RDC1E010	27	0,0	3,0	2,0	14,0
RDC1E015	19	0,0	2,7	2,0	10,0
RDC1D020	27	0,0	4,6	2,0	55,0
RDC1D025	25	0,0	4,4	2,0	47,0
RDC1E030	25	1,1	2,9	2,5	6,0

	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	2,0	2,0	2,0	2,0
RD019	47	2,0	2,1	2,0	4,0
RD023	47	2,0	2,1	2,0	3,0
RD035	44	2,0	2,1	2,0	3,0
RD033	47	2,0	2,3	2,0	4,0
RD083	26	2,0	2,0	2,0	2,1
RD044	43	2,0	2,0	2,0	3,0
RD045	47	2,0	2,1	2,0	3,9
RD053	46	2,0	2,1	2,0	3,8
RD058	43	2,0	2,1	2,0	4,0
RD059	47	2,0	2,1	2,0	4,0
RD067	46	2,0	2,0	2,0	2,0
RDC1E010	19	0,0	3,2	2,0	14,0
RDC1E015	13	0,0	2,6	2,0	10,0
RDC1D020	19	1,6	5,6	2,2	55,0
RDC1D025	18	0,0	2,7	2,0	7,2
RDC1E030	18	1,1	2,7	2,4	6,0

	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	2,0	2,0	2,0	2,1
RD019	45	1,8	2,2	2,0	5,3
RD023	45	2,0	2,2	2,0	5,1
RD035	41	2,0	2,2	2,0	5,8
RD033	45	2,0	2,3	2,0	5,8
RD083	23	2,0	2,0	2,0	2,0
RD044	40	2,0	2,1	2,0	3,1
RD045	45	2,0	2,1	2,0	3,0
RD053	44	2,0	2,1	2,0	5,4
RD058	40	2,0	2,1	2,0	3,0
RD059	45	2,0	2,4	2,0	10,4
RD067	44	1,0	2,2	2,0	6,0
RDC1E010	8	0,0	2,5	2,0	5,0
RDC1E015	6	2,0	3,0	2,0	7,0
RDC1D020	8	0,0	2,2	2,0	4,2
RDC1D025	7	0,0	8,8	2,9	47,0
RDC1E030	7	2,0	3,3	2,9	5,5


DBO (mg/L)
Rio Doce
Limite Resolução Conama 357/05
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
RDC1E010
RDC1E015
RDC1D020
RDC1D025
RD1E030

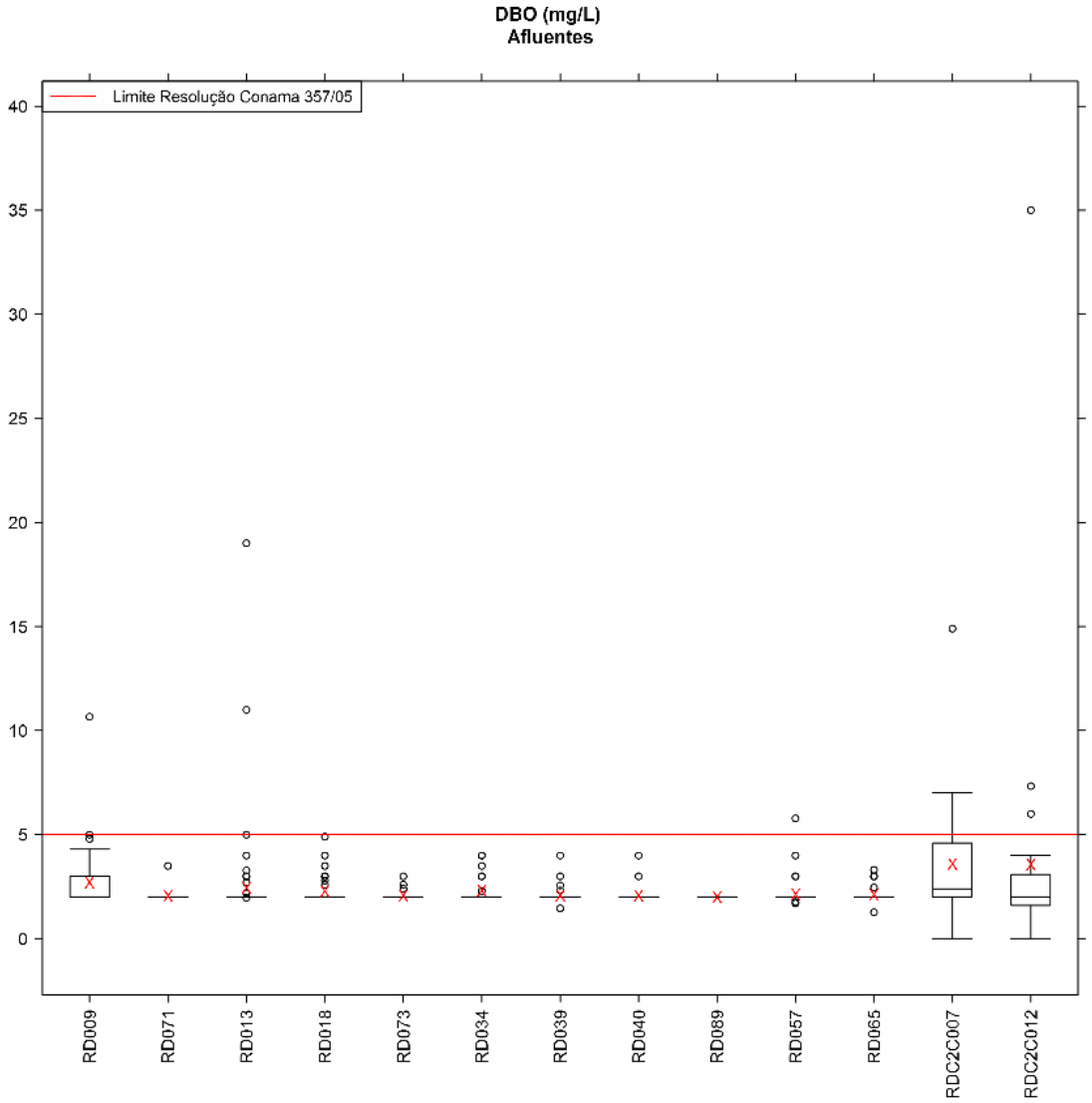


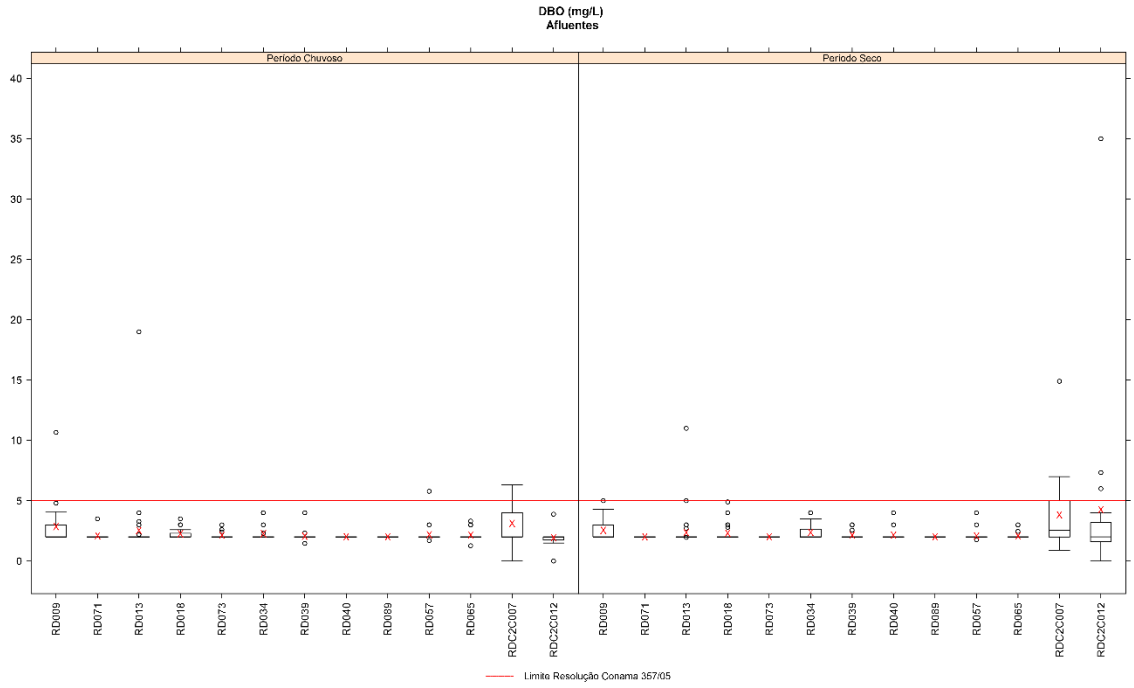
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	2,0	2,7	2,0	10,7
RD071	29	2,0	2,1	2,0	3,5
RD013	89	2,0	2,4	2,0	19,0
RD018	64	2,0	2,3	2,0	4,9
RD073	29	2,0	2,1	2,0	3,0
RD034	64	2,0	2,3	2,0	4,0
RD039	73	1,5	2,1	2,0	4,0
RD040	64	2,0	2,1	2,0	4,0
RD089	30	2,0	2,0	2,0	2,0
RD057	73	1,7	2,1	2,0	5,8
RD065	73	1,3	2,1	2,0	3,3
RDC2C007	27	0,0	3,6	2,4	14,9
RDC2C012	27	0,0	3,6	2,0	35,0

	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	2,0	2,5	2,0	5,0
RD071	14	2,0	2,0	2,0	2,0
RD013	44	2,0	2,4	2,0	11,0
RD018	32	2,0	2,3	2,0	4,9
RD073	14	2,0	2,0	2,0	2,0

	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD034	32	2,0	2,4	2,0	4,0
RD039	36	2,0	2,1	2,0	3,0
RD040	32	2,0	2,1	2,0	4,0
RD089	15	2,0	2,0	2,0	2,0
RD057	36	1,8	2,1	2,0	4,0
RD065	36	2,0	2,1	2,0	3,0
RDC2C007	18	0,9	3,8	2,6	14,9
RDC2C012	19	0,0	4,2	2,0	35,0

	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	2,0	2,8	2,0	10,7
RD071	15	2,0	2,1	2,0	3,5
RD013	45	2,0	2,5	2,0	19,0
RD018	32	2,0	2,3	2,0	3,5
RD073	15	2,0	2,1	2,0	3,0
RD034	32	2,0	2,3	2,0	4,0
RD039	37	1,5	2,0	2,0	4,0
RD040	32	2,0	2,0	2,0	2,0
RD089	15	2,0	2,0	2,0	2,0
RD057	37	1,7	2,2	2,0	5,8
RD065	37	1,3	2,2	2,0	3,3
RDC2C007	9	0,0	3,1	2,0	6,3
RDC2C012	8	0,0	1,9	2,0	3,9


DBO (mg/L)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
40
35
30
25
20
15
10
5
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012


DBO (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
40
35
30
25
20
15
10
5
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD088
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012
Limite Resolução Conama 357/05

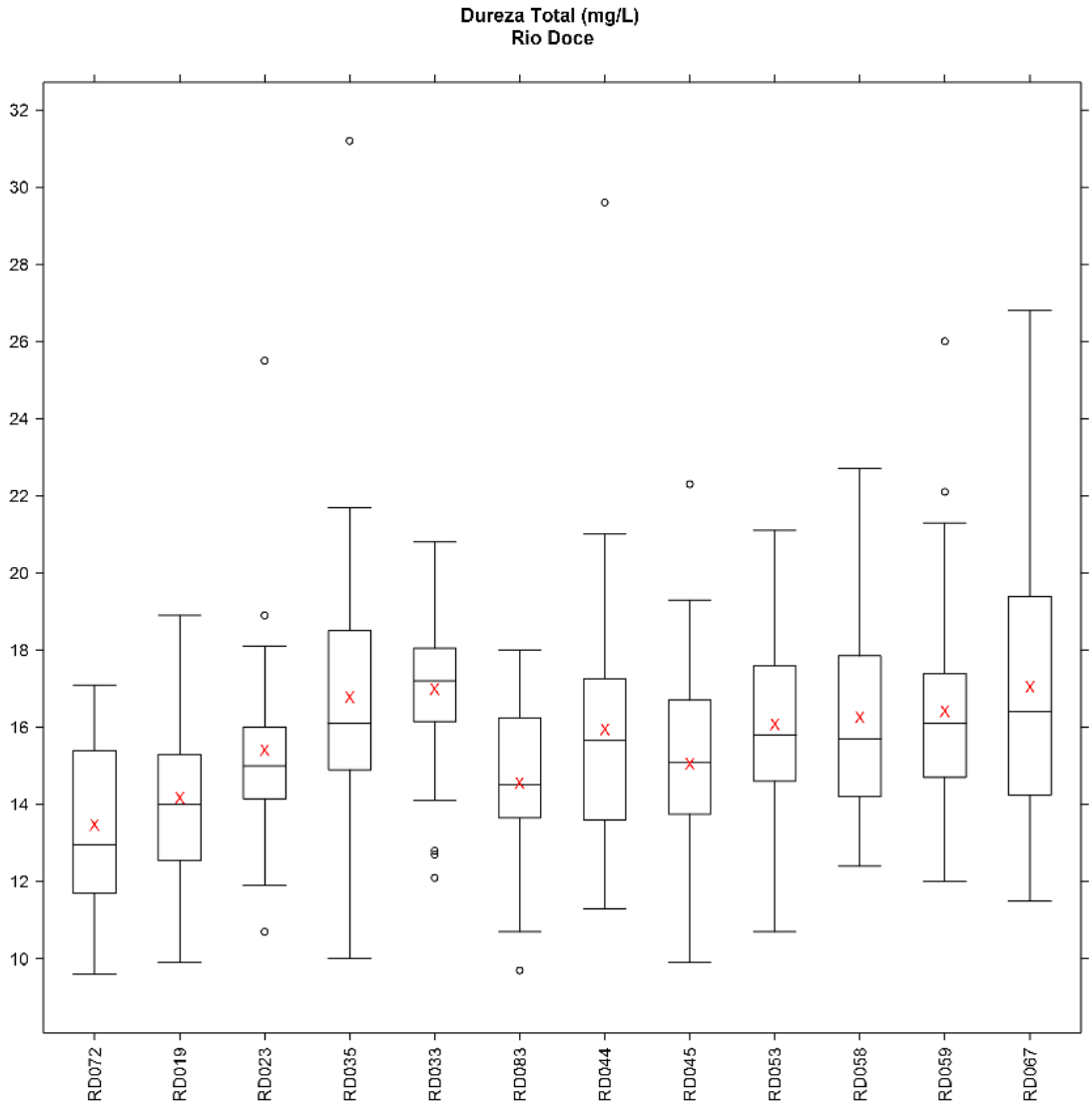
Dureza Total

	Dureza Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	9,6	13,5	13,0	17,1
RD019	35	9,9	14,2	14,0	18,9
RD023	35	10,7	15,4	15,0	25,5
RD035	32	10,0	16,8	16,1	31,2
RD033	35	12,1	17,0	17,2	20,8
RD083	15	9,7	14,6	14,5	18,0
RD044	32	11,3	15,9	15,7	29,6
RD045	35	9,9	15,1	15,1	22,3
RD053	35	10,7	16,1	15,8	21,1
RD058	32	12,4	16,3	15,7	22,7
RD059	35	12,0	16,4	16,1	26,0
RD067	35	11,5	17,0	16,4	26,8

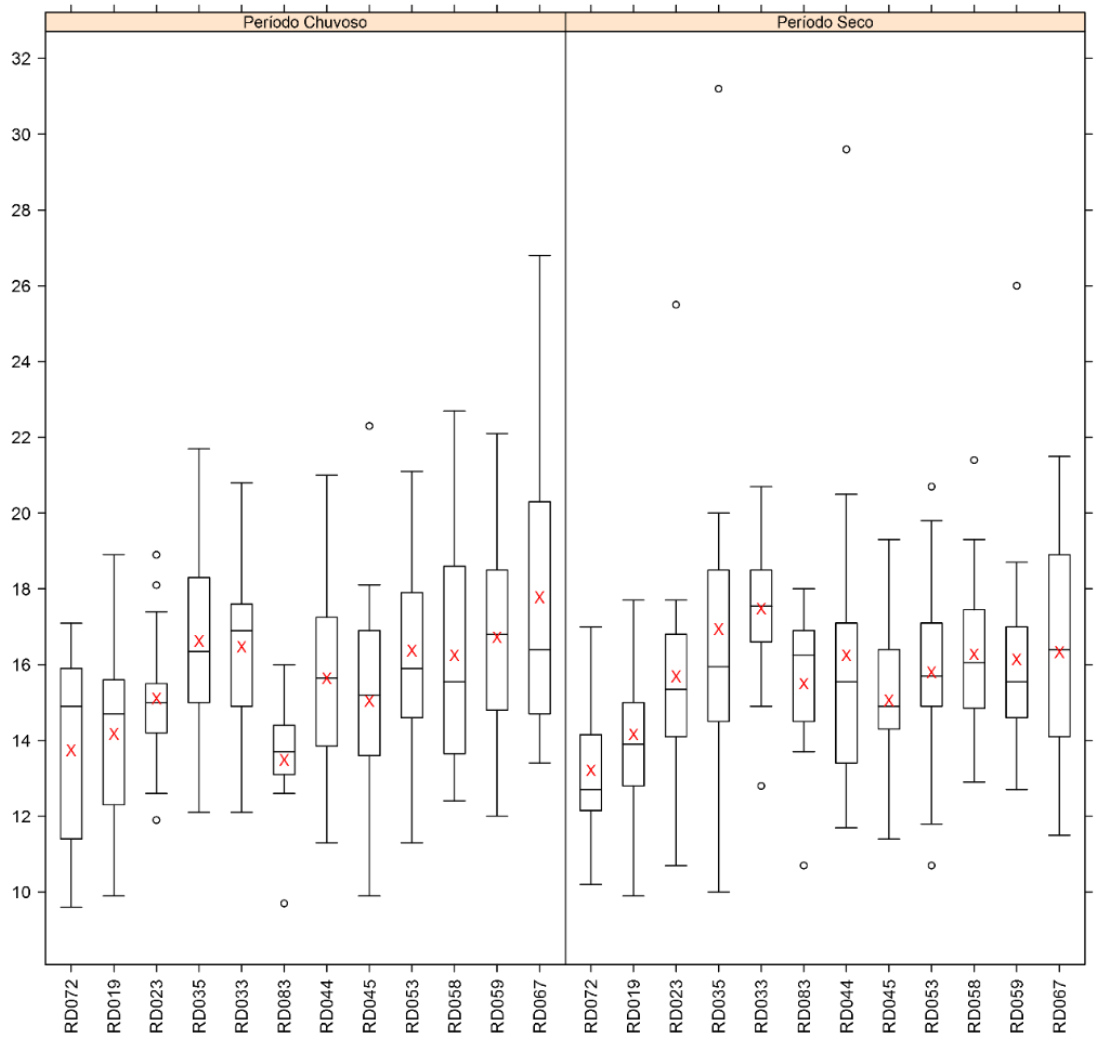
	Dureza Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	10,2	13,2	12,7	17,0
RD019	18	9,9	14,2	13,9	17,7
RD023	18	10,7	15,7	15,4	25,5
RD035	16	10,0	16,9	16,0	31,2
RD033	18	12,8	17,5	17,6	20,7
RD083	8	10,7	15,5	16,3	18,0
RD044	16	11,7	16,3	15,6	29,6
RD045	18	11,4	15,1	14,9	19,3
RD053	18	10,7	15,8	15,7	20,7
RD058	16	12,9	16,3	16,1	21,4
RD059	18	12,7	16,1	15,6	26,0
RD067	18	11,5	16,3	16,4	21,5

	Dureza Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	9,6	13,7	14,9	17,1
RD019	17	9,9	14,2	14,7	18,9
RD023	17	11,9	15,1	15,0	18,9
RD035	16	12,1	16,6	16,4	21,7
RD033	17	12,1	16,5	16,9	20,8
RD083	7	9,7	13,5	13,7	16,0
RD044	16	11,3	15,6	15,7	21,0

	Dureza Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	9,9	15,0	15,2	22,3
RD053	17	11,3	16,4	15,9	21,1
RD058	16	12,4	16,2	15,6	22,7
RD059	17	12,0	16,7	16,8	22,1
RD067	17	13,4	17,8	16,4	26,8



Dureza Total (mg/L)
Rio Doce

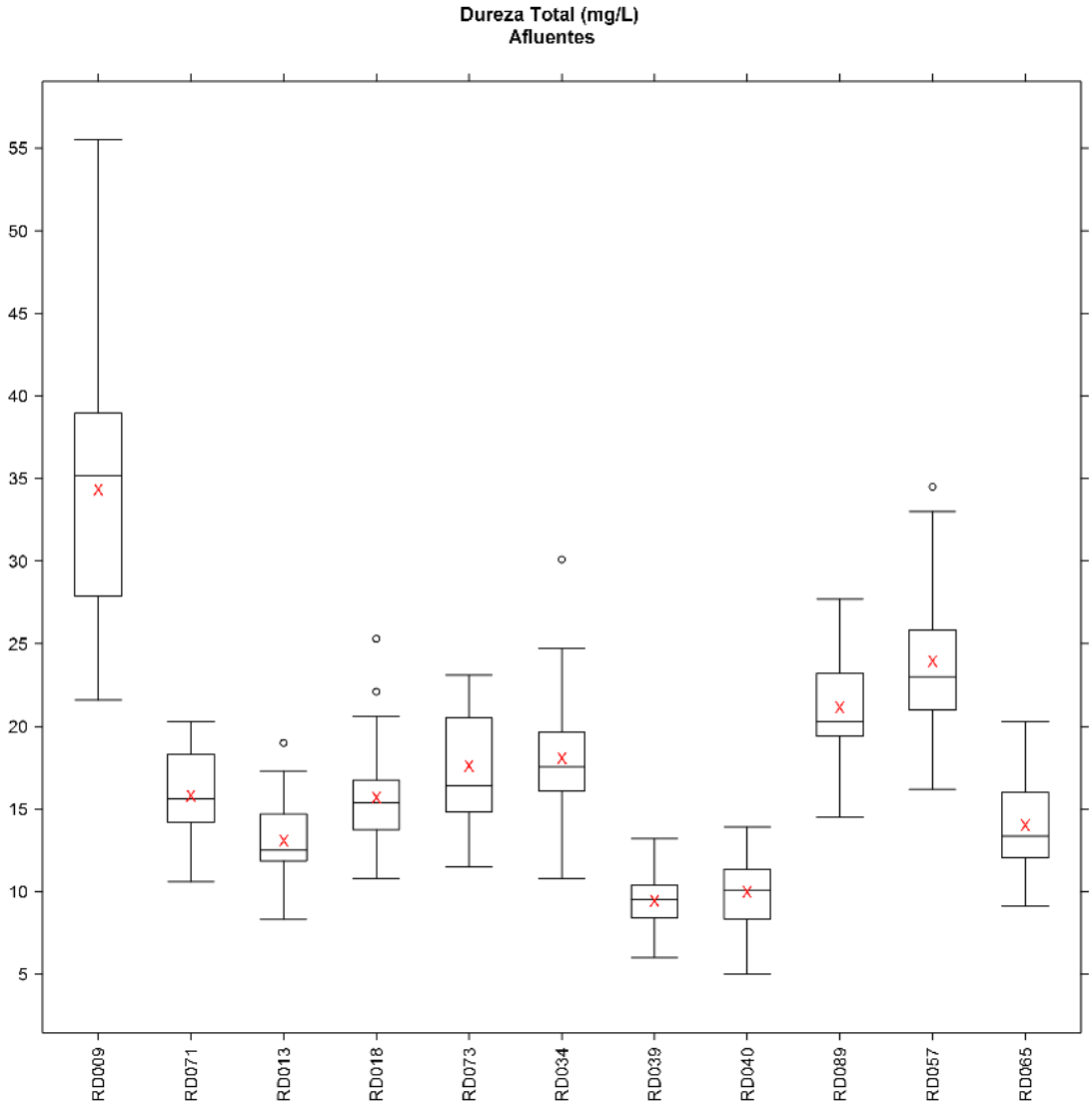


	Dureza Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	21,6	34,3	35,2	55,5
RD071	14	10,6	15,8	15,6	20,3
RD013	35	8,3	13,1	12,5	19,0
RD018	32	10,8	15,7	15,4	25,3
RD073	14	11,5	17,6	16,4	23,1
RD034	32	10,8	18,1	17,6	30,1
RD039	35	6,0	9,4	9,5	13,2
RD040	32	5,0	10,0	10,1	13,9
RD089	15	14,5	21,1	20,3	27,7
RD057	35	16,2	23,9	23,0	34,5
RD065	36	9,1	14,0	13,4	20,3

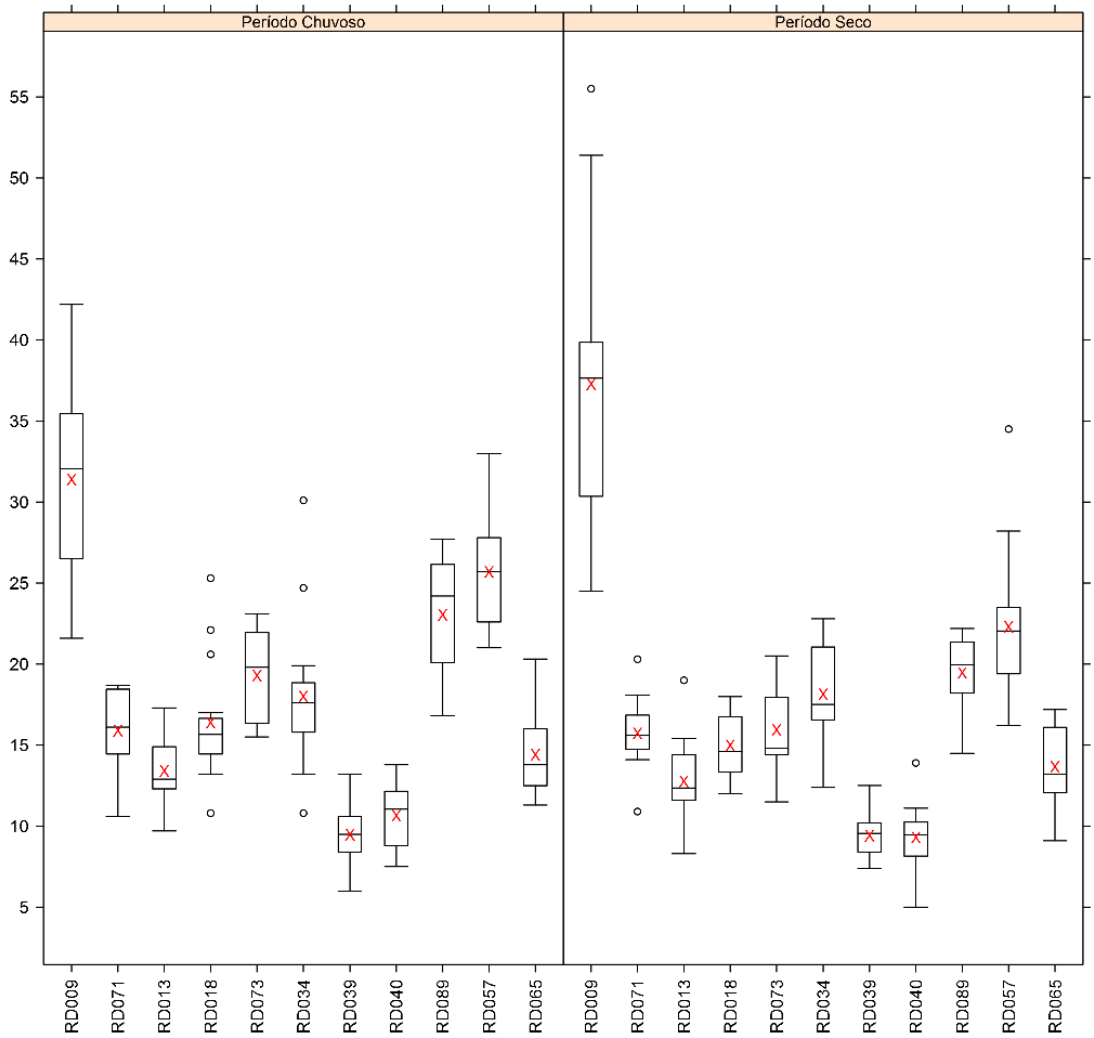
	Dureza Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	24,5	37,3	37,7	55,5
RD071	7	10,9	15,7	15,6	20,3
RD013	18	8,3	12,8	12,4	19,0
RD018	16	12,0	15,0	14,6	18,0
RD073	7	11,5	15,9	14,8	20,5
RD034	16	12,4	18,1	17,5	22,8
RD039	18	7,4	9,4	9,6	12,5
RD040	16	5,0	9,3	9,5	13,9
RD089	8	14,5	19,5	20,0	22,2
RD057	18	16,2	22,3	22,1	34,5
RD065	19	9,1	13,6	13,2	17,2

	Dureza Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	21,6	31,4	32,1	42,2
RD071	7	10,6	15,9	16,1	18,7
RD013	17	9,7	13,4	12,9	17,3
RD018	16	10,8	16,4	15,7	25,3
RD073	7	15,5	19,3	19,8	23,1
RD034	16	10,8	18,0	17,6	30,1
RD039	17	6,0	9,5	9,5	13,2
RD040	16	7,5	10,6	11,1	13,8
RD089	7	16,8	23,0	24,2	27,7
RD057	17	21,0	25,7	25,7	33,0

	Dureza Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	17	11,3	14,4	13,8	20,3



Dureza Total (mg/L)
Afluentes



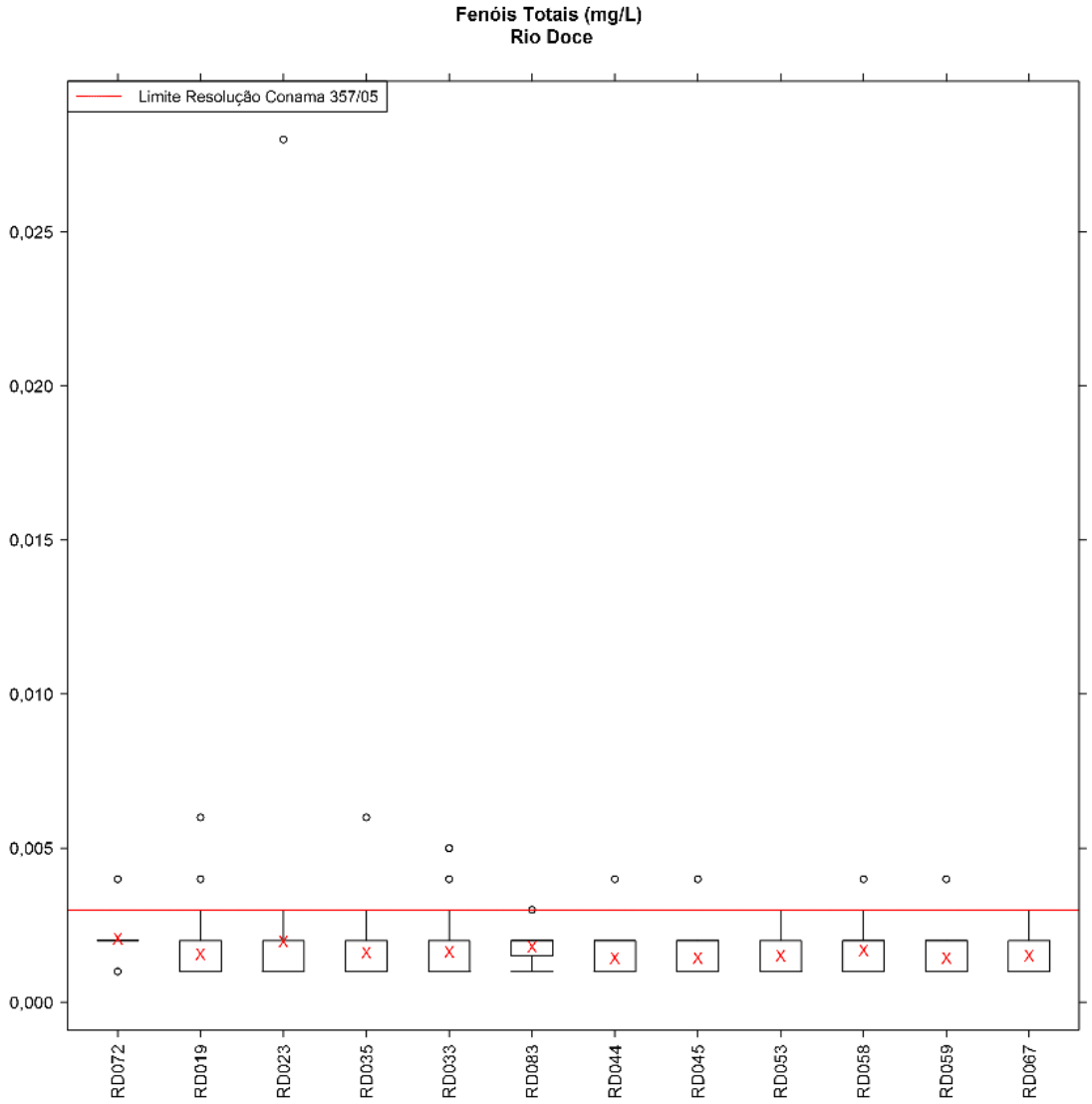
Fenóis Totais

	Fenóis Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,001	0,002	0,002	0,004
RD019	68	0,001	0,002	0,001	0,006
RD023	67	0,001	0,002	0,001	0,028
RD035	55	0,001	0,002	0,001	0,006
RD033	69	0,001	0,002	0,001	0,005
RD083	15	0,001	0,002	0,002	0,003
RD044	32	0,001	0,001	0,001	0,004
RD045	36	0,001	0,001	0,001	0,004
RD053	35	0,001	0,002	0,001	0,003
RD058	41	0,001	0,002	0,002	0,004
RD059	36	0,001	0,001	0,001	0,004
RD067	45	0,001	0,002	0,001	0,003

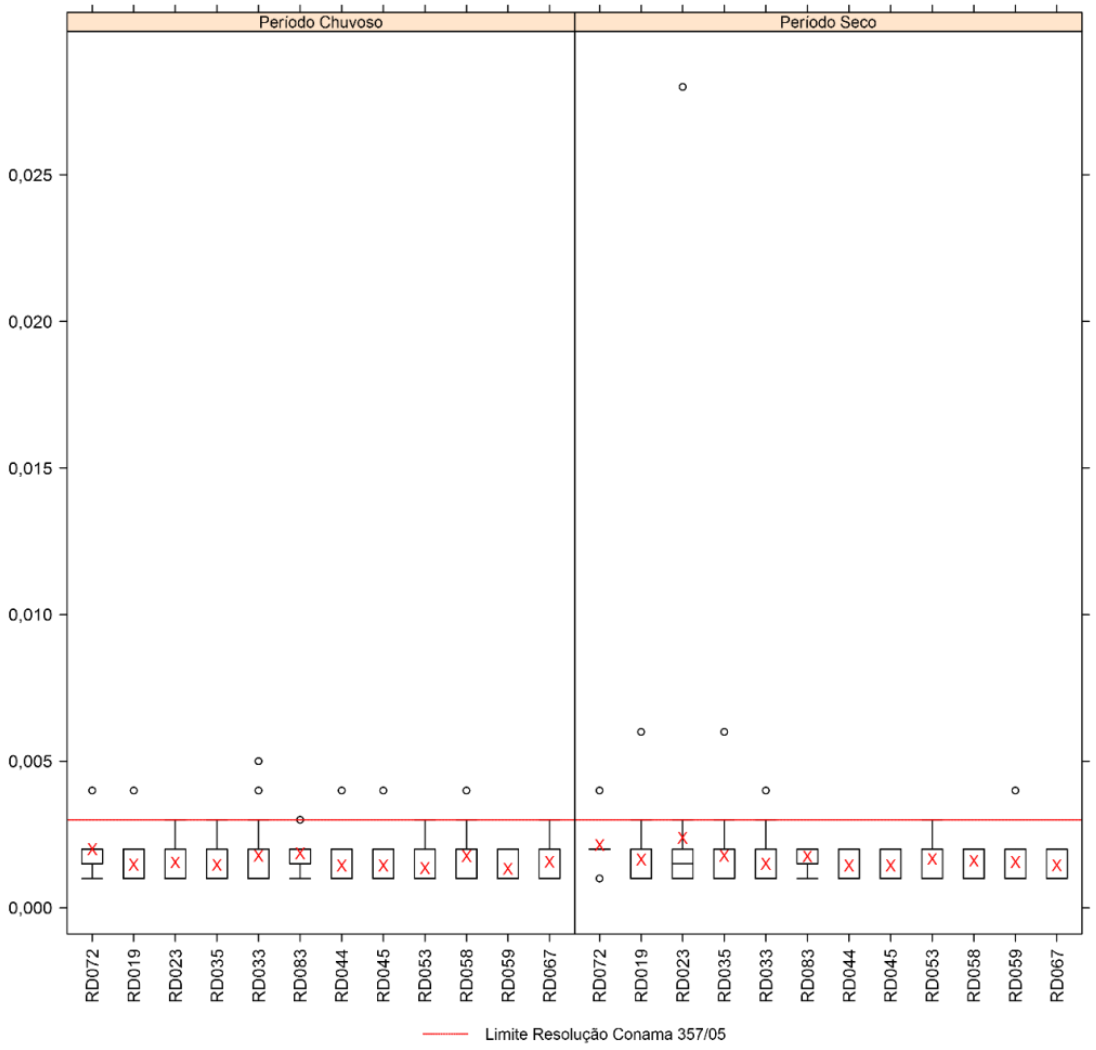
	Fenóis Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,001	0,002	0,002	0,004
RD019	34	0,001	0,002	0,001	0,006
RD023	34	0,001	0,002	0,002	0,028
RD035	27	0,001	0,002	0,002	0,006
RD033	34	0,001	0,002	0,001	0,004
RD083	8	0,001	0,002	0,002	0,002
RD044	16	0,001	0,001	0,001	0,002
RD045	18	0,001	0,001	0,001	0,002
RD053	18	0,001	0,002	0,002	0,003
RD058	20	0,001	0,002	0,002	0,002
RD059	18	0,001	0,002	0,001	0,004
RD067	22	0,001	0,001	0,001	0,002

	Fenóis Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,001	0,002	0,002	0,004
RD019	34	0,001	0,001	0,001	0,004
RD023	33	0,001	0,002	0,001	0,003
RD035	28	0,001	0,001	0,001	0,003
RD033	35	0,001	0,002	0,001	0,005
RD083	7	0,001	0,002	0,002	0,003
RD044	16	0,001	0,001	0,001	0,004

	Fenóis Totais (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	0,001	0,001	0,001	0,004
RD053	17	0,001	0,001	0,001	0,003
RD058	21	0,001	0,002	0,002	0,004
RD059	18	0,001	0,001	0,001	0,002
RD067	23	0,001	0,002	0,002	0,003



Fenóis Totais (mg/L)
Rio Doce

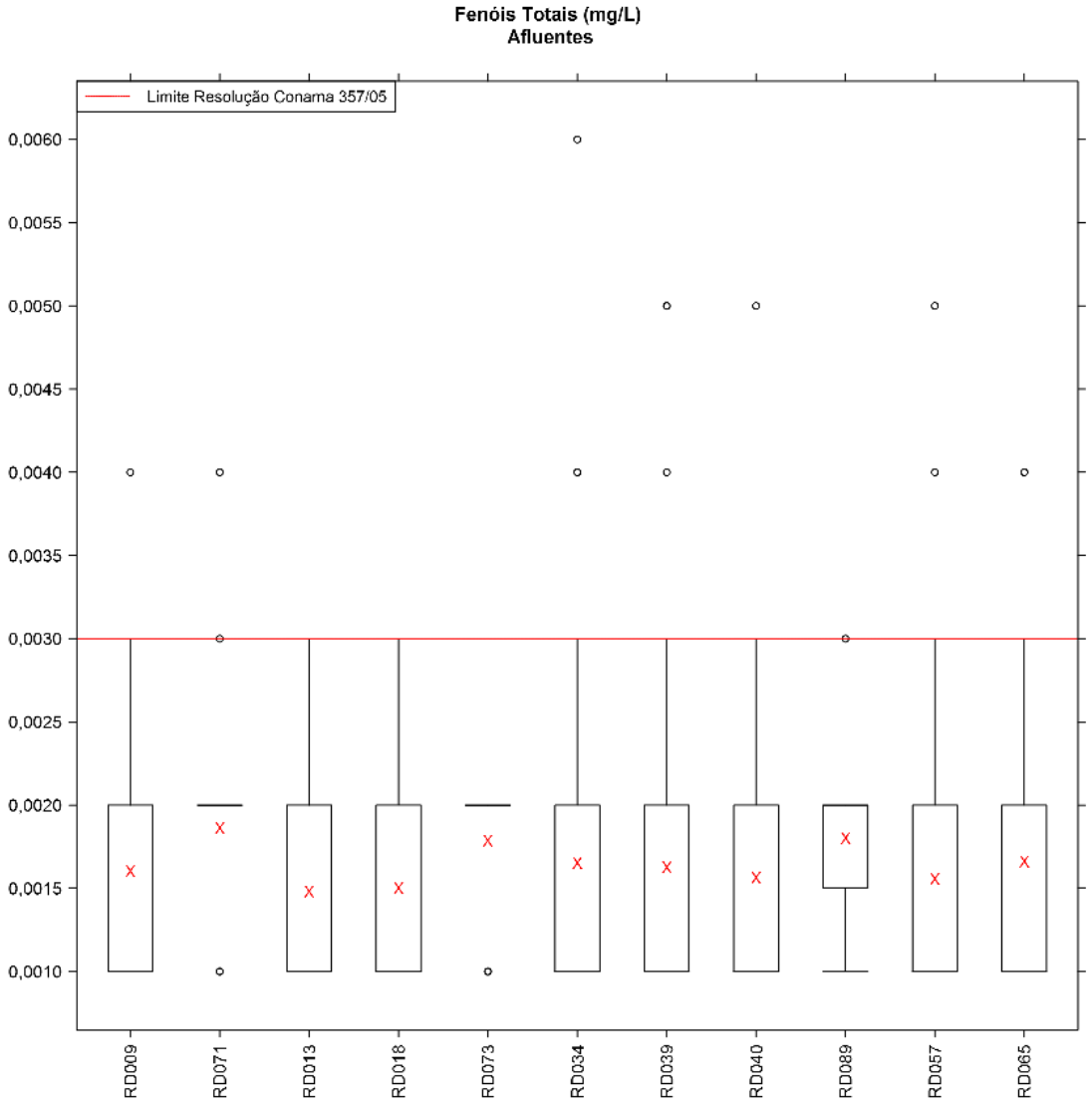


	Fenóis Totais (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	63	0,001	0,002	0,001	0,004
RD071	29	0,001	0,002	0,002	0,004
RD013	50	0,001	0,001	0,001	0,003
RD018	62	0,001	0,002	0,001	0,003
RD073	14	0,001	0,002	0,002	0,002
RD034	46	0,001	0,002	0,001	0,006
RD039	72	0,001	0,002	0,001	0,005
RD040	32	0,001	0,002	0,001	0,005
RD089	15	0,001	0,002	0,002	0,003
RD057	36	0,001	0,002	0,001	0,005
RD065	68	0,001	0,002	0,001	0,004

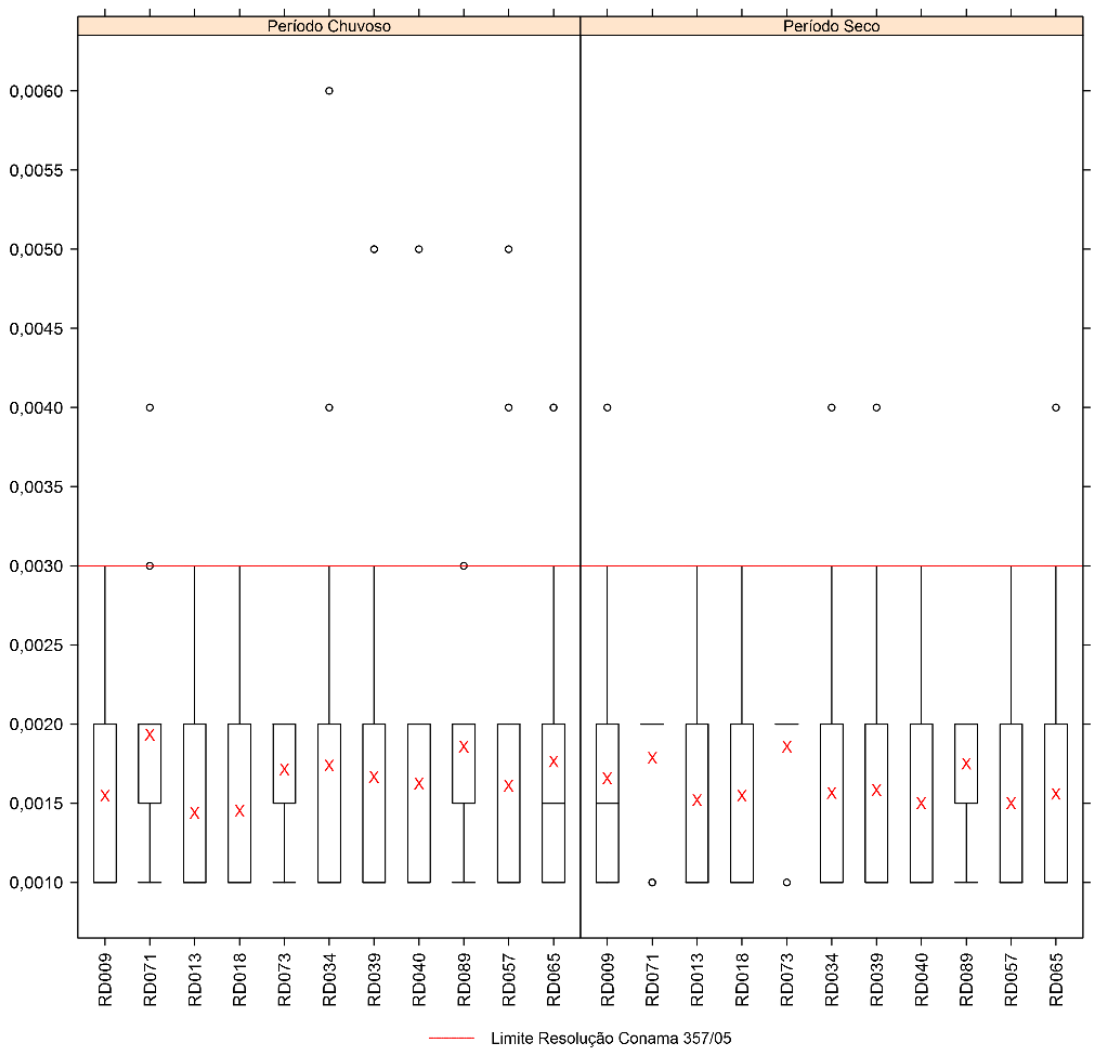
	Fenóis Totais (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,001	0,002	0,002	0,004
RD071	14	0,001	0,002	0,002	0,002
RD013	25	0,001	0,002	0,001	0,003
RD018	31	0,001	0,002	0,001	0,003
RD073	7	0,001	0,002	0,002	0,002
RD034	23	0,001	0,002	0,001	0,004
RD039	36	0,001	0,002	0,001	0,004
RD040	16	0,001	0,002	0,001	0,003
RD089	8	0,001	0,002	0,002	0,002
RD057	18	0,001	0,002	0,001	0,003
RD065	34	0,001	0,002	0,001	0,004

	Fenóis Totais (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	31	0,001	0,002	0,001	0,003
RD071	15	0,001	0,002	0,002	0,004
RD013	25	0,001	0,001	0,001	0,003
RD018	31	0,001	0,001	0,001	0,003
RD073	7	0,001	0,002	0,002	0,002
RD034	23	0,001	0,002	0,001	0,006
RD039	36	0,001	0,002	0,001	0,005
RD040	16	0,001	0,002	0,001	0,005
RD089	7	0,001	0,002	0,002	0,003
RD057	18	0,001	0,002	0,001	0,005

	Fenóis Totais (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	34	0,001	0,002	0,002	0,004



Fenóis Totais (mg/L)
Afluentes



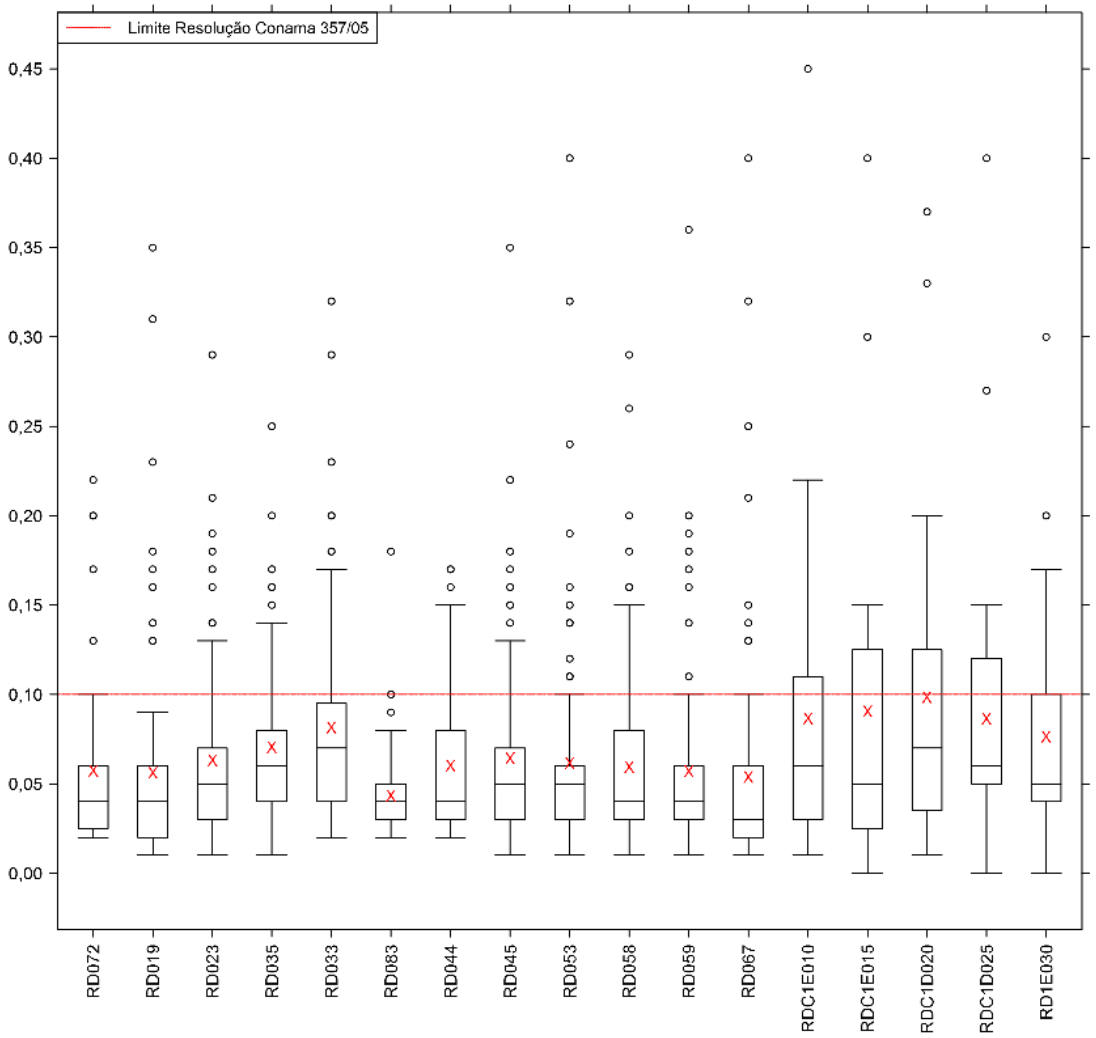
Fósforo Total

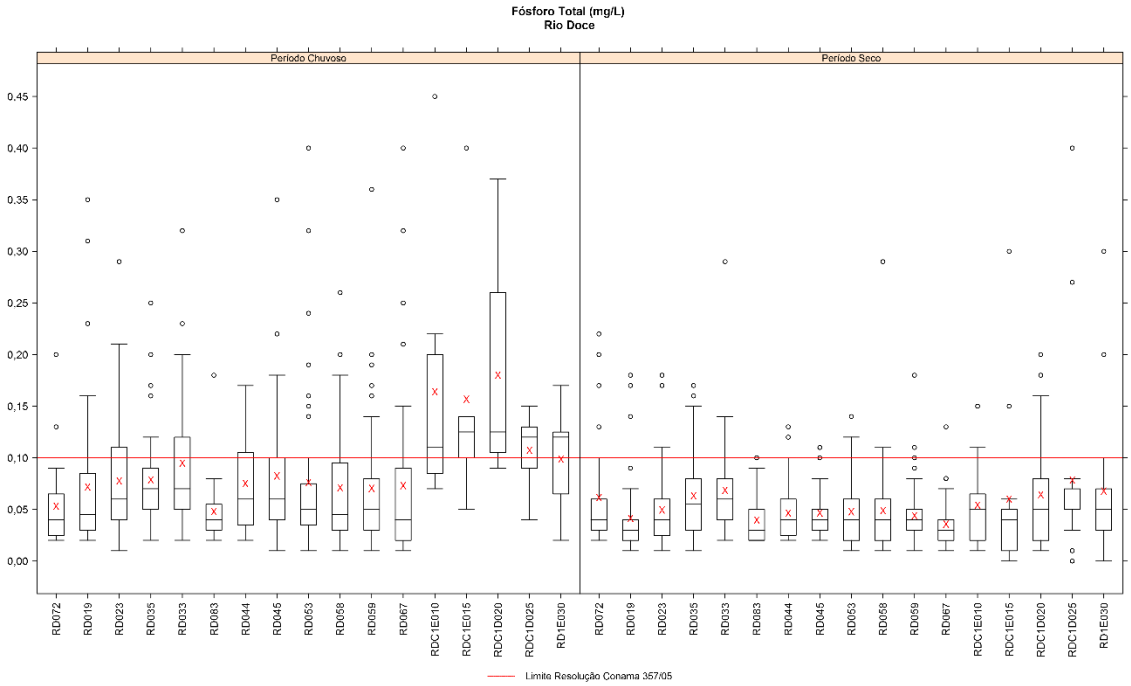
	Fósforo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	0,020	0,057	0,040	0,220
RD019	91	0,010	0,056	0,040	0,350
RD023	92	0,010	0,063	0,050	0,290
RD035	85	0,010	0,071	0,060	0,250
RD033	91	0,020	0,082	0,070	0,320
RD083	49	0,020	0,043	0,040	0,180
RD044	83	0,020	0,060	0,040	0,170
RD045	91	0,010	0,064	0,050	0,350
RD053	90	0,010	0,062	0,050	0,400
RD058	83	0,010	0,060	0,040	0,290
RD059	91	0,010	0,057	0,040	0,360
RD067	90	0,010	0,054	0,030	0,400
RDC1E010	27	0,010	0,087	0,060	0,450
RDC1E015	19	0,000	0,091	0,050	0,400
RDC1D020	27	0,010	0,099	0,070	0,370
RDC1D025	25	0,000	0,086	0,060	0,400
RDC1E030	25	0,000	0,076	0,050	0,300

	Fósforo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	0,020	0,061	0,040	0,220
RD019	47	0,010	0,041	0,030	0,180
RD023	47	0,010	0,049	0,040	0,180
RD035	44	0,010	0,063	0,055	0,170
RD033	46	0,020	0,068	0,060	0,290
RD083	26	0,020	0,040	0,030	0,100
RD044	43	0,020	0,046	0,040	0,130
RD045	46	0,020	0,047	0,040	0,110
RD053	46	0,010	0,048	0,040	0,140
RD058	43	0,010	0,049	0,040	0,290
RD059	46	0,010	0,044	0,040	0,180
RD067	46	0,010	0,036	0,030	0,130
RDC1E010	19	0,010	0,054	0,050	0,150
RDC1E015	13	0,000	0,060	0,040	0,300
RDC1D020	19	0,010	0,064	0,050	0,200
RDC1D025	18	0,000	0,078	0,050	0,400
RDC1E030	18	0,000	0,068	0,050	0,300

	Fósforo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	0,020	0,053	0,040	0,200
RD019	44	0,020	0,072	0,045	0,350
RD023	45	0,010	0,078	0,060	0,290
RD035	41	0,020	0,079	0,070	0,250
RD033	45	0,020	0,095	0,070	0,320
RD083	23	0,020	0,048	0,040	0,180
RD044	40	0,020	0,075	0,060	0,170
RD045	45	0,010	0,082	0,060	0,350
RD053	44	0,010	0,076	0,050	0,400
RD058	40	0,010	0,071	0,045	0,260
RD059	45	0,010	0,070	0,050	0,360
RD067	44	0,010	0,073	0,040	0,400
RDC1E010	8	0,070	0,164	0,110	0,450
RDC1E015	6	0,050	0,157	0,125	0,400
RDC1D020	8	0,090	0,180	0,125	0,370
RDC1D025	7	0,040	0,107	0,120	0,150
RDC1E030	7	0,020	0,099	0,120	0,170

Fósforo Total (mg/L)
Rio Doce



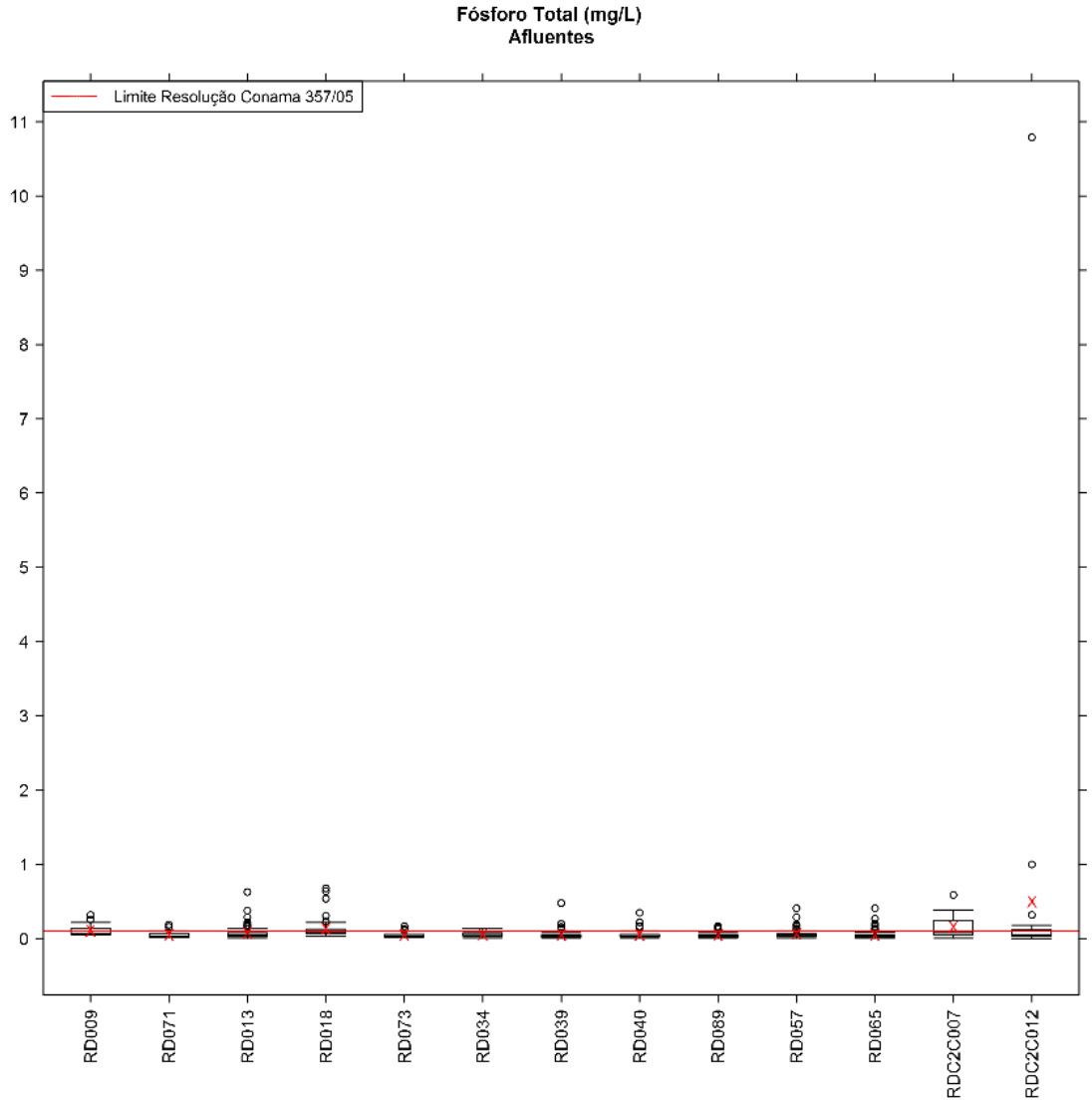

Fósforo Total (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
RDC1E010
RDC1E015
RDC1D020
RDC1D025
RD1E030
Limite Resolução Conama 357/05

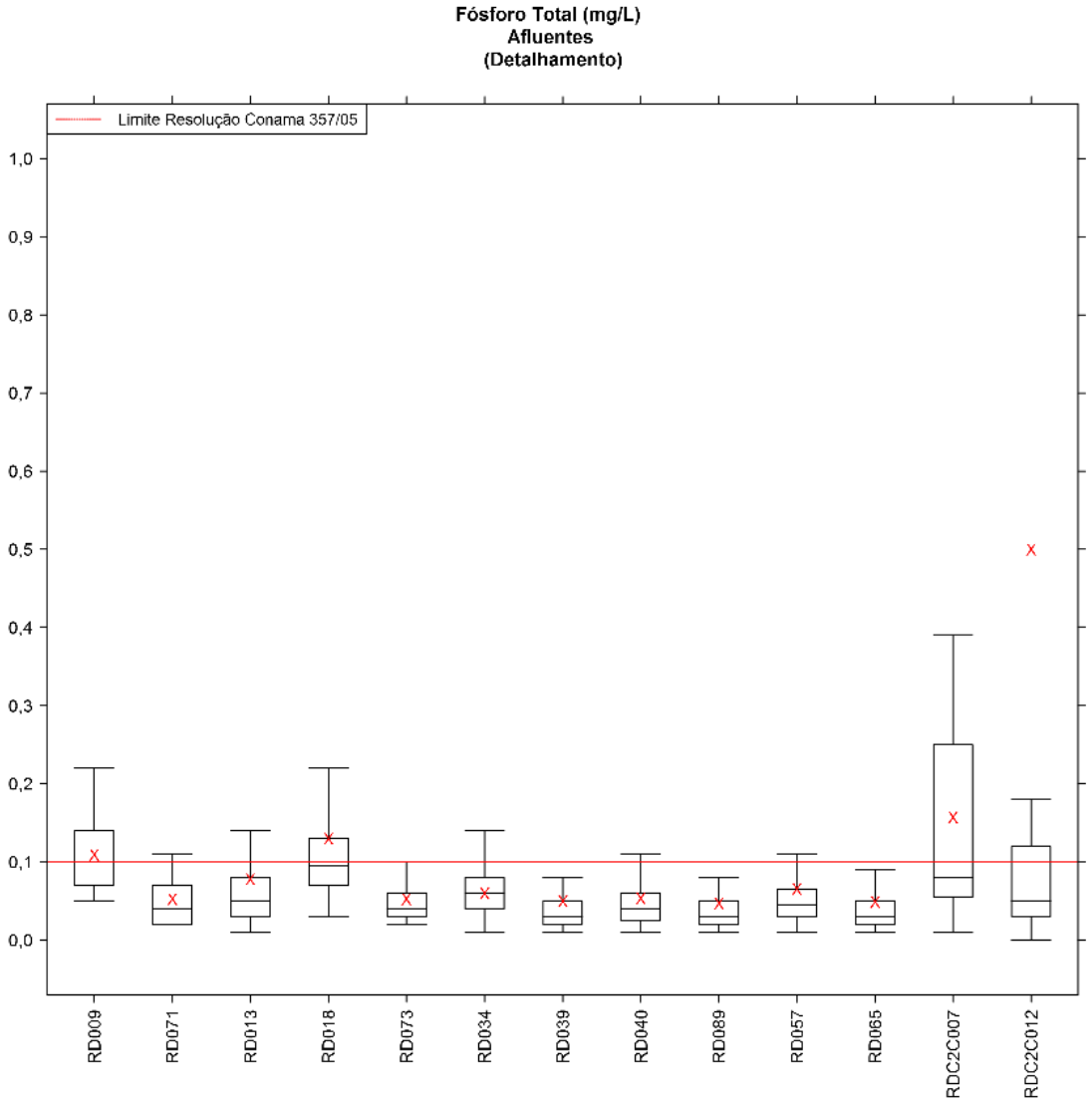
	Fósforo Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	0,050	0,109	0,100	0,320
RD071	29	0,020	0,052	0,040	0,190
RD013	88	0,010	0,078	0,050	0,630
RD018	64	0,030	0,130	0,095	0,680
RD073	29	0,020	0,052	0,040	0,170
RD034	64	0,010	0,060	0,060	0,140
RD039	72	0,010	0,049	0,030	0,480
RD040	64	0,010	0,053	0,040	0,350
RD089	30	0,010	0,047	0,030	0,170
RD057	72	0,010	0,065	0,045	0,410
RD065	72	0,010	0,049	0,030	0,410
RDC2C007	27	0,010	0,157	0,080	0,590
RDC2C012	27	0,000	0,500	0,050	10,790

	Fósforo Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,050	0,108	0,090	0,320
RD071	14	0,020	0,056	0,020	0,190
RD013	43	0,020	0,070	0,040	0,380
RD018	32	0,030	0,124	0,095	0,640
RD073	14	0,020	0,047	0,040	0,170
RD034	32	0,020	0,057	0,060	0,110
RD039	35	0,010	0,037	0,030	0,130
RD040	32	0,020	0,050	0,040	0,350
RD089	15	0,020	0,053	0,040	0,170
RD057	35	0,010	0,046	0,050	0,100
RD065	35	0,010	0,030	0,020	0,070
RDC2C007	18	0,010	0,103	0,080	0,290
RDC2C012	19	0,000	0,675	0,050	10,790

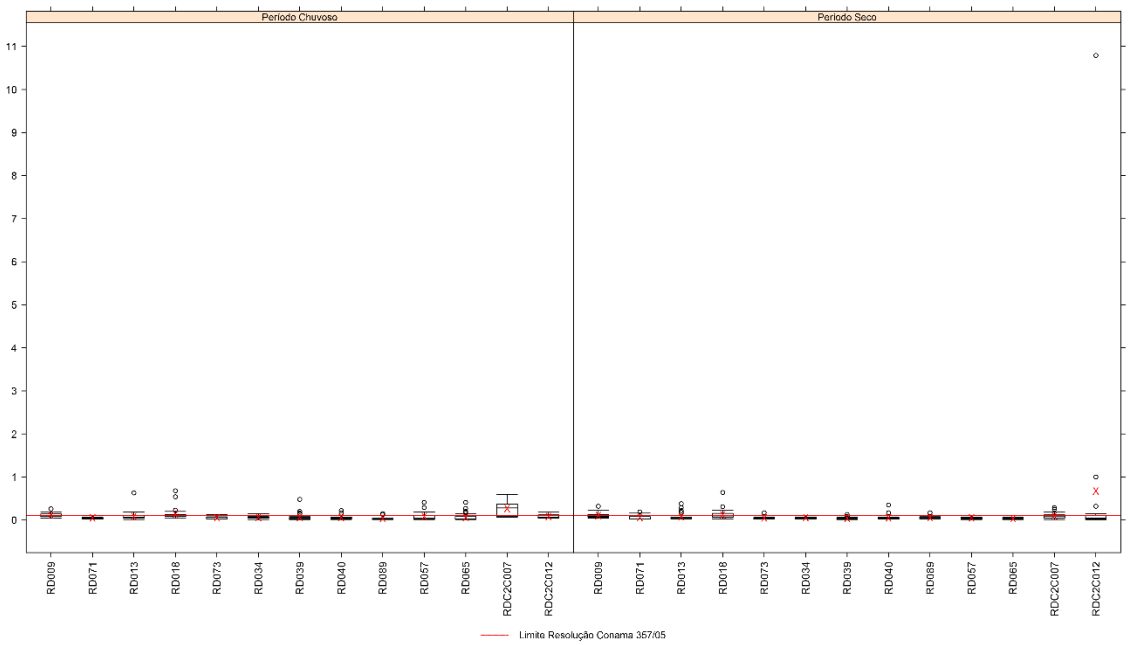
	Fósforo Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,050	0,110	0,100	0,260
RD071	15	0,020	0,049	0,050	0,110
RD013	45	0,010	0,085	0,060	0,630
RD018	32	0,040	0,135	0,095	0,680
RD073	15	0,020	0,057	0,060	0,130
RD034	32	0,010	0,063	0,060	0,140

	Fósforo Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD039	37	0,010	0,061	0,040	0,480
RD040	32	0,010	0,057	0,050	0,220
RD089	15	0,010	0,041	0,030	0,150
RD057	37	0,010	0,083	0,040	0,410
RD065	37	0,010	0,067	0,030	0,410
RDC2C007	9	0,060	0,266	0,280	0,590
RDC2C012	8	0,040	0,084	0,060	0,180

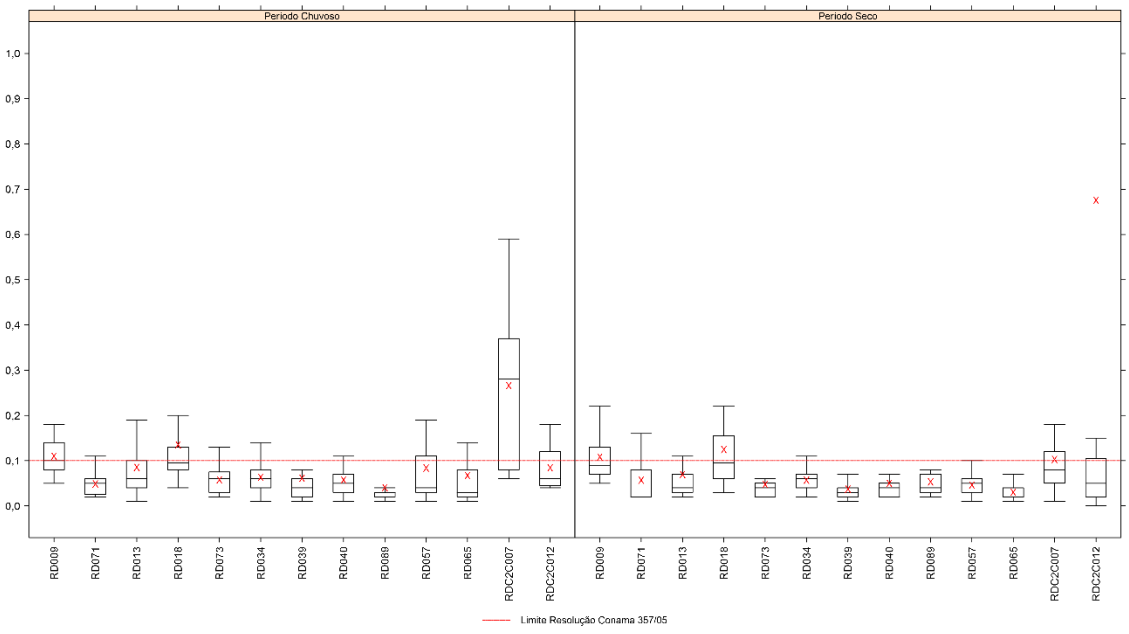



Fósforo Total (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012

Fósforo Total (mg/L)
Afluentes



Fósforo Total (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)



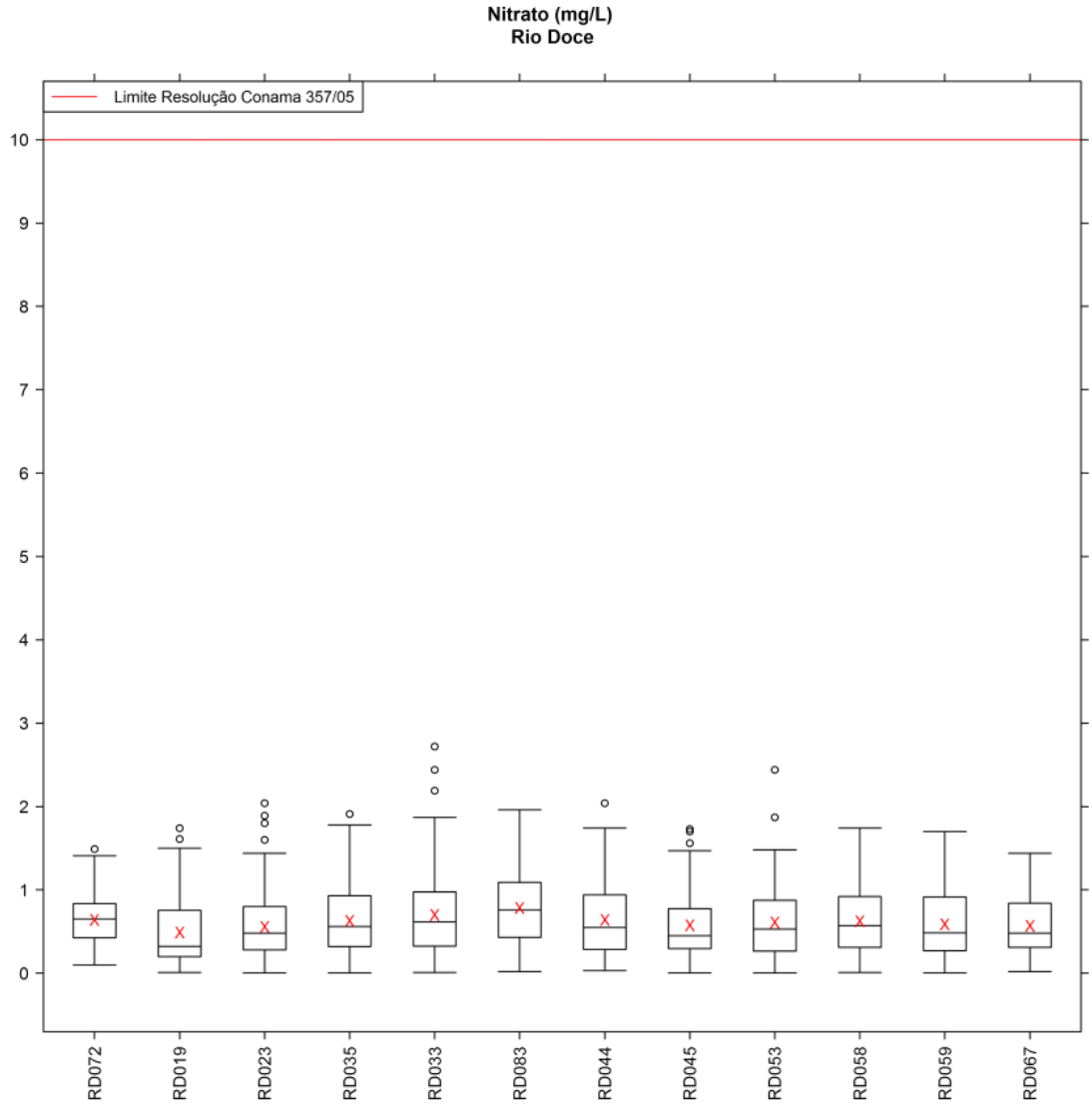
Nitrato

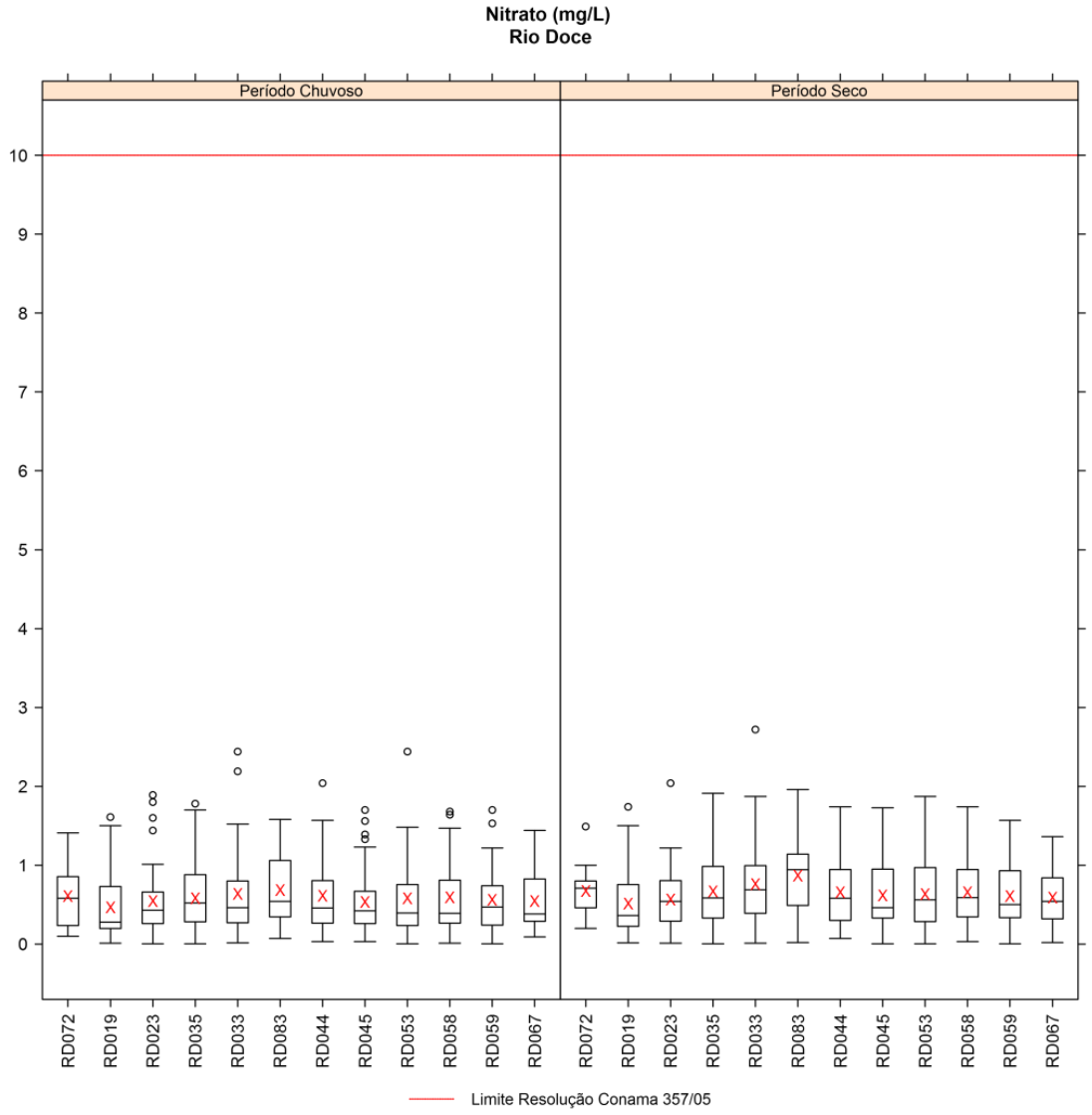
	Nitrato (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	0,100	0,641	0,650	1,490
RD019	92	0,010	0,489	0,320	1,740
RD023	92	0,005	0,555	0,480	2,040
RD035	85	0,003	0,627	0,560	1,910
RD033	92	0,010	0,700	0,615	2,720
RD083	49	0,020	0,783	0,760	1,960
RD044	83	0,030	0,637	0,550	2,040
RD045	92	0,004	0,576	0,450	1,730
RD053	91	0,005	0,608	0,530	2,440
RD058	83	0,010	0,625	0,570	1,740
RD059	92	0,004	0,585	0,485	1,700
RD067	90	0,020	0,567	0,480	1,440

	Nitrato (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	0,200	0,671	0,710	1,490
RD019	47	0,015	0,512	0,360	1,740
RD023	47	0,010	0,564	0,540	2,040
RD035	44	0,004	0,669	0,585	1,910
RD033	47	0,010	0,759	0,690	2,720
RD083	26	0,020	0,870	0,945	1,960
RD044	43	0,070	0,658	0,580	1,740
RD045	47	0,004	0,615	0,460	1,730
RD053	47	0,005	0,633	0,560	1,870
RD058	43	0,030	0,657	0,590	1,740
RD059	47	0,004	0,609	0,500	1,570
RD067	46	0,020	0,587	0,540	1,360

	Nitrato (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	0,100	0,608	0,580	1,410
RD019	45	0,010	0,464	0,280	1,610
RD023	45	0,005	0,546	0,430	1,890
RD035	41	0,003	0,583	0,520	1,780
RD033	45	0,014	0,638	0,460	2,440
RD083	23	0,070	0,686	0,540	1,580
RD044	40	0,030	0,615	0,457	2,040

	Nitrato (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	45	0,030	0,535	0,420	1,700
RD053	44	0,005	0,581	0,392	2,440
RD058	40	0,010	0,591	0,390	1,680
RD059	45	0,005	0,560	0,470	1,700
RD067	44	0,090	0,545	0,380	1,440



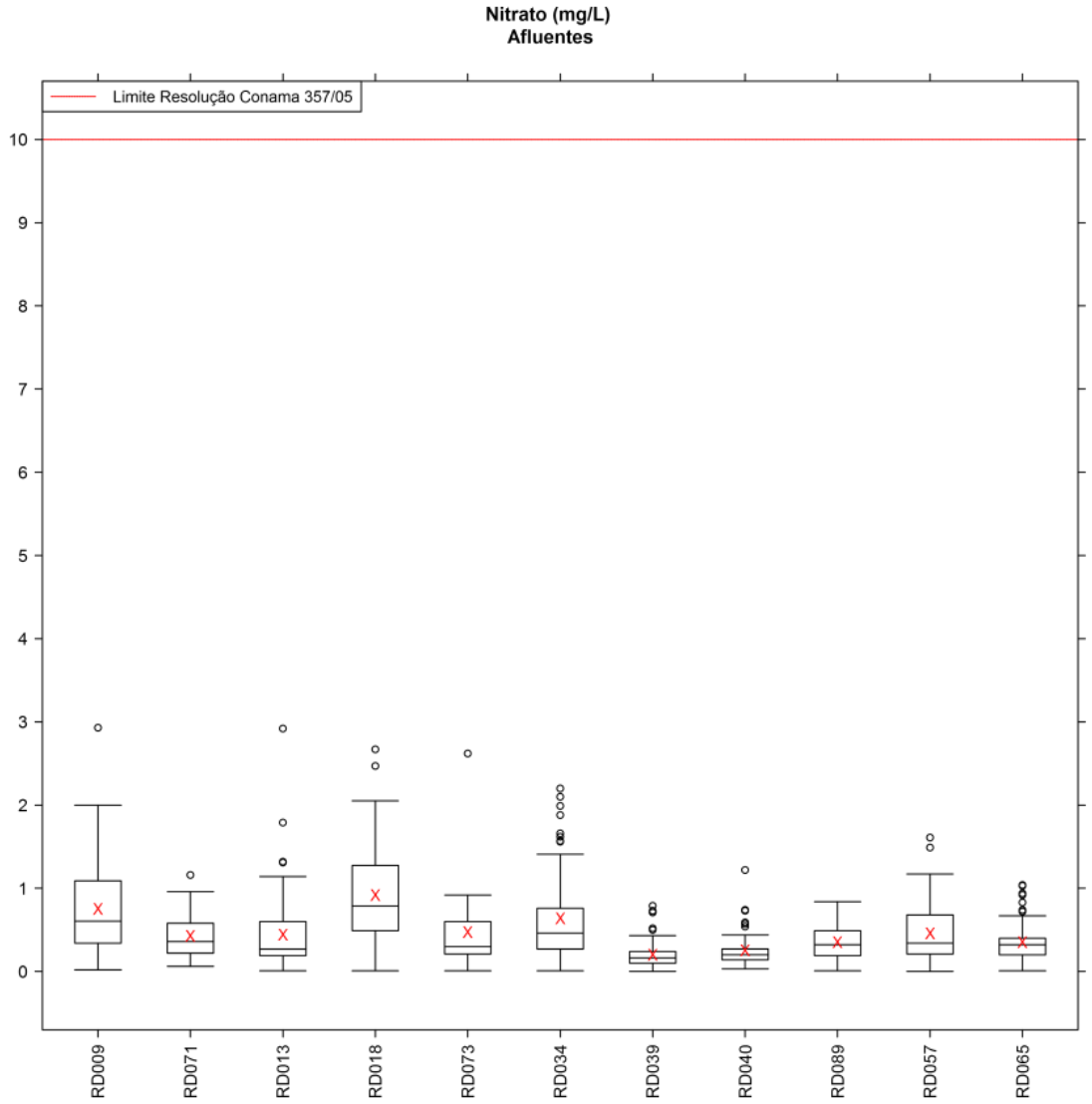

Nitrato (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
Limite Resolução Conama 357/05

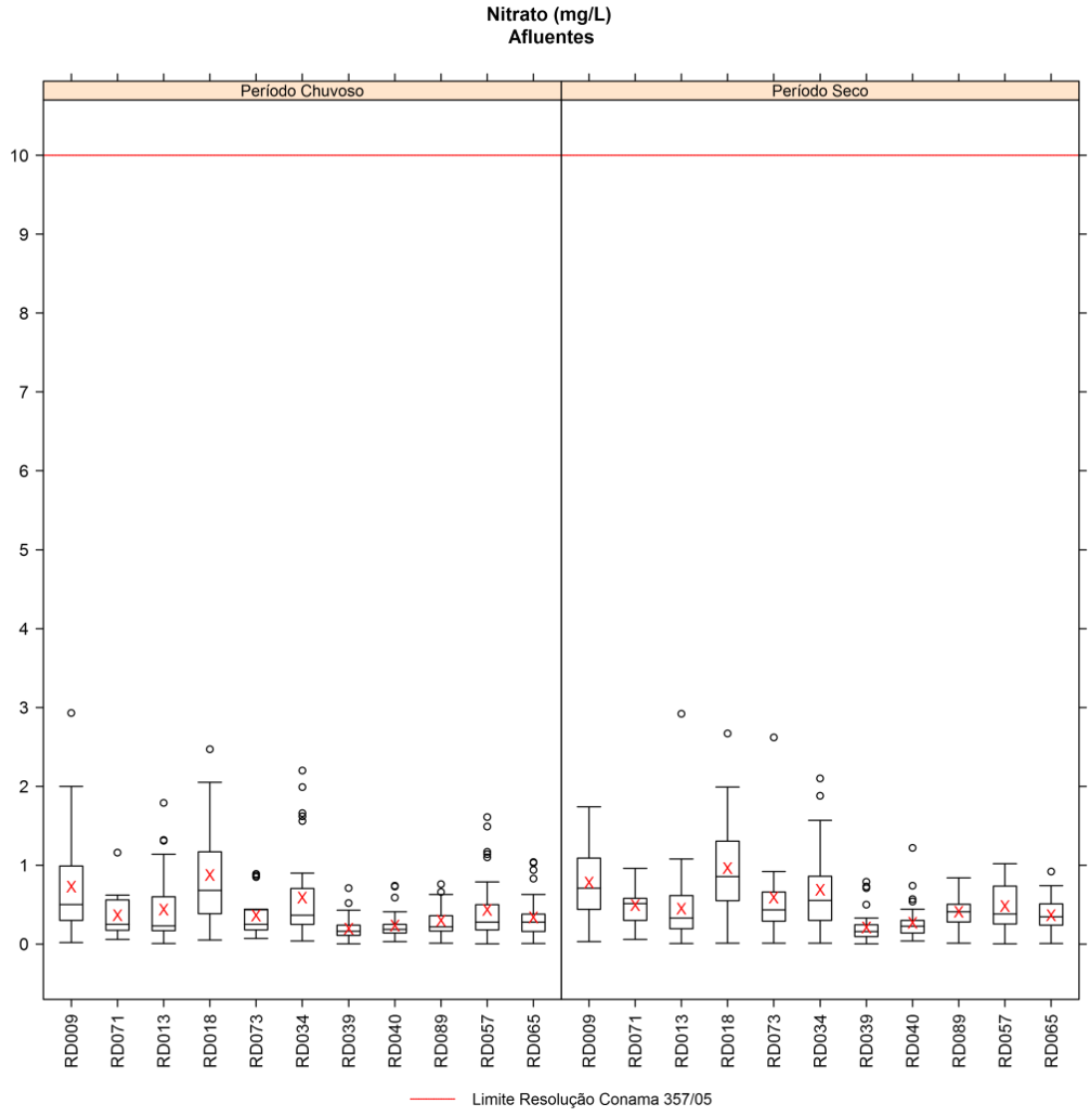
	Nitrato (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	0,020	0,754	0,605	2,930
RD071	29	0,060	0,427	0,360	1,160
RD013	89	0,007	0,442	0,270	2,920
RD018	64	0,010	0,920	0,785	2,670
RD073	29	0,010	0,472	0,300	2,620
RD034	64	0,010	0,640	0,460	2,200
RD039	73	0,002	0,202	0,164	0,790
RD040	64	0,030	0,252	0,200	1,220
RD089	30	0,010	0,354	0,320	0,840
RD057	73	0,002	0,458	0,340	1,610
RD065	73	0,007	0,353	0,320	1,040

	Nitrato (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,030	0,781	0,710	1,740
RD071	14	0,060	0,491	0,515	0,960
RD013	44	0,007	0,448	0,330	2,920
RD018	32	0,010	0,964	0,855	2,670
RD073	14	0,010	0,588	0,435	2,620
RD034	32	0,010	0,688	0,555	2,100
RD039	36	0,002	0,211	0,160	0,790
RD040	32	0,040	0,272	0,225	1,220
RD089	15	0,010	0,409	0,410	0,840
RD057	36	0,002	0,482	0,380	1,020
RD065	36	0,007	0,367	0,345	0,920

	Nitrato (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,020	0,727	0,500	2,930
RD071	15	0,060	0,367	0,250	1,160
RD013	45	0,007	0,437	0,230	1,790
RD018	32	0,050	0,876	0,680	2,470
RD073	15	0,070	0,363	0,250	0,890
RD034	32	0,040	0,591	0,365	2,200
RD039	37	0,003	0,193	0,164	0,710
RD040	32	0,030	0,233	0,185	0,740
RD089	15	0,010	0,298	0,220	0,760
RD057	37	0,002	0,435	0,280	1,610

	Nitrato (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	37	0,007	0,339	0,280	1,040




Nitrato (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
Limite Resolução Conama 357/05

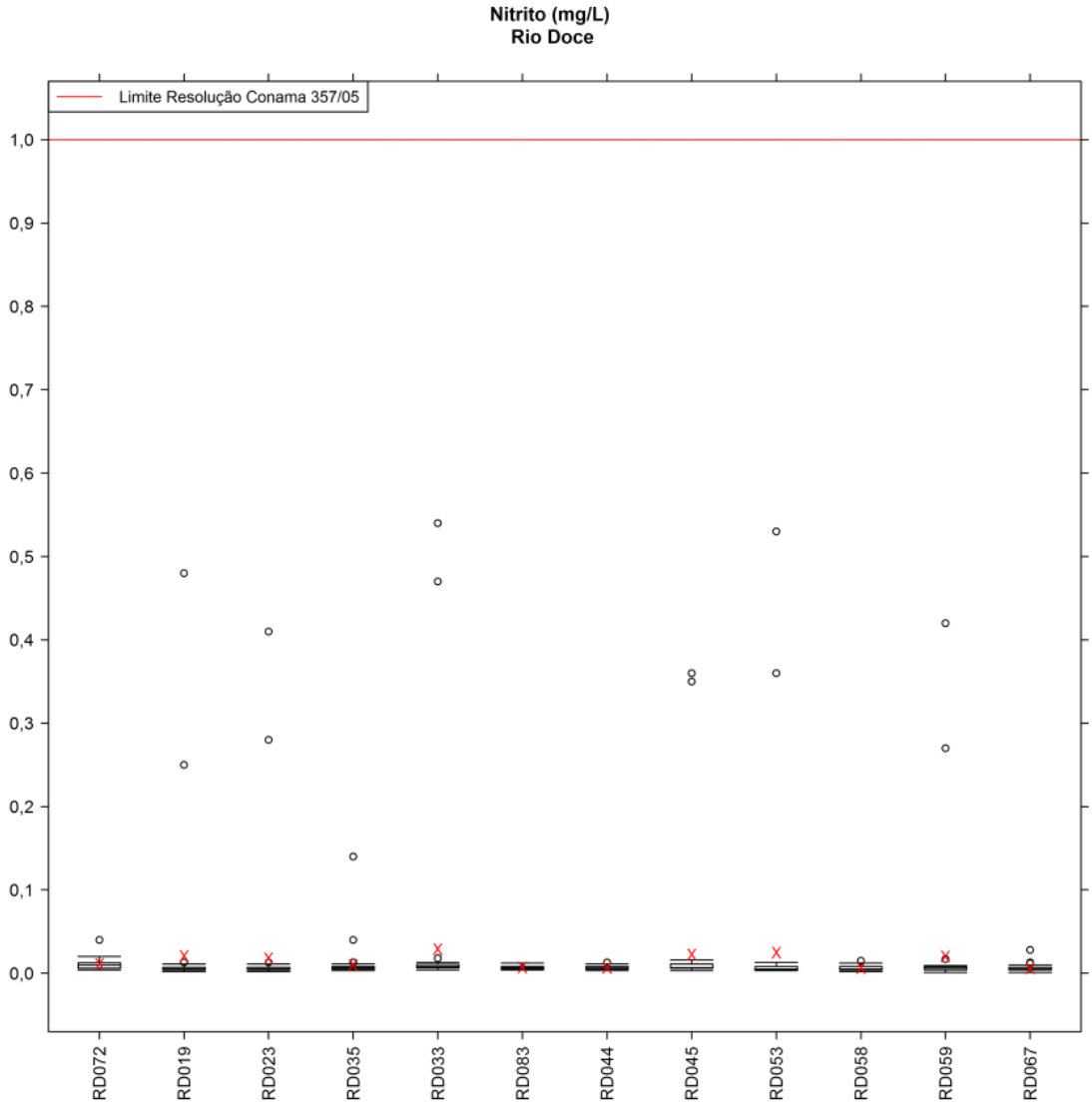
Nitrito

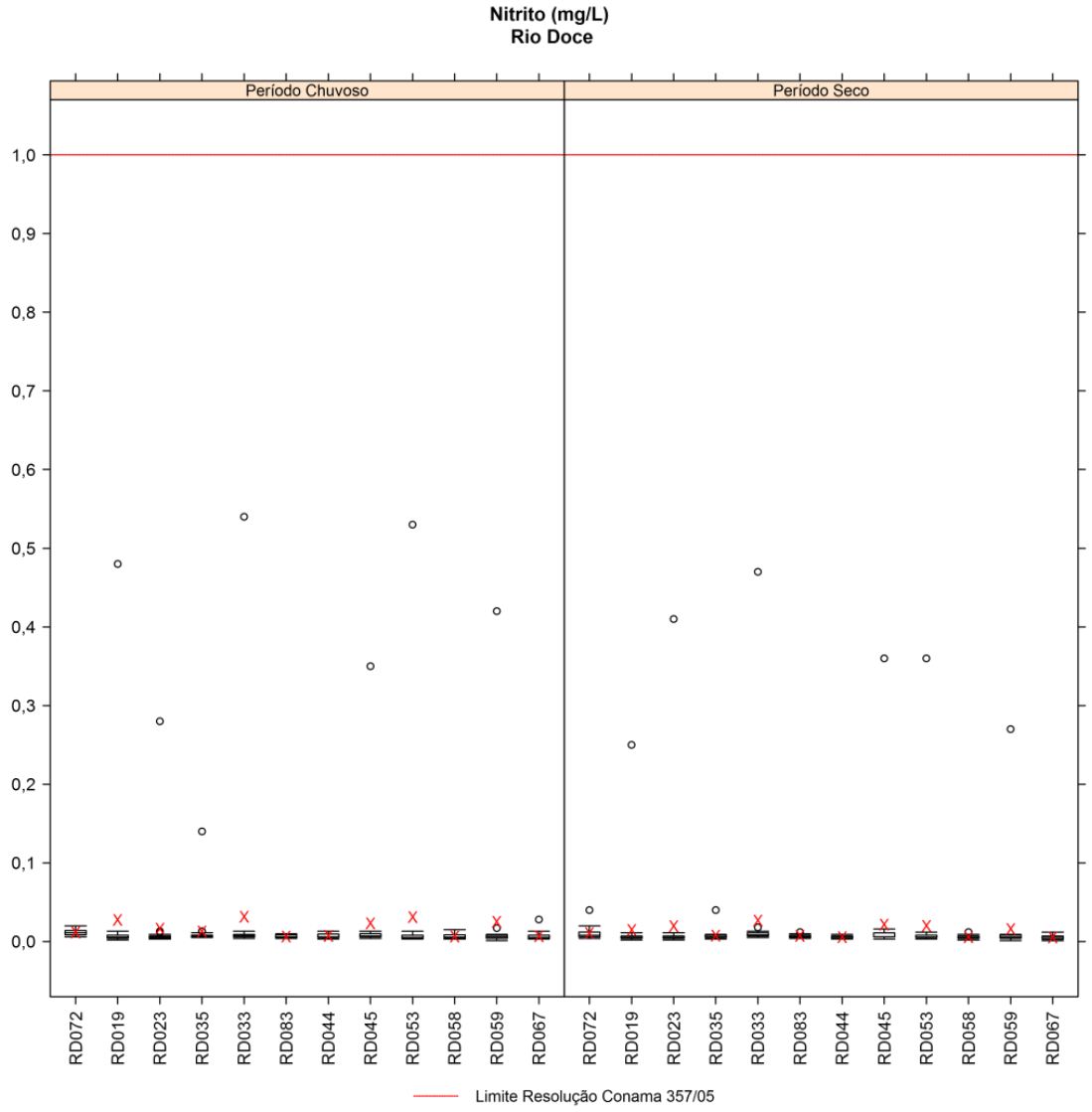
	Nitrito (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	31	0,004	0,011	0,010	0,040
RD019	48	0,002	0,021	0,005	0,480
RD023	56	0,002	0,018	0,005	0,410
RD035	52	0,003	0,010	0,007	0,140
RD033	48	0,004	0,029	0,008	0,540
RD083	20	0,004	0,007	0,007	0,012
RD044	42	0,003	0,006	0,006	0,013
RD045	48	0,003	0,022	0,007	0,360
RD053	47	0,003	0,025	0,005	0,530
RD058	50	0,002	0,006	0,005	0,015
RD059	48	0,001	0,020	0,006	0,420
RD067	55	0,001	0,006	0,005	0,028

	Nitrito (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	16	0,004	0,011	0,008	0,040
RD019	26	0,002	0,015	0,005	0,250
RD023	29	0,002	0,019	0,005	0,410
RD035	27	0,003	0,007	0,006	0,040
RD033	26	0,005	0,027	0,009	0,470
RD083	12	0,004	0,007	0,007	0,012
RD044	23	0,003	0,006	0,006	0,009
RD045	26	0,003	0,021	0,006	0,360
RD053	26	0,003	0,020	0,006	0,360
RD058	26	0,002	0,006	0,005	0,012
RD059	26	0,001	0,016	0,006	0,270
RD067	28	0,001	0,005	0,005	0,012

	Nitrito (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,006	0,011	0,011	0,020
RD019	22	0,002	0,028	0,006	0,480
RD023	27	0,003	0,016	0,006	0,280
RD035	25	0,005	0,013	0,007	0,140
RD033	22	0,004	0,032	0,007	0,540
RD083	8	0,004	0,007	0,006	0,010
RD044	19	0,003	0,007	0,006	0,013

	Nitrito (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	22	0,004	0,023	0,007	0,350
RD053	21	0,003	0,031	0,005	0,530
RD058	24	0,003	0,007	0,006	0,015
RD059	22	0,001	0,025	0,006	0,420
RD067	27	0,003	0,007	0,005	0,028



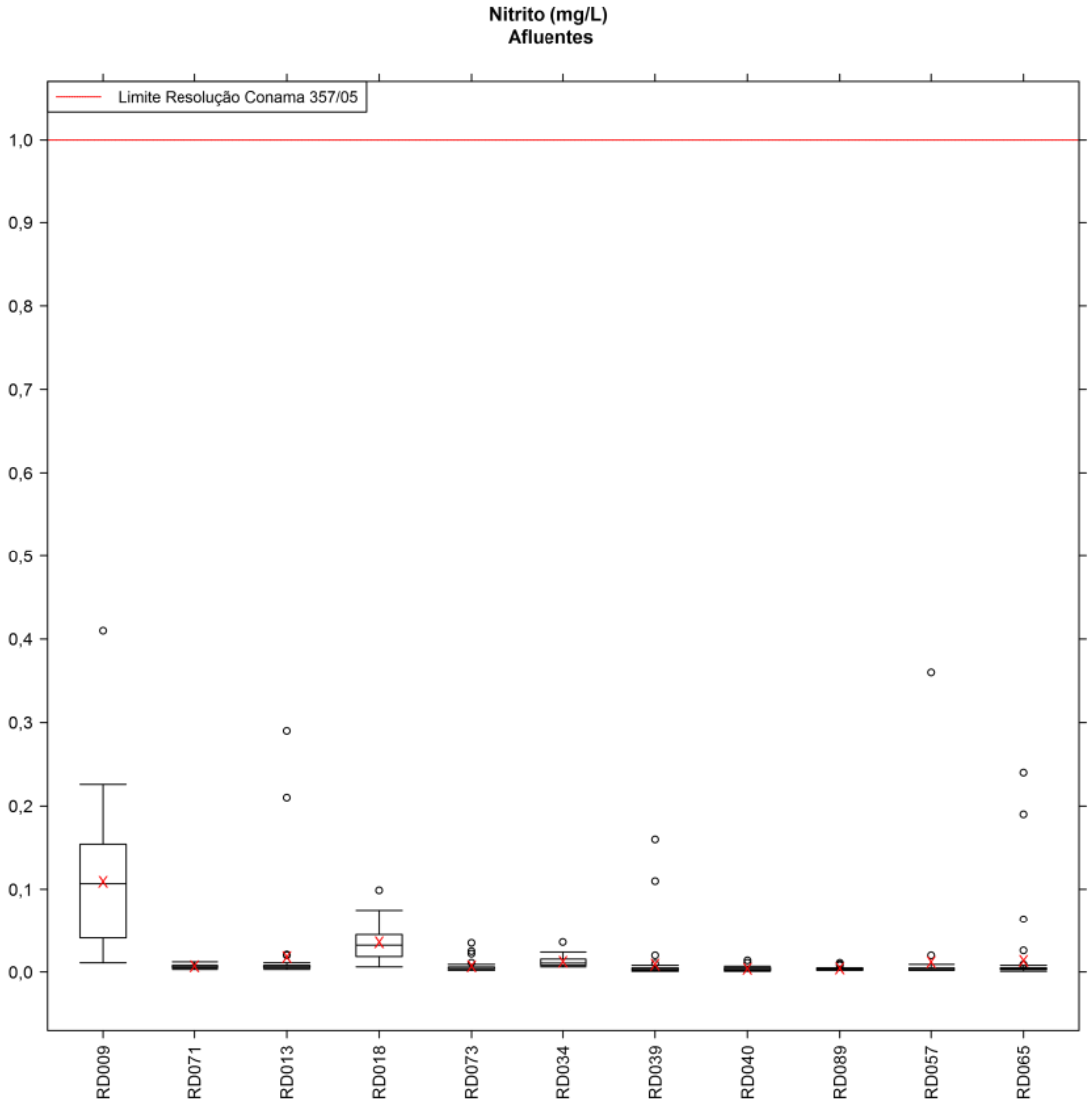

Nitrito (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
Limite Resolução Conama 357/05

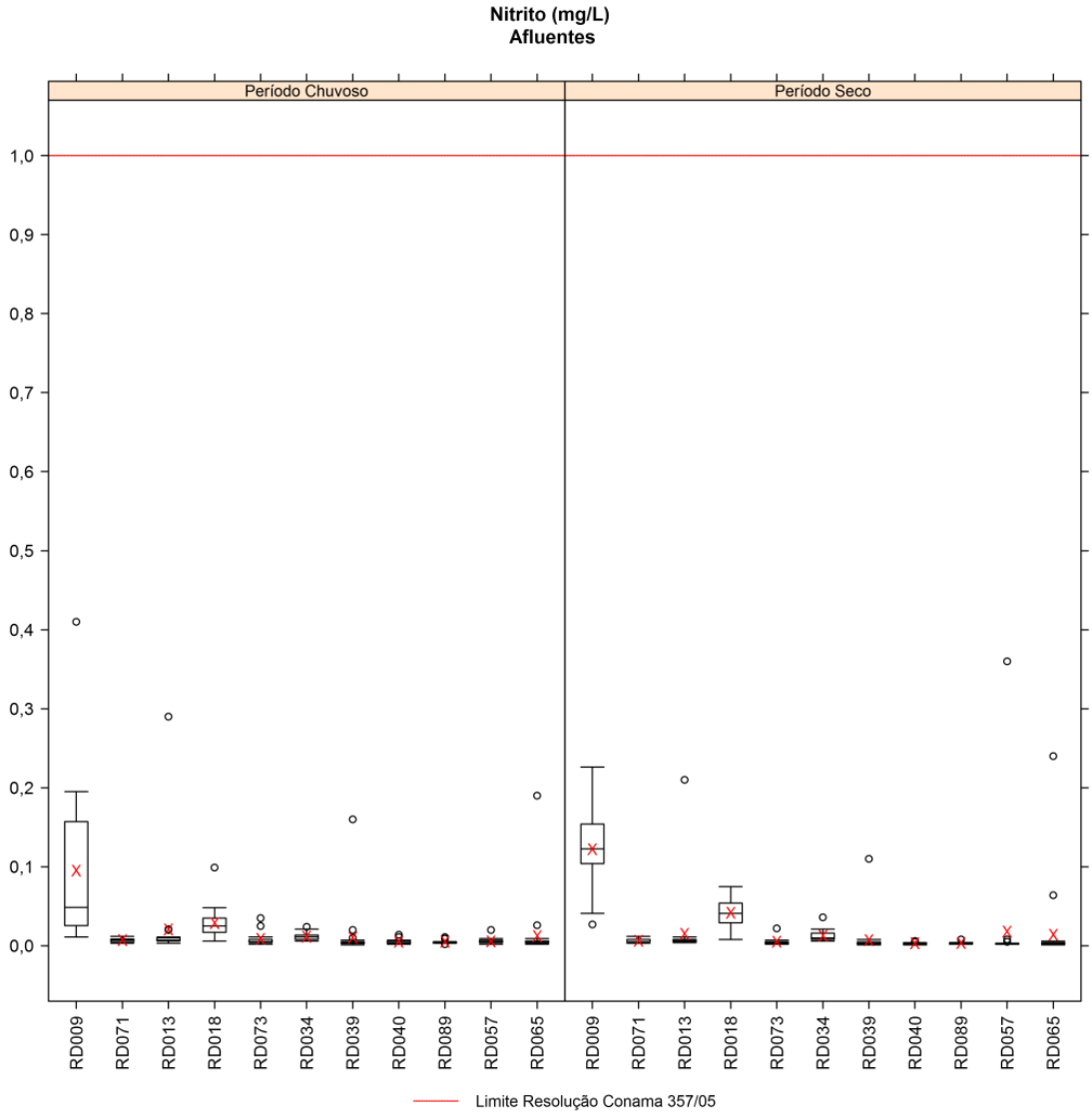
	Nitrito (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	42	0,011	0,109	0,107	0,410
RD071	29	0,003	0,007	0,006	0,012
RD013	46	0,003	0,018	0,007	0,290
RD018	40	0,006	0,036	0,032	0,099
RD073	29	0,002	0,007	0,004	0,035
RD034	40	0,006	0,012	0,011	0,036
RD039	54	0,001	0,009	0,003	0,160
RD040	40	0,001	0,004	0,003	0,014
RD089	19	0,002	0,004	0,004	0,011
RD057	46	0,002	0,012	0,003	0,360
RD065	54	0,001	0,013	0,004	0,240

	Nitrito (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	22	0,027	0,122	0,123	0,226
RD071	14	0,003	0,007	0,005	0,012
RD013	24	0,004	0,015	0,007	0,210
RD018	21	0,008	0,042	0,041	0,075
RD073	14	0,002	0,005	0,004	0,022
RD034	21	0,006	0,013	0,010	0,036
RD039	27	0,001	0,007	0,003	0,110
RD040	21	0,001	0,003	0,003	0,006
RD089	10	0,002	0,004	0,003	0,008
RD057	24	0,002	0,018	0,003	0,360
RD065	27	0,001	0,014	0,003	0,240

	Nitrito (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	20	0,011	0,095	0,049	0,410
RD071	15	0,003	0,007	0,007	0,012
RD013	22	0,003	0,021	0,007	0,290
RD018	19	0,006	0,029	0,025	0,099
RD073	15	0,002	0,009	0,005	0,035
RD034	19	0,006	0,012	0,011	0,024
RD039	27	0,001	0,010	0,004	0,160
RD040	19	0,002	0,005	0,004	0,014
RD089	9	0,002	0,005	0,004	0,011
RD057	22	0,002	0,006	0,005	0,020

	Nitrito (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	27	0,002	0,012	0,005	0,190




Nitrito (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
Limite Resolução Conama 357/05

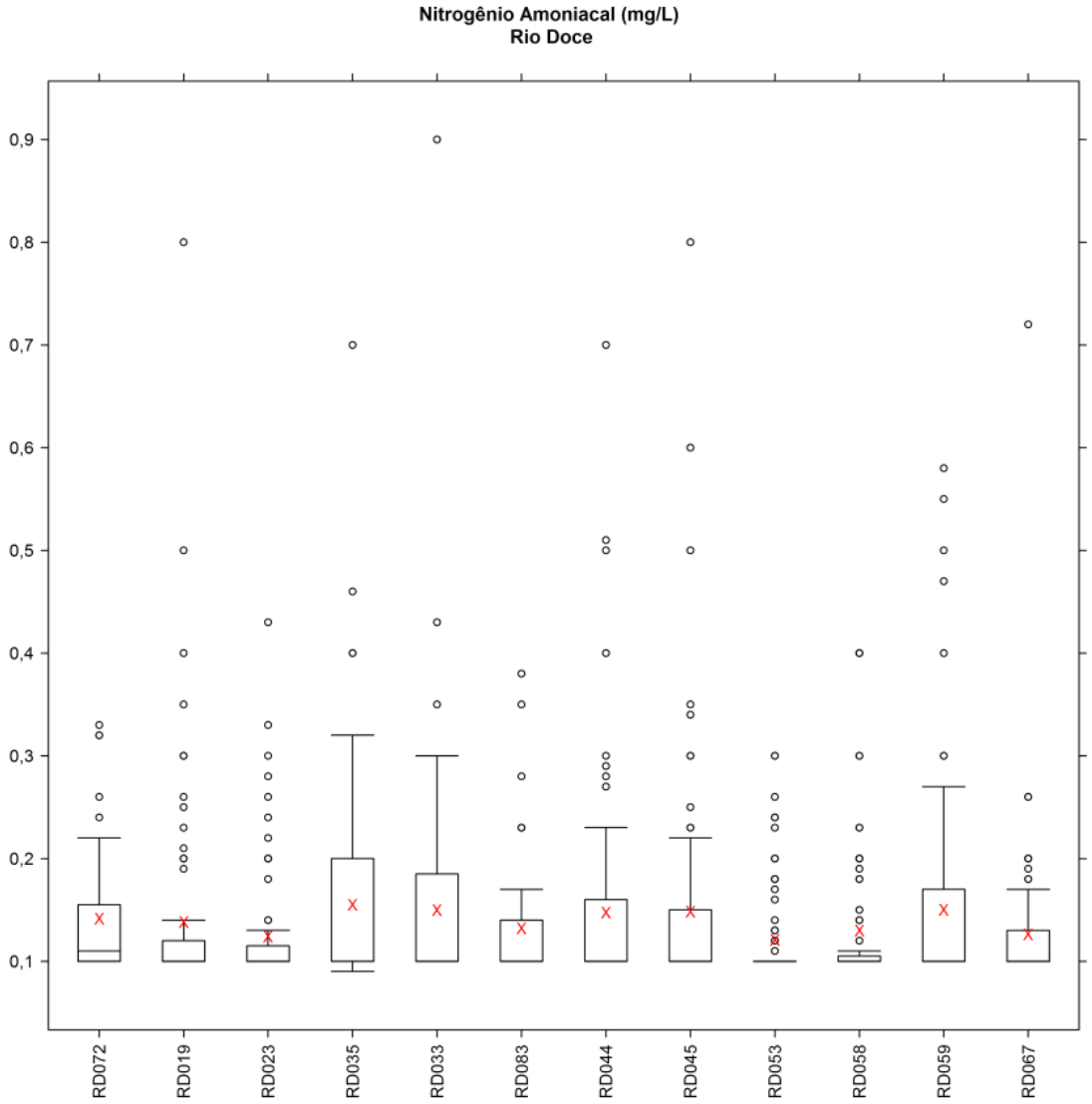
Nitrogênio Amoniacal

	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	0,100	0,141	0,110	0,330
RD019	92	0,100	0,138	0,100	0,800
RD023	92	0,100	0,124	0,100	0,430
RD035	85	0,090	0,155	0,100	0,700
RD033	92	0,100	0,150	0,100	0,900
RD083	49	0,100	0,132	0,100	0,380
RD044	83	0,100	0,147	0,100	0,700
RD045	92	0,100	0,148	0,100	0,800
RD053	91	0,100	0,121	0,100	0,300
RD058	83	0,100	0,130	0,100	0,400
RD059	92	0,100	0,150	0,100	0,580
RD067	90	0,100	0,126	0,100	0,720

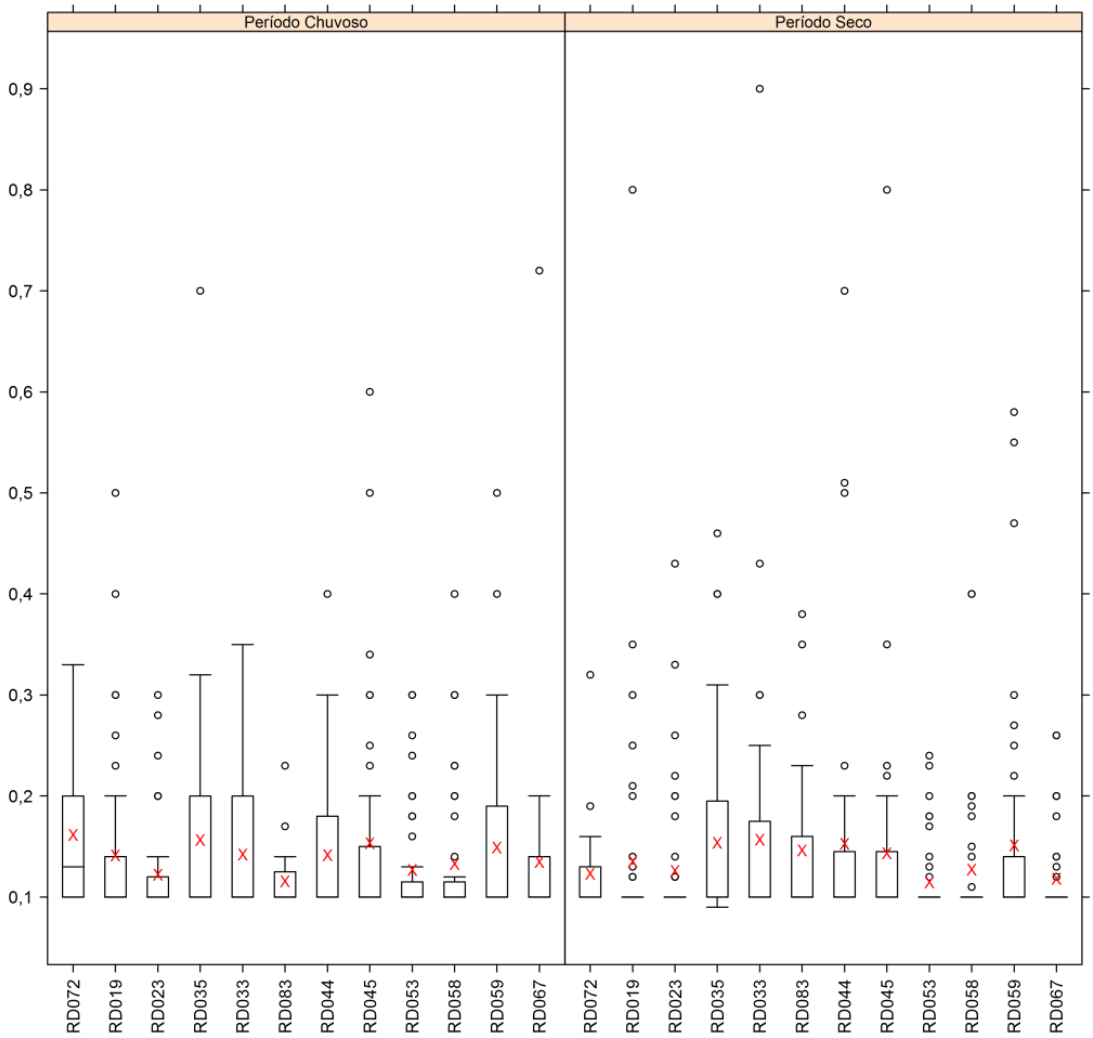
	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	0,100	0,123	0,100	0,320
RD019	47	0,100	0,135	0,100	0,800
RD023	47	0,100	0,126	0,100	0,430
RD035	44	0,090	0,154	0,100	0,460
RD033	47	0,100	0,157	0,100	0,900
RD083	26	0,100	0,146	0,100	0,380
RD044	43	0,100	0,153	0,100	0,700
RD045	47	0,100	0,143	0,100	0,800
RD053	47	0,100	0,115	0,100	0,240
RD058	43	0,100	0,127	0,100	0,400
RD059	47	0,100	0,151	0,100	0,580
RD067	46	0,100	0,118	0,100	0,260

	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	0,100	0,161	0,130	0,330
RD019	45	0,100	0,141	0,100	0,500
RD023	45	0,100	0,122	0,100	0,300
RD035	41	0,100	0,156	0,100	0,700
RD033	45	0,100	0,142	0,100	0,350
RD083	23	0,100	0,116	0,100	0,230
RD044	40	0,100	0,142	0,100	0,400

	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	45	0,100	0,153	0,100	0,600
RD053	44	0,100	0,127	0,100	0,300
RD058	40	0,100	0,133	0,100	0,400
RD059	45	0,100	0,149	0,100	0,500
RD067	44	0,100	0,135	0,100	0,720



Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Rio Doce

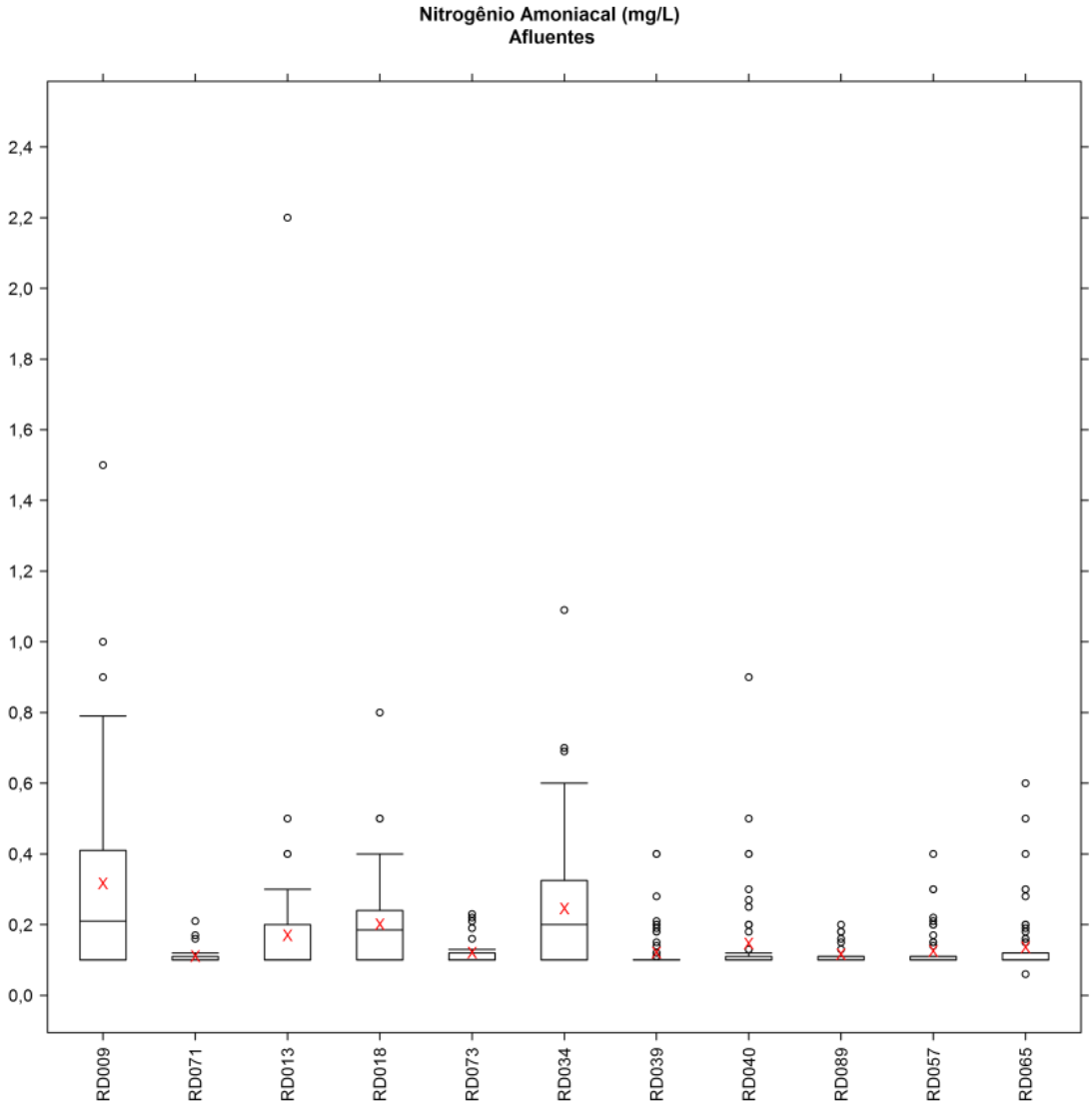


	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	0,100	0,317	0,210	1,500
RD071	29	0,100	0,111	0,100	0,210
RD013	89	0,100	0,170	0,100	2,200
RD018	64	0,100	0,201	0,185	0,800
RD073	29	0,100	0,121	0,100	0,230
RD034	64	0,100	0,245	0,200	1,090
RD039	73	0,100	0,121	0,100	0,400
RD040	64	0,100	0,147	0,100	0,900
RD089	30	0,100	0,116	0,100	0,200
RD057	73	0,100	0,125	0,100	0,400
RD065	73	0,060	0,136	0,100	0,600

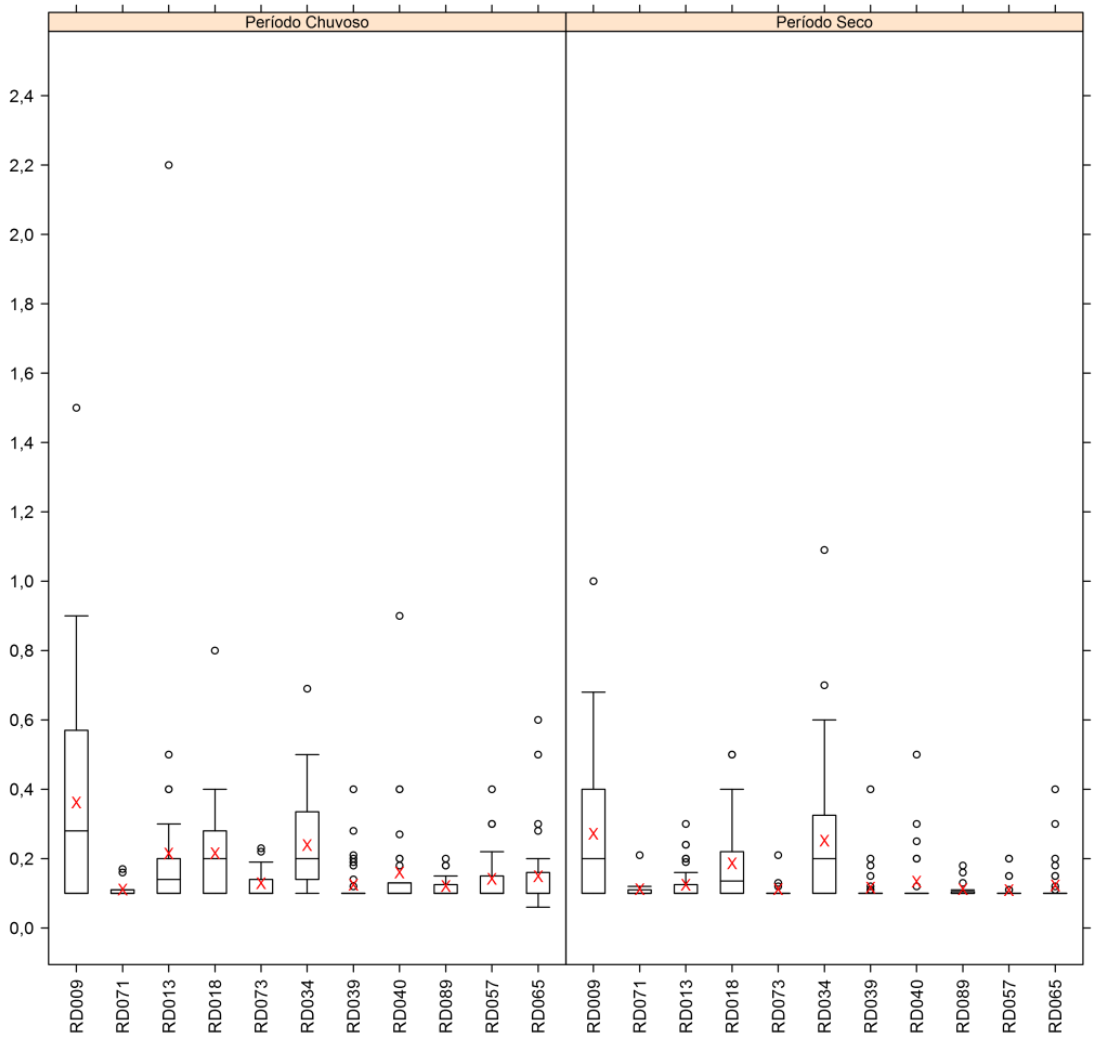
	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,100	0,272	0,200	1,000
RD071	14	0,100	0,111	0,100	0,210
RD013	44	0,100	0,124	0,100	0,300
RD018	32	0,100	0,187	0,135	0,500
RD073	14	0,100	0,111	0,100	0,210
RD034	32	0,100	0,252	0,200	1,090
RD039	36	0,100	0,116	0,100	0,400
RD040	32	0,100	0,133	0,100	0,500
RD089	15	0,100	0,112	0,100	0,180
RD057	36	0,100	0,109	0,100	0,200
RD065	36	0,100	0,123	0,100	0,400

	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,100	0,362	0,280	1,500
RD071	15	0,100	0,111	0,100	0,170
RD013	45	0,100	0,215	0,140	2,200
RD018	32	0,100	0,215	0,200	0,800
RD073	15	0,100	0,129	0,100	0,230
RD034	32	0,100	0,239	0,200	0,690
RD039	37	0,100	0,125	0,100	0,400
RD040	32	0,100	0,160	0,100	0,900
RD089	15	0,100	0,121	0,100	0,200
RD057	37	0,100	0,141	0,100	0,400

	Nitrogênio Amoniacal (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	37	0,060	0,149	0,100	0,600



Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Afluentes



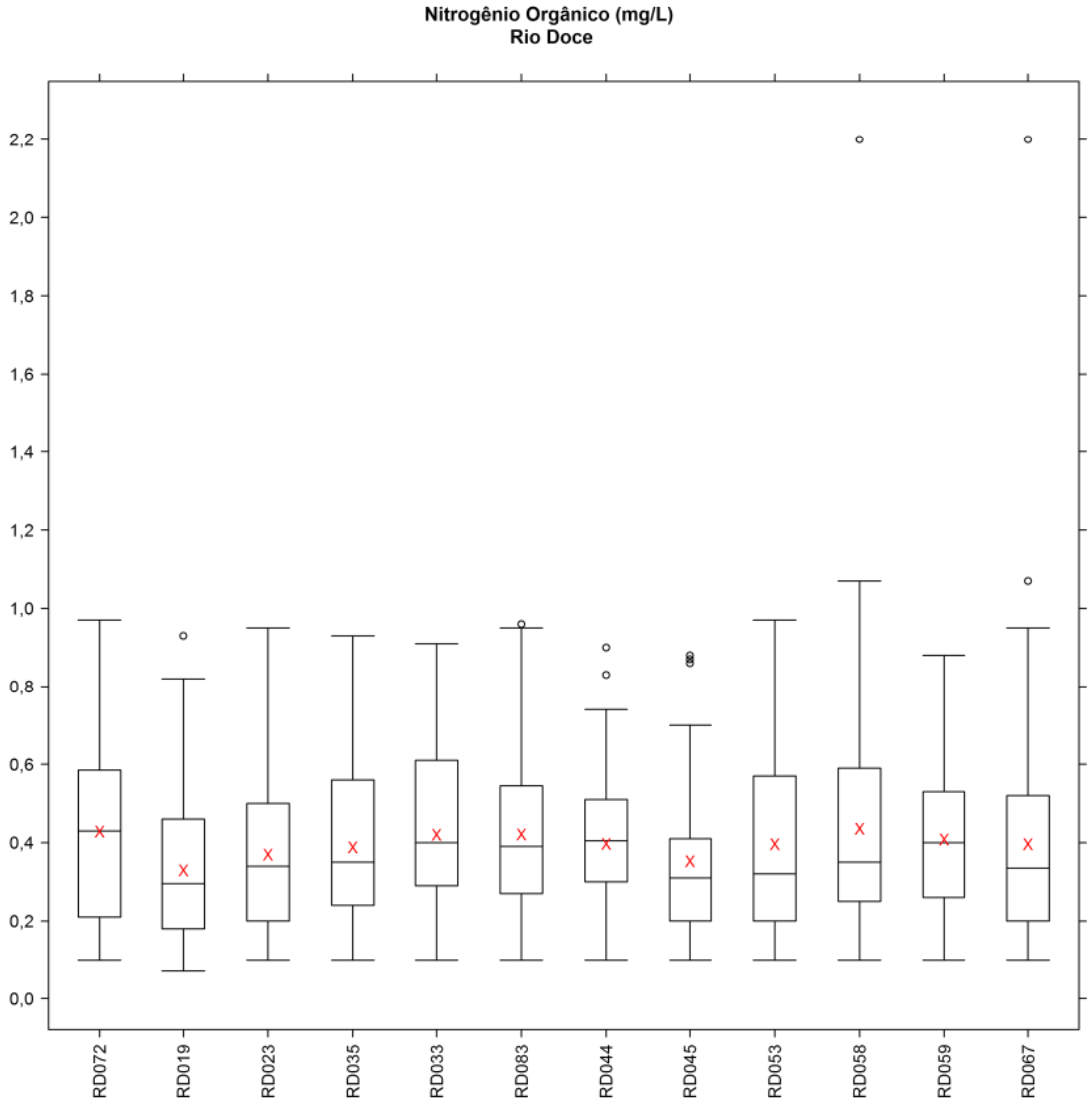
Nitrogênio Orgânico

	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	0,100	0,428	0,430	0,970
RD019	62	0,070	0,329	0,295	0,930
RD023	66	0,100	0,370	0,340	0,950
RD035	62	0,100	0,388	0,350	0,930
RD033	62	0,100	0,420	0,400	0,910
RD083	39	0,100	0,421	0,390	0,960
RD044	58	0,100	0,397	0,405	0,900
RD045	61	0,100	0,352	0,310	0,880
RD053	61	0,100	0,396	0,320	0,970
RD058	62	0,100	0,435	0,350	2,200
RD059	62	0,100	0,408	0,400	0,880
RD067	66	0,100	0,396	0,335	2,200

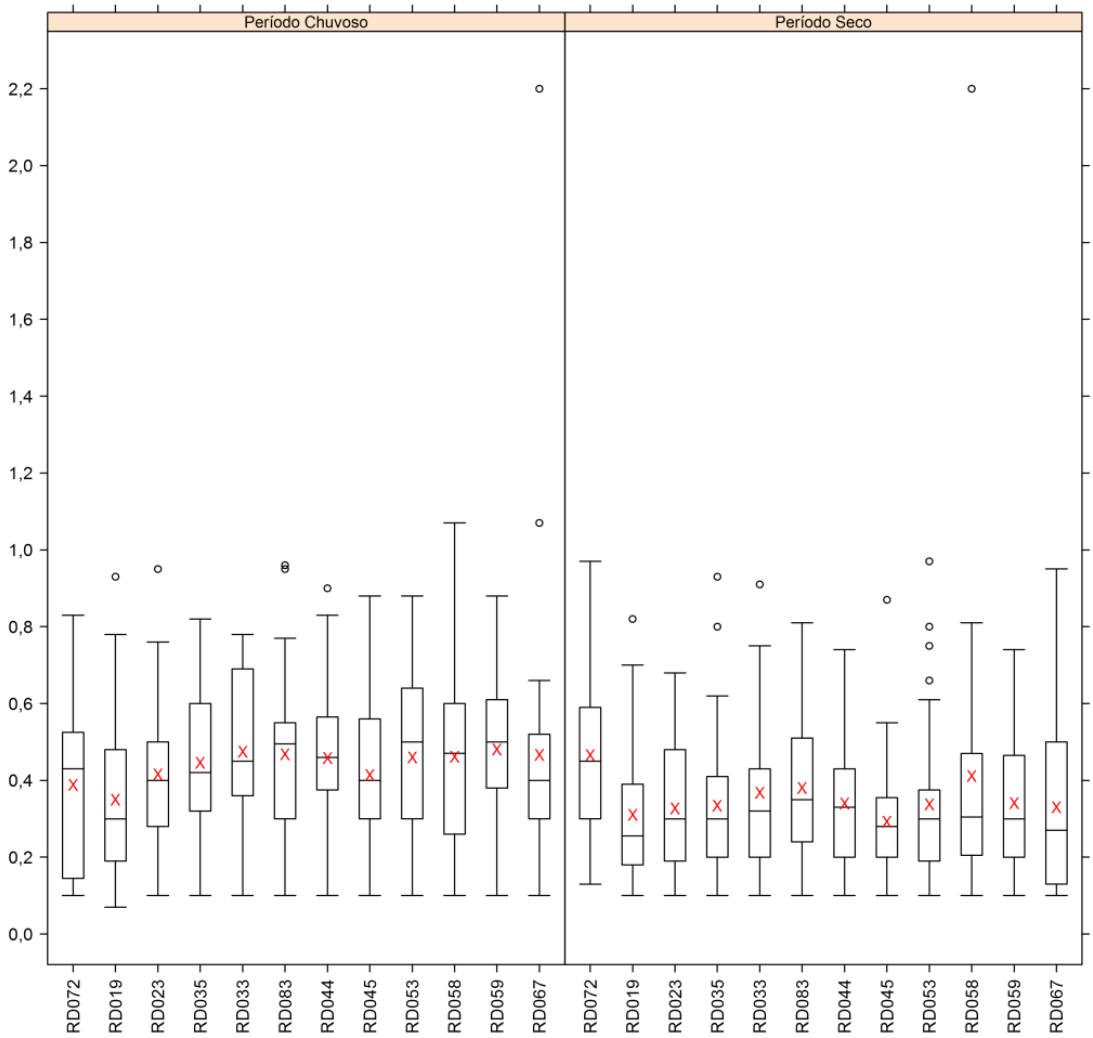
	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	0,130	0,465	0,450	0,970
RD019	32	0,100	0,310	0,255	0,820
RD023	34	0,100	0,327	0,300	0,680
RD035	32	0,100	0,334	0,300	0,930
RD033	32	0,100	0,368	0,320	0,910
RD083	21	0,100	0,380	0,350	0,810
RD044	30	0,100	0,340	0,330	0,740
RD045	31	0,100	0,292	0,280	0,870
RD053	32	0,100	0,337	0,300	0,970
RD058	32	0,100	0,411	0,305	2,200
RD059	32	0,100	0,340	0,300	0,740
RD067	34	0,100	0,330	0,270	0,950

	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	0,100	0,388	0,430	0,830
RD019	30	0,070	0,350	0,300	0,930
RD023	32	0,100	0,415	0,400	0,950
RD035	30	0,100	0,446	0,420	0,820
RD033	30	0,100	0,475	0,450	0,780
RD083	18	0,100	0,468	0,495	0,960
RD044	28	0,100	0,458	0,460	0,900

	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	30	0,100	0,414	0,400	0,880
RD053	29	0,100	0,460	0,500	0,880
RD058	30	0,100	0,461	0,470	1,070
RD059	30	0,100	0,480	0,500	0,880
RD067	32	0,100	0,466	0,400	2,200



Nitrogênio Orgânico (mg/L)
Rio Doce

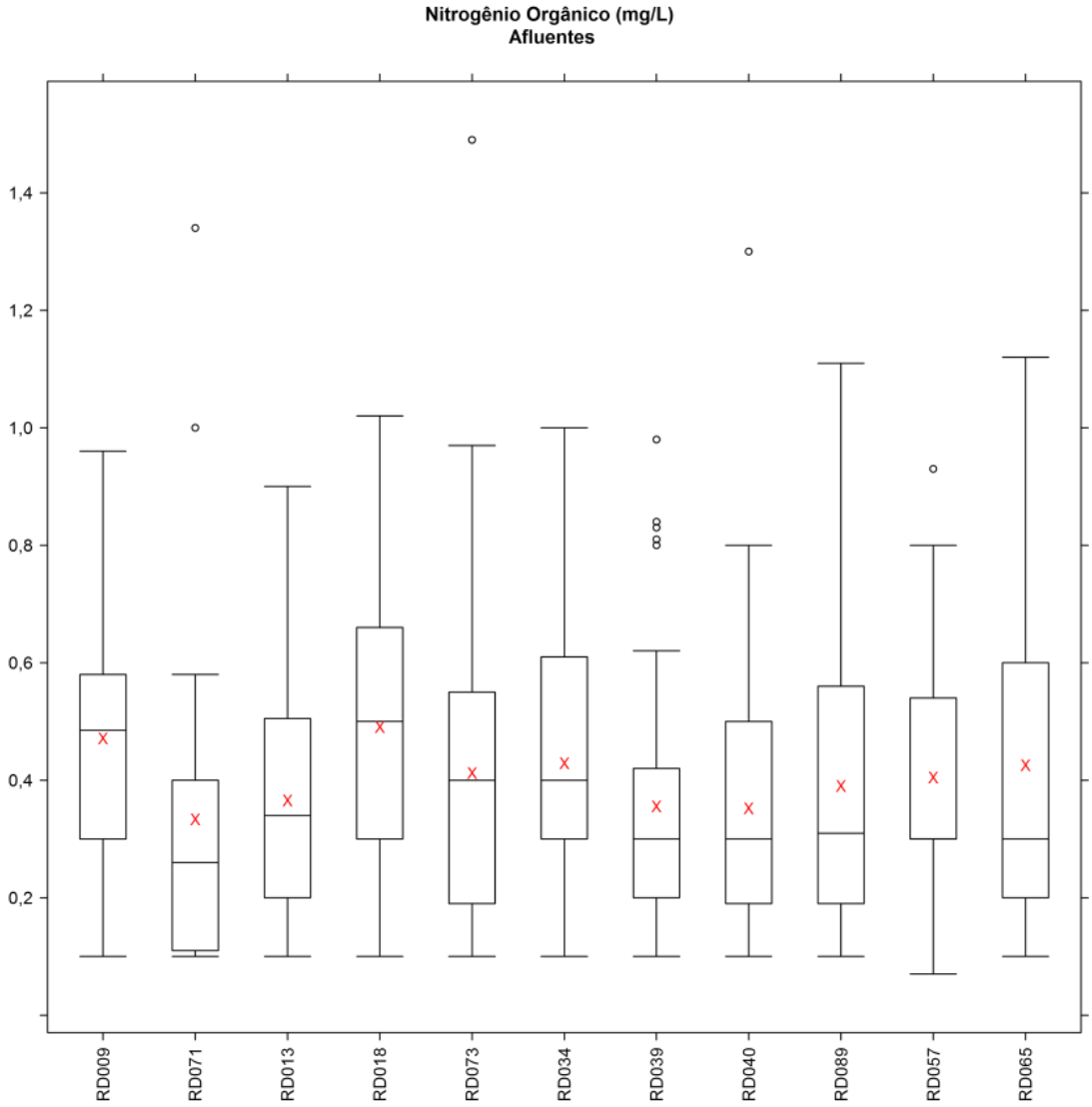


	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	34	0,100	0,471	0,485	0,960
RD071	29	0,100	0,333	0,260	1,340
RD013	59	0,100	0,366	0,340	0,900
RD018	34	0,100	0,490	0,500	1,020
RD073	29	0,100	0,412	0,400	1,490
RD034	34	0,100	0,429	0,400	1,000
RD039	47	0,100	0,355	0,300	0,980
RD040	34	0,100	0,352	0,300	1,300
RD089	15	0,100	0,390	0,310	1,110
RD057	38	0,070	0,404	0,300	0,930
RD065	47	0,100	0,426	0,300	1,120

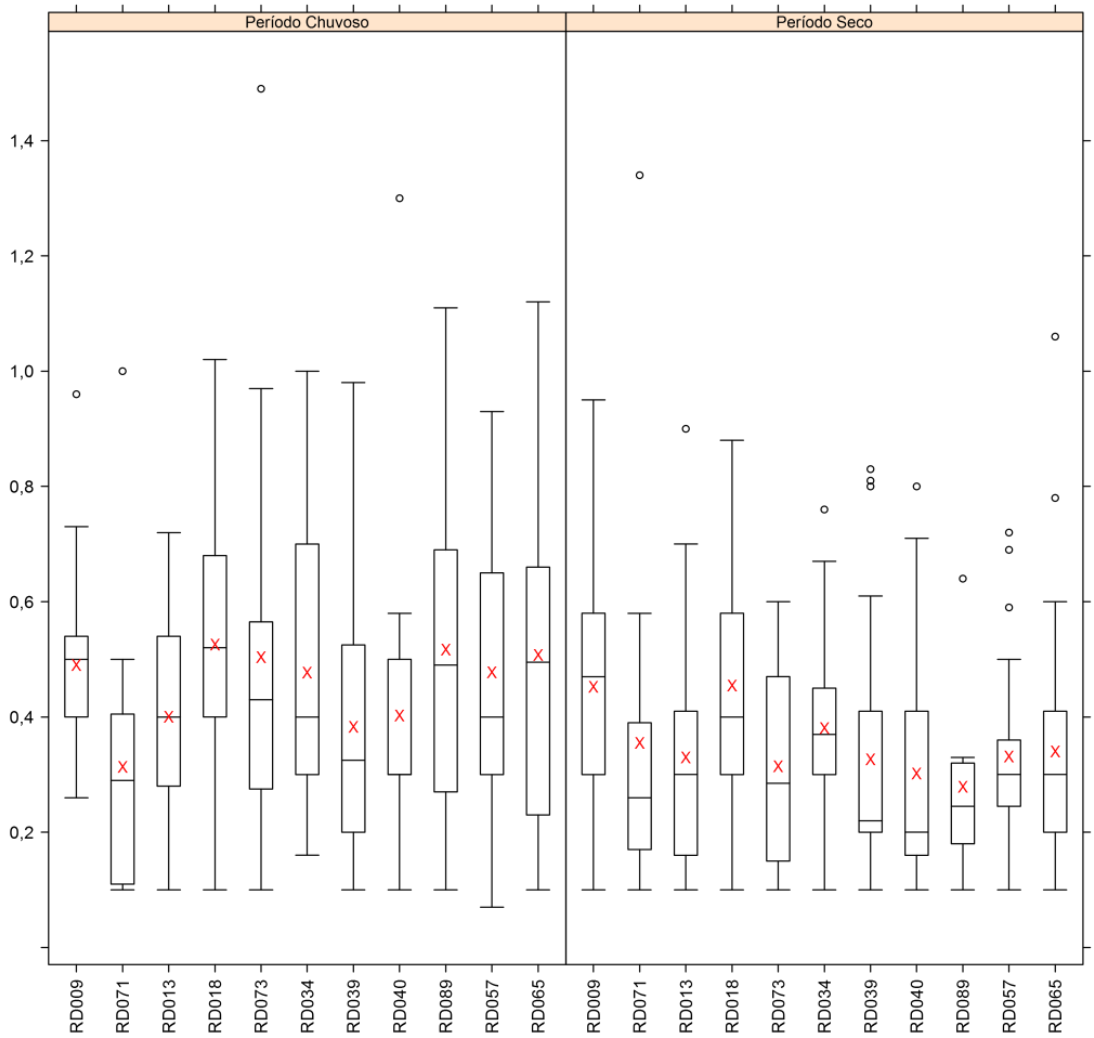
	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	0,100	0,452	0,470	0,950
RD071	14	0,100	0,355	0,260	1,340
RD013	29	0,100	0,330	0,300	0,900
RD018	17	0,100	0,455	0,400	0,880
RD073	14	0,100	0,314	0,285	0,600
RD034	17	0,100	0,381	0,370	0,760
RD039	23	0,100	0,327	0,220	0,830
RD040	17	0,100	0,302	0,200	0,800
RD089	8	0,100	0,279	0,245	0,640
RD057	19	0,100	0,332	0,300	0,720
RD065	23	0,100	0,340	0,300	1,060

	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	0,260	0,490	0,500	0,960
RD071	15	0,100	0,313	0,290	1,000
RD013	30	0,100	0,400	0,400	0,720
RD018	17	0,100	0,526	0,520	1,020
RD073	15	0,100	0,504	0,430	1,490
RD034	17	0,160	0,477	0,400	1,000
RD039	24	0,100	0,383	0,325	0,980
RD040	17	0,100	0,402	0,300	1,300
RD089	7	0,100	0,517	0,490	1,110
RD057	19	0,070	0,477	0,400	0,930

	Nitrogênio Orgânico (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	24	0,100	0,508	0,495	1,120



Nitrogênio Orgânico (mg/L)
Afluentes

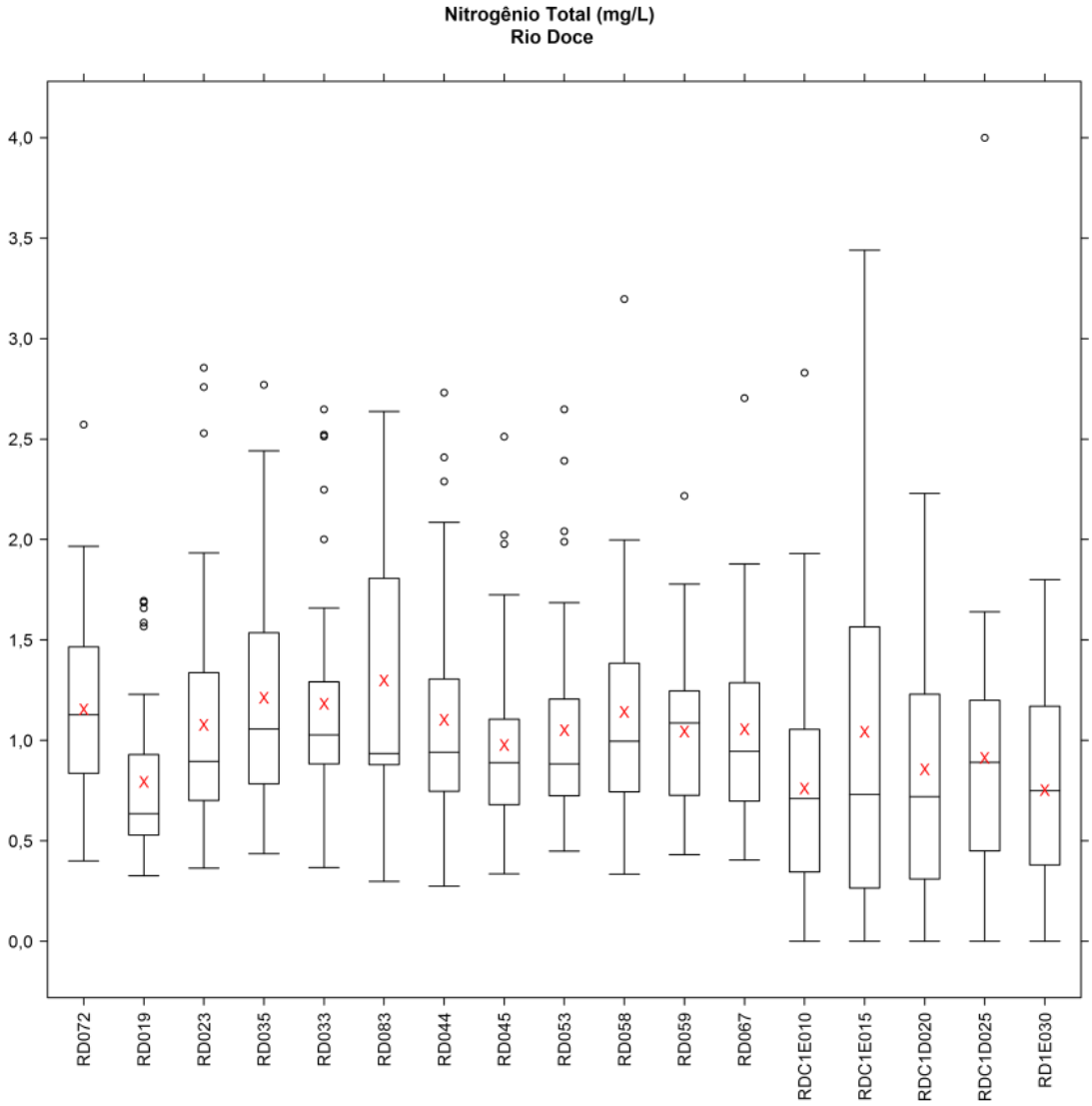


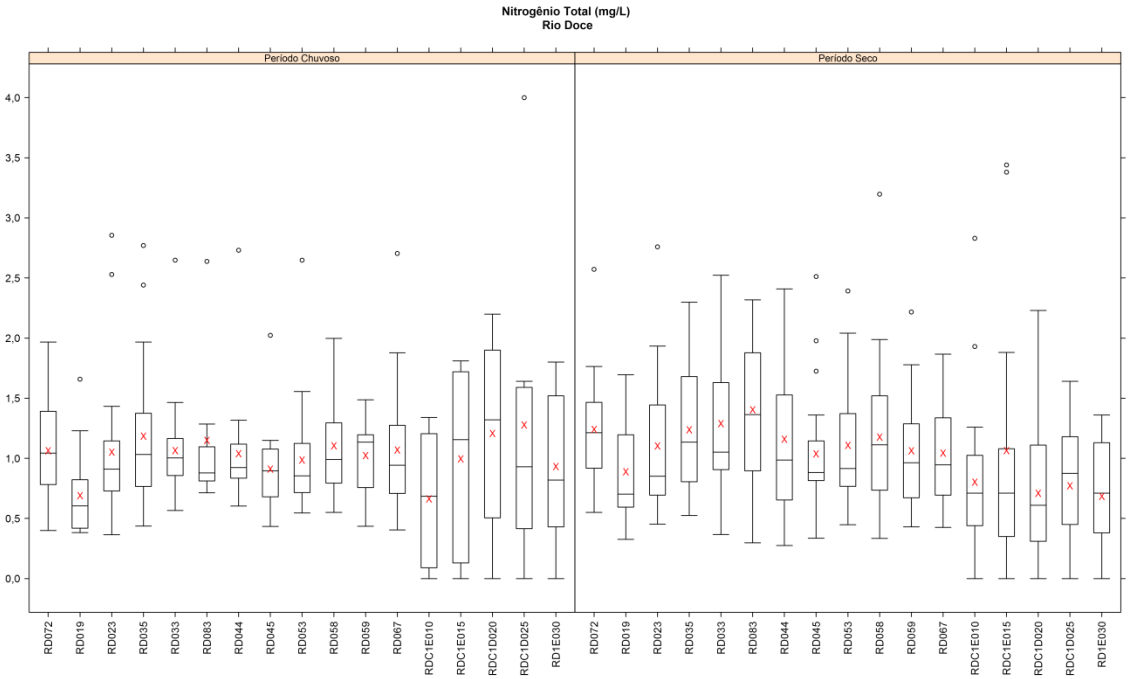
Nitrogênio Total

	Nitrogênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	31	0,40	1,15	1,13	2,57
RD019	40	0,33	0,79	0,64	1,70
RD023	49	0,36	1,08	0,90	2,86
RD035	45	0,44	1,21	1,06	2,77
RD033	40	0,37	1,18	1,03	2,65
RD083	17	0,30	1,30	0,94	2,64
RD044	36	0,28	1,10	0,94	2,73
RD045	40	0,34	0,98	0,89	2,51
RD053	39	0,45	1,05	0,88	2,65
RD058	45	0,33	1,14	1,00	3,20
RD059	40	0,43	1,04	1,09	2,22
RD067	49	0,40	1,06	0,95	2,70
RDC1E010	27	0,00	0,76	0,71	2,83
RDC1E015	19	0,00	1,04	0,73	3,44
RDC1D020	27	0,00	0,86	0,72	2,23
RDC1D025	25	0,00	0,91	0,89	4,00
RDC1E030	25	0,00	0,75	0,75	1,80

	Nitrogênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	16	0,55	1,24	1,21	2,57
RD019	21	0,33	0,89	0,70	1,70
RD023	25	0,45	1,10	0,85	2,76
RD035	23	0,52	1,24	1,14	2,30
RD033	21	0,37	1,29	1,05	2,52
RD083	10	0,30	1,40	1,36	2,32
RD044	19	0,28	1,16	0,99	2,41
RD045	21	0,34	1,04	0,88	2,51
RD053	21	0,45	1,11	0,92	2,39
RD058	23	0,33	1,18	1,11	3,20
RD059	21	0,43	1,06	0,96	2,22
RD067	25	0,43	1,04	0,95	1,87
RDC1E010	19	0,00	0,80	0,71	2,83
RDC1E015	13	0,00	1,06	0,71	3,44
RDC1D020	19	0,00	0,71	0,61	2,23
RDC1D025	18	0,00	0,77	0,88	1,64
RDC1E030	18	0,00	0,68	0,71	1,36

	Nitrogênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,40	1,06	1,04	1,97
RD019	19	0,38	0,69	0,60	1,66
RD023	24	0,36	1,05	0,91	2,86
RD035	22	0,44	1,18	1,03	2,77
RD033	19	0,57	1,06	1,00	2,65
RD083	7	0,71	1,15	0,88	2,64
RD044	17	0,60	1,04	0,92	2,73
RD045	19	0,43	0,91	0,90	2,02
RD053	18	0,55	0,99	0,85	2,65
RD058	22	0,55	1,10	0,99	2,00
RD059	19	0,44	1,02	1,13	1,49
RD067	24	0,40	1,07	0,94	2,70
RDC1E010	8	0,00	0,66	0,69	1,34
RDC1E015	6	0,00	1,00	1,16	1,81
RDC1D020	8	0,00	1,21	1,32	2,20
RDC1D025	7	0,00	1,28	0,93	4,00
RDC1E030	7	0,00	0,93	0,82	1,80


Nitrogênio Total (mg/L)
Rio Doce
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
RDC1E010
RDC1E015
RDC1D020
RDC1D025
RD1E030

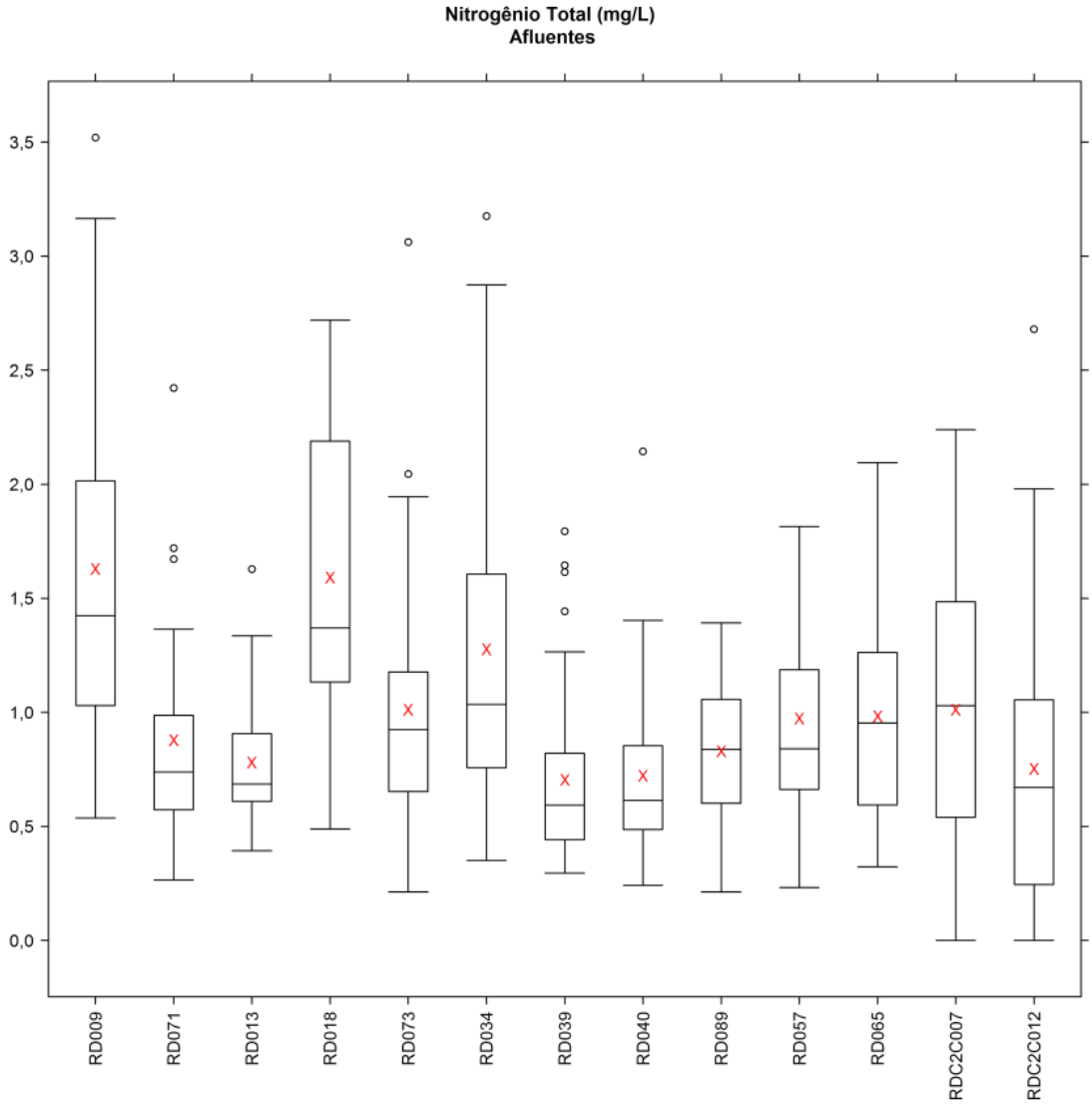


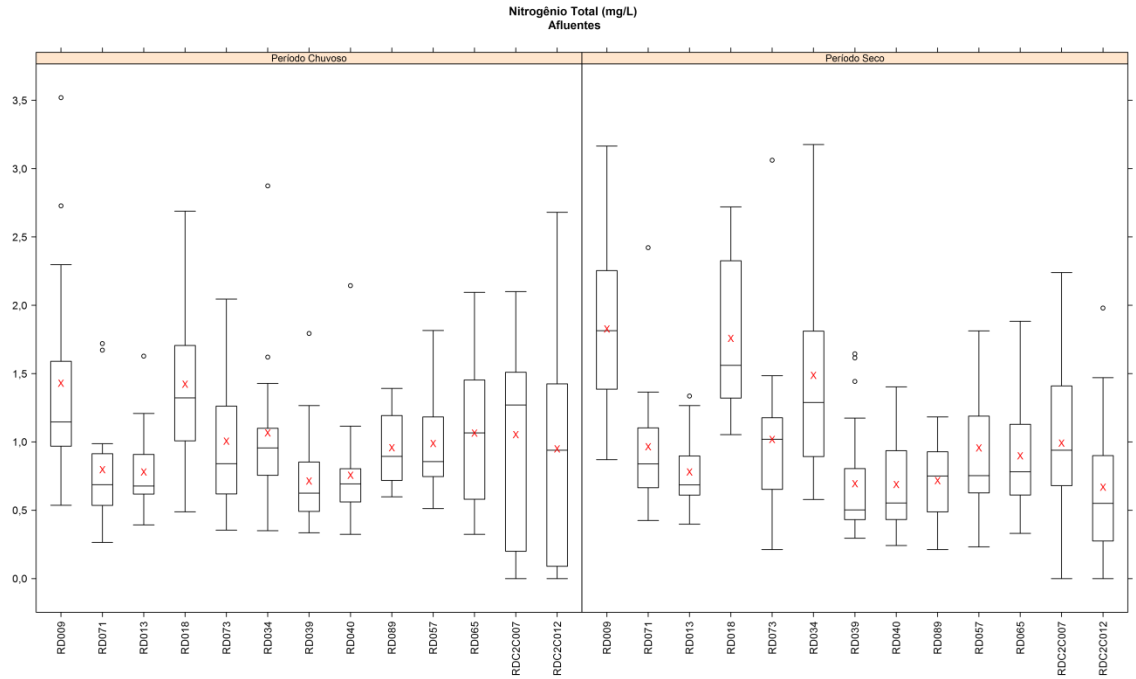
	Nitrogênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	34	0,54	1,63	1,42	3,52
RD071	29	0,27	0,88	0,74	2,42
RD013	38	0,39	0,78	0,69	1,63
RD018	34	0,49	1,59	1,37	2,72
RD073	29	0,21	1,01	0,93	3,06
RD034	34	0,35	1,28	1,04	3,18
RD039	47	0,30	0,70	0,59	1,79
RD040	34	0,24	0,72	0,61	2,14
RD089	15	0,21	0,83	0,84	1,39
RD057	38	0,23	0,97	0,84	1,82
RD065	47	0,32	0,98	0,95	2,09
RDC2C007	27	0,00	1,01	1,03	2,24
RDC2C012	27	0,00	0,75	0,67	2,68

	Nitrogênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	0,87	1,83	1,81	3,17
RD071	14	0,43	0,96	0,84	2,42
RD013	19	0,40	0,78	0,69	1,34
RD018	17	1,05	1,76	1,56	2,72
RD073	14	0,21	1,02	1,02	3,06
RD034	17	0,58	1,49	1,29	3,18
RD039	23	0,30	0,69	0,50	1,65

	Nitrogênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD040	17	0,24	0,69	0,55	1,40
RD089	8	0,21	0,72	0,75	1,18
RD057	19	0,23	0,96	0,75	1,81
RD065	23	0,33	0,90	0,78	1,88
RDC2C007	18	0,00	0,99	0,94	2,24
RDC2C012	19	0,00	0,67	0,55	1,98

	Nitrogênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	0,54	1,43	1,15	3,52
RD071	15	0,27	0,80	0,69	1,72
RD013	19	0,39	0,78	0,68	1,63
RD018	17	0,49	1,42	1,32	2,69
RD073	15	0,35	1,01	0,84	2,05
RD034	17	0,35	1,07	0,96	2,87
RD039	24	0,34	0,71	0,63	1,79
RD040	17	0,32	0,76	0,69	2,14
RD089	7	0,60	0,96	0,89	1,39
RD057	19	0,51	0,99	0,86	1,82
RD065	24	0,32	1,06	1,07	2,09
RDC2C007	9	0,00	1,05	1,27	2,10
RDC2C012	8	0,00	0,95	0,94	2,68


Nitrogênio Total (mg/L)
Afluentes
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012

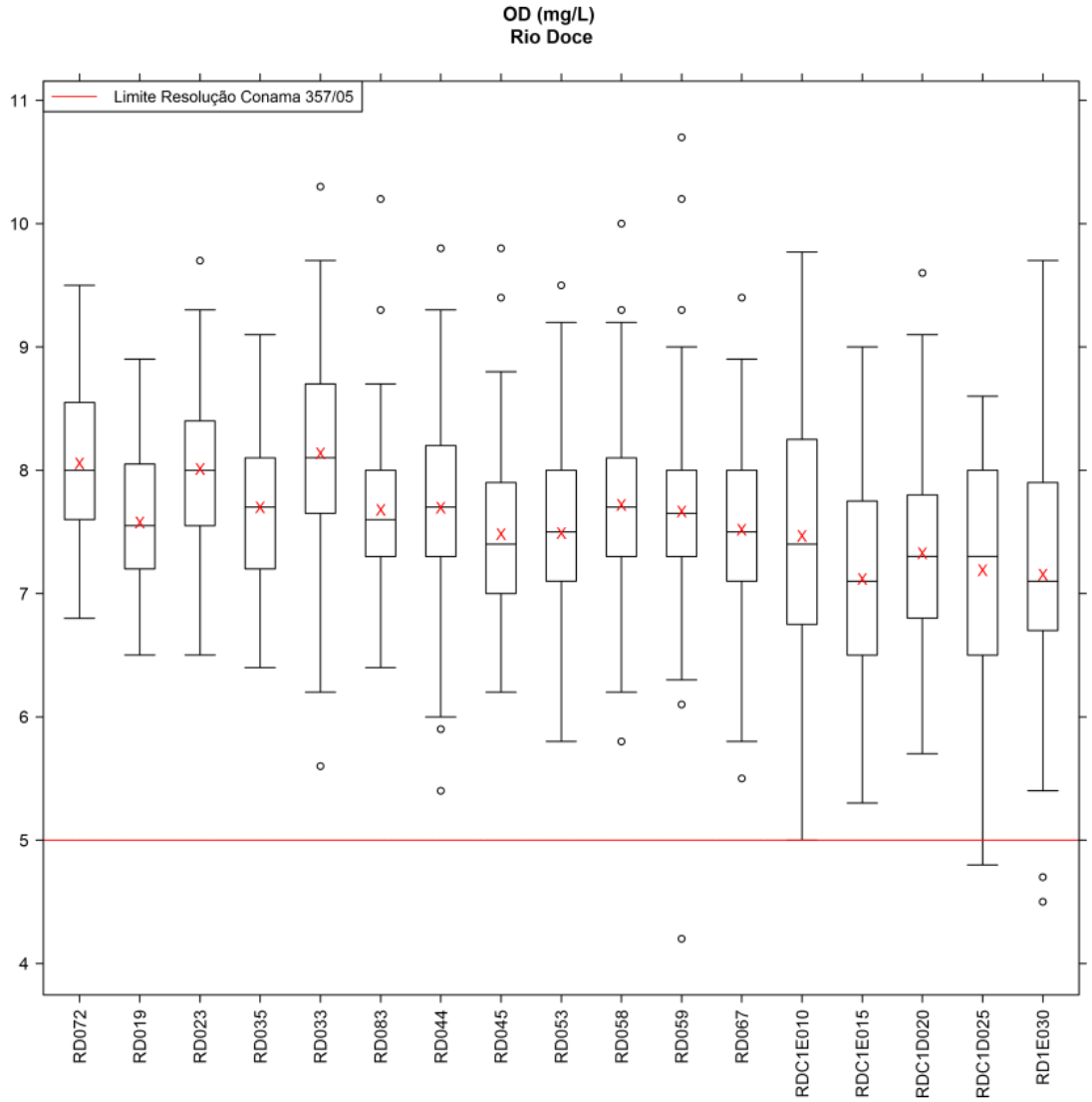

Nitrogênio Total (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012

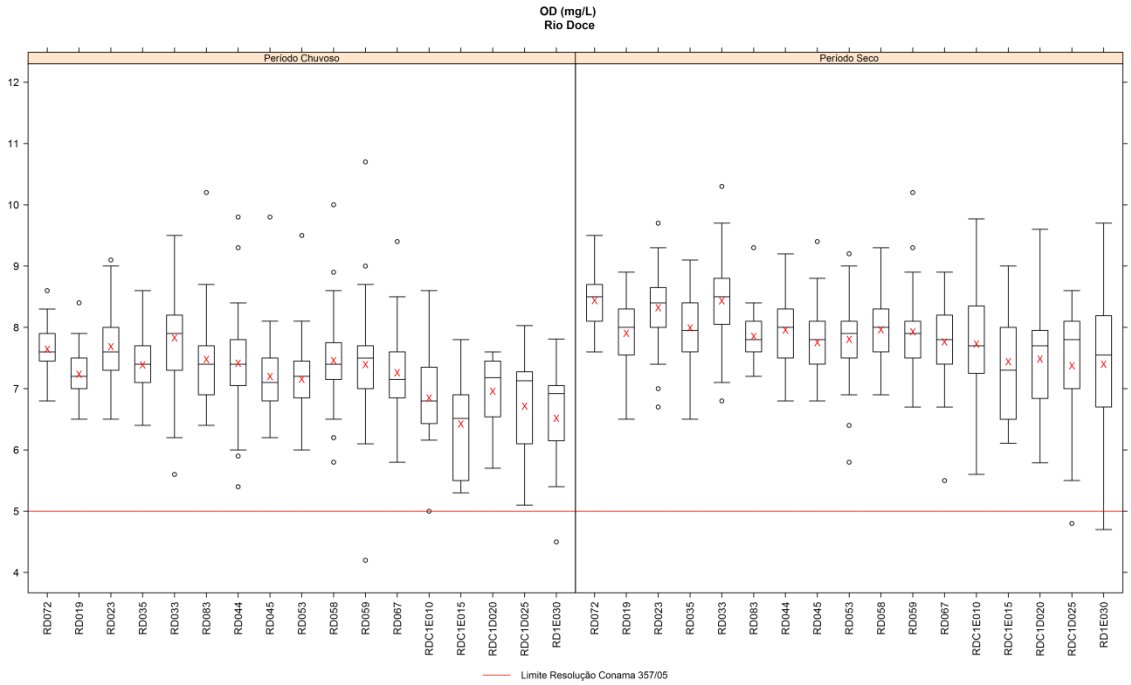
Oxigênio Dissolvido

	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	6,8	8,1	8,0	9,5
RD019	92	6,5	7,6	7,6	8,9
RD023	92	6,5	8,0	8,0	9,7
RD035	85	6,4	7,7	7,7	9,1
RD033	92	5,6	8,1	8,1	10,3
RD083	49	6,4	7,7	7,6	10,2
RD044	83	5,4	7,7	7,7	9,8
RD045	92	6,2	7,5	7,4	9,8
RD053	91	5,8	7,5	7,5	9,5
RD058	83	5,8	7,7	7,7	10,0
RD059	92	4,2	7,7	7,7	10,7
RD067	90	5,5	7,5	7,5	9,4
RDC1E010	27	5,0	7,5	7,4	9,8
RDC1E015	19	5,3	7,1	7,1	9,0
RDC1D020	27	5,7	7,3	7,3	9,6
RDC1D025	25	4,8	7,2	7,3	8,6
RDC1E030	25	4,5	7,2	7,1	9,7

	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	7,6	8,4	8,5	9,5
RD019	47	6,5	7,9	8,0	8,9
RD023	47	6,7	8,3	8,4	9,7
RD035	44	6,5	8,0	8,0	9,1
RD033	47	6,8	8,4	8,5	10,3
RD083	26	7,2	7,9	7,8	9,3
RD044	43	6,8	8,0	8,0	9,2
RD045	47	6,8	7,8	7,8	9,4
RD053	47	5,8	7,8	7,9	9,2
RD058	43	6,9	8,0	8,0	9,3
RD059	47	6,7	7,9	7,9	10,2
RD067	46	5,5	7,8	7,8	8,9
RDC1E010	19	5,6	7,7	7,7	9,8
RDC1E015	13	6,1	7,4	7,3	9,0
RDC1D020	19	5,8	7,5	7,7	9,6
RDC1D025	18	4,8	7,4	7,8	8,6
RDC1E030	18	4,7	7,4	7,6	9,7

	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	6,8	7,6	7,6	8,6
RD019	45	6,5	7,2	7,2	8,4
RD023	45	6,5	7,7	7,6	9,1
RD035	41	6,4	7,4	7,4	8,6
RD033	45	5,6	7,8	7,9	9,5
RD083	23	6,4	7,5	7,4	10,2
RD044	40	5,4	7,4	7,4	9,8
RD045	45	6,2	7,2	7,1	9,8
RD053	44	6,0	7,2	7,2	9,5
RD058	40	5,8	7,5	7,4	10,0
RD059	45	4,2	7,4	7,5	10,7
RD067	44	5,8	7,3	7,2	9,4
RDC1E010	8	5,0	6,8	6,8	8,6
RDC1E015	6	5,3	6,4	6,5	7,8
RDC1D020	8	5,7	7,0	7,2	7,6
RDC1D025	7	5,1	6,7	7,1	8,0
RDC1E030	7	4,5	6,5	6,9	7,8


OD (mg/L)
Rio Doce
Limite Resolução Conama 357/05
11
10
9
8
7
6
5
4
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
RDC1E010
RDC1E015
RDC1D020
RDC1D025
RD1E030

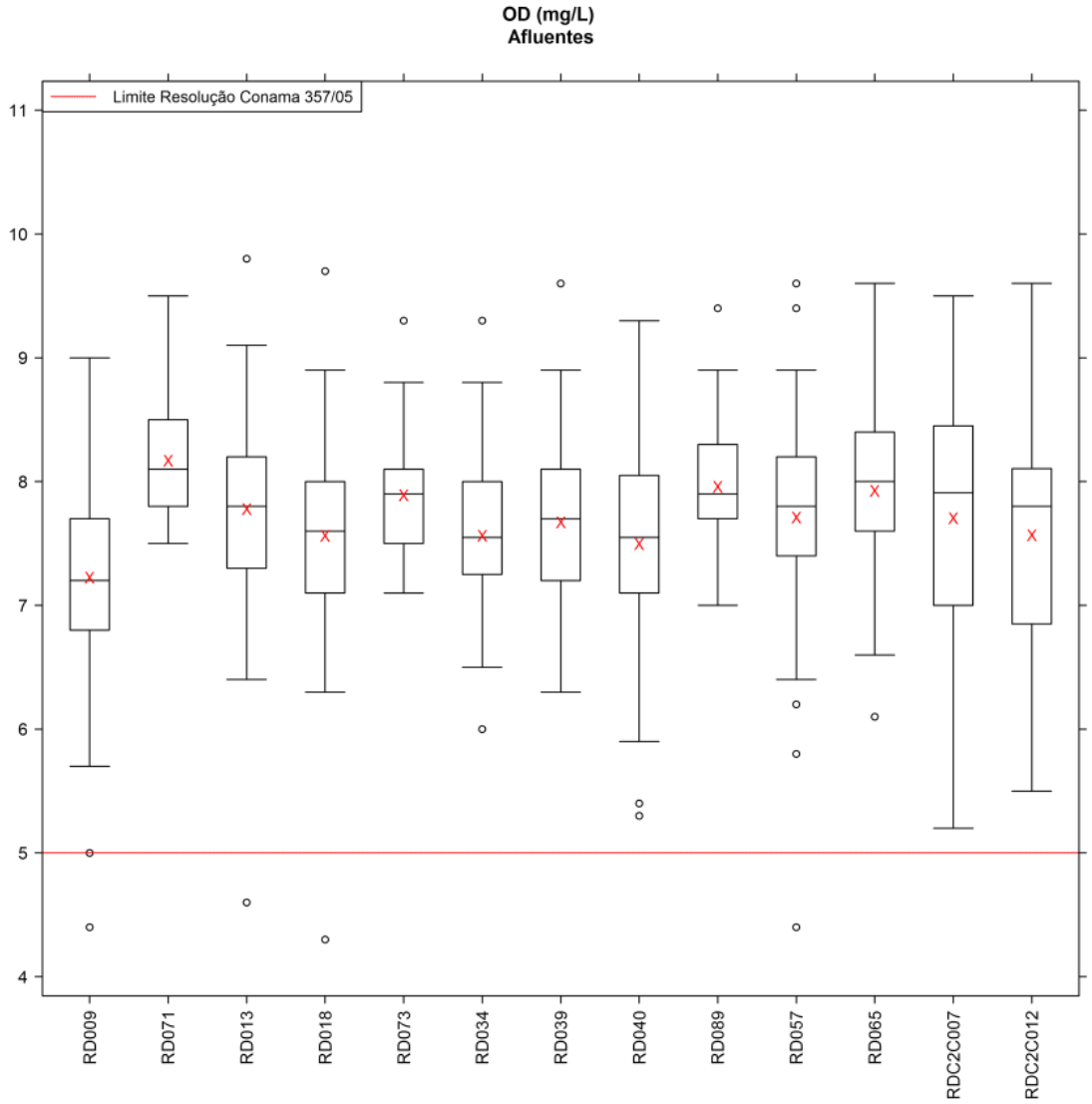


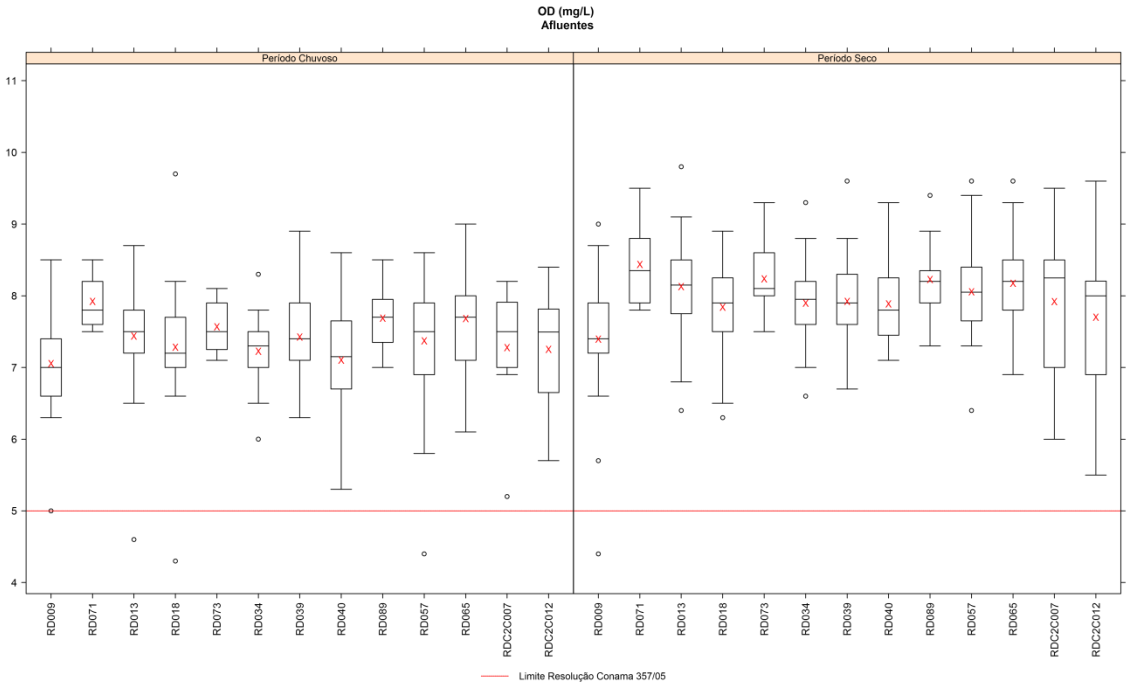
	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	4,4	7,2	7,2	9,0
RD071	29	7,5	8,2	8,1	9,5
RD013	89	4,6	7,8	7,8	9,8
RD018	64	4,3	7,6	7,6	9,7
RD073	29	7,1	7,9	7,9	9,3
RD034	64	6,0	7,6	7,6	9,3
RD039	73	6,3	7,7	7,7	9,6
RD040	64	5,3	7,5	7,6	9,3
RD089	30	7,0	8,0	7,9	9,4
RD057	73	4,4	7,7	7,8	9,6
RD065	73	6,1	7,9	8,0	9,6
RDC2C007	27	5,2	7,7	7,9	9,5
RDC2C012	27	5,5	7,6	7,8	9,6

	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	4,4	7,4	7,4	9,0
RD071	14	7,8	8,4	8,4	9,5
RD013	44	6,4	8,1	8,2	9,8
RD018	32	6,3	7,8	7,9	8,9
RD073	14	7,5	8,2	8,1	9,3
RD034	32	6,6	7,9	8,0	9,3
RD039	36	6,7	7,9	7,9	9,6

	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD040	32	7,1	7,9	7,8	9,3
RD089	15	7,3	8,2	8,2	9,4
RD057	36	6,4	8,1	8,1	9,6
RD065	36	6,9	8,2	8,2	9,6
RDC2C007	18	6,0	7,9	8,3	9,5
RDC2C012	19	5,5	7,7	8,0	9,6

	Oxigênio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	5,0	7,1	7,0	8,5
RD071	15	7,5	7,9	7,8	8,5
RD013	45	4,6	7,4	7,5	8,7
RD018	32	4,3	7,3	7,2	9,7
RD073	15	7,1	7,6	7,5	8,1
RD034	32	6,0	7,2	7,3	8,3
RD039	37	6,3	7,4	7,4	8,9
RD040	32	5,3	7,1	7,2	8,6
RD089	15	7,0	7,7	7,7	8,5
RD057	37	4,4	7,4	7,5	8,6
RD065	37	6,1	7,7	7,7	9,0
RDC2C007	9	5,2	7,3	7,5	8,2
RDC2C012	8	5,7	7,3	7,5	8,4


OD (mg/L)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
11
10
9
8
7
6
5
4
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012

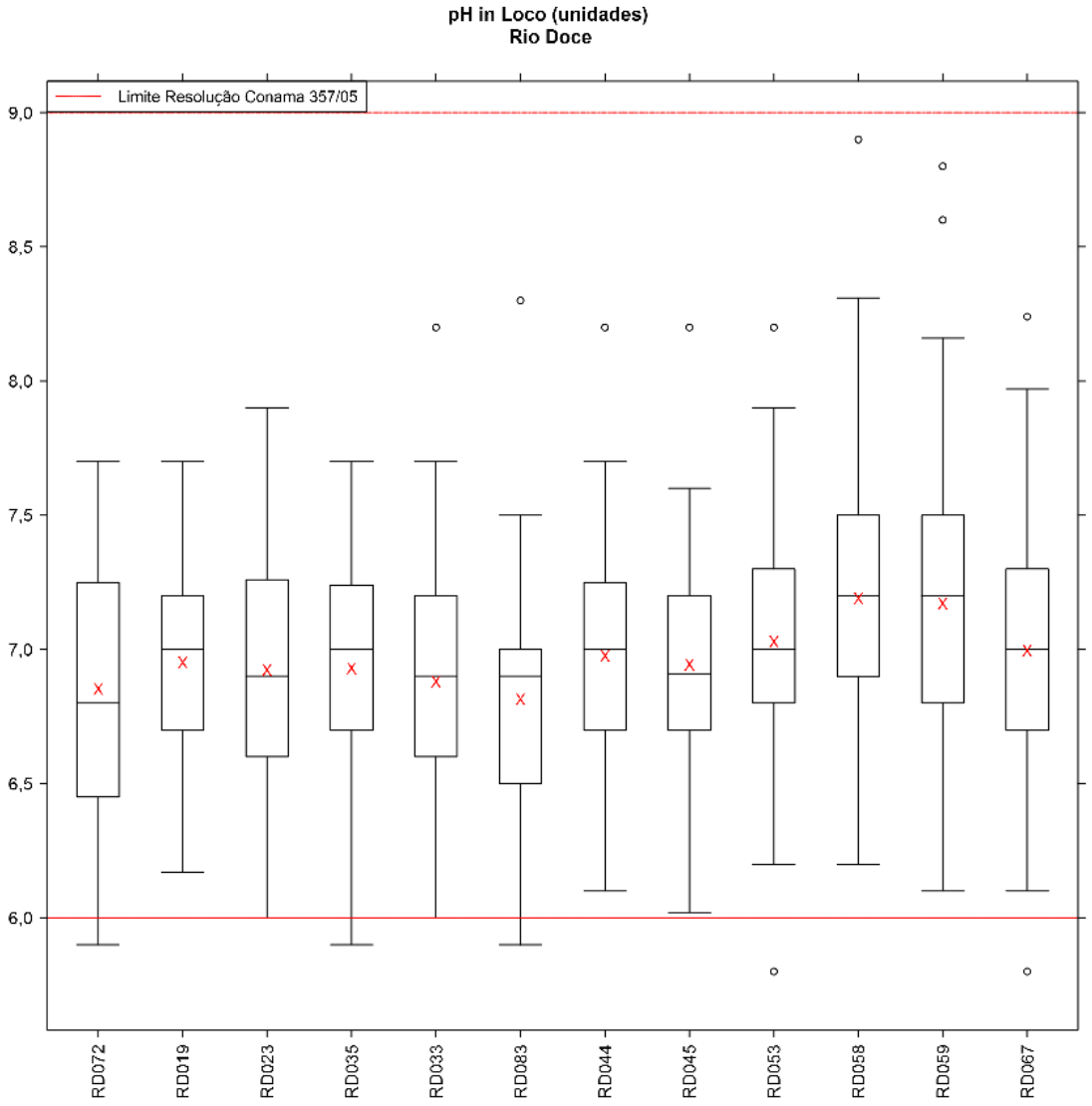

OD (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
11
10
9
8
7
6
5
4
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012
Limite Resolução Conama 357/05

pH *in loco*

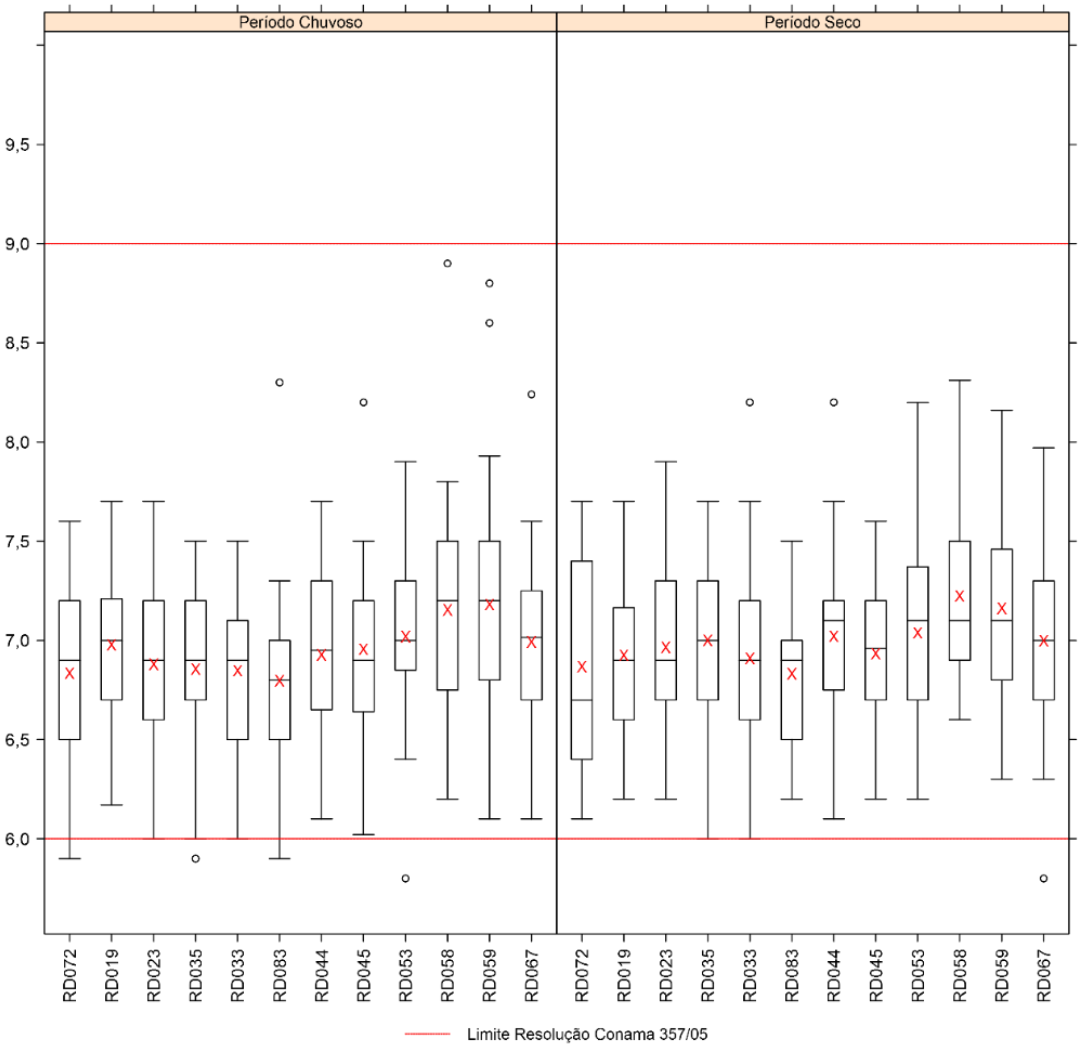
	pH in loco - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	5,9	6,9	6,8	7,7
RD019	92	6,2	7,0	7,0	7,7
RD023	92	6,0	6,9	6,9	7,9
RD035	85	5,9	6,9	7,0	7,7
RD033	92	6,0	6,9	6,9	8,2
RD083	49	5,9	6,8	6,9	8,3
RD044	83	6,1	7,0	7,0	8,2
RD045	92	6,0	6,9	6,9	8,2
RD053	91	5,8	7,0	7,0	8,2
RD058	83	6,2	7,2	7,2	8,9
RD059	92	6,1	7,2	7,2	8,8
RD067	90	5,8	7,0	7,0	8,2
RDC1E010	26	6,0	7,2	7,2	8,9
RDC1E015	19	6,3	7,3	7,5	8,6
RDC1D020	27	5,6	7,1	7,1	8,7
RDC1D025	25	5,6	7,1	7,1	8,2
RDC1E030	25	5,6	7,0	7,1	8,3

	pH in loco - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	6,1	6,9	6,7	7,7
RD019	47	6,2	6,9	6,9	7,7
RD023	47	6,2	7,0	6,9	7,9
RD035	44	6,0	7,0	7,0	7,7
RD033	47	6,0	6,9	6,9	8,2
RD083	26	6,2	6,8	6,9	7,5
RD044	43	6,1	7,0	7,1	8,2
RD045	47	6,2	6,9	7,0	7,6
RD053	47	6,2	7,0	7,1	8,2
RD058	43	6,6	7,2	7,1	8,3
RD059	47	6,3	7,2	7,1	8,2
RD067	46	5,8	7,0	7,0	8,0
RDC1E010	19	6,1	7,2	7,2	8,9
RDC1E015	13	6,4	7,4	7,6	8,6
RDC1D020	19	5,6	7,1	7,1	8,7
RDC1D025	18	5,6	7,1	7,1	8,2
RDC1E030	18	5,6	7,0	7,1	8,3

	pH in loco - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	5,9	6,8	6,9	7,6
RD019	45	6,2	7,0	7,0	7,7
RD023	45	6,0	6,9	6,9	7,7
RD035	41	5,9	6,9	6,9	7,5
RD033	45	6,0	6,8	6,9	7,5
RD083	23	5,9	6,8	6,8	8,3
RD044	40	6,1	6,9	7,0	7,7
RD045	45	6,0	7,0	6,9	8,2
RD053	44	5,8	7,0	7,0	7,9
RD058	40	6,2	7,2	7,2	8,9
RD059	45	6,1	7,2	7,2	8,8
RD067	44	6,1	7,0	7,0	8,2
RDC1E010	7	6,0	7,1	7,3	8,1
RDC1E015	6	6,3	7,1	7,4	7,7
RDC1D020	8	6,3	6,9	7,0	7,6
RDC1D025	7	6,2	7,2	7,2	7,9
RDC1E030	7	6,3	6,9	7,1	7,7


pH in Loco (unidades)
Rio Doce
Limite Resolução Conama 357/05
9,0
8,5
8,0
7,5
7,0
6,5
6,0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

pH in Loco (unidades)
Rio Doce

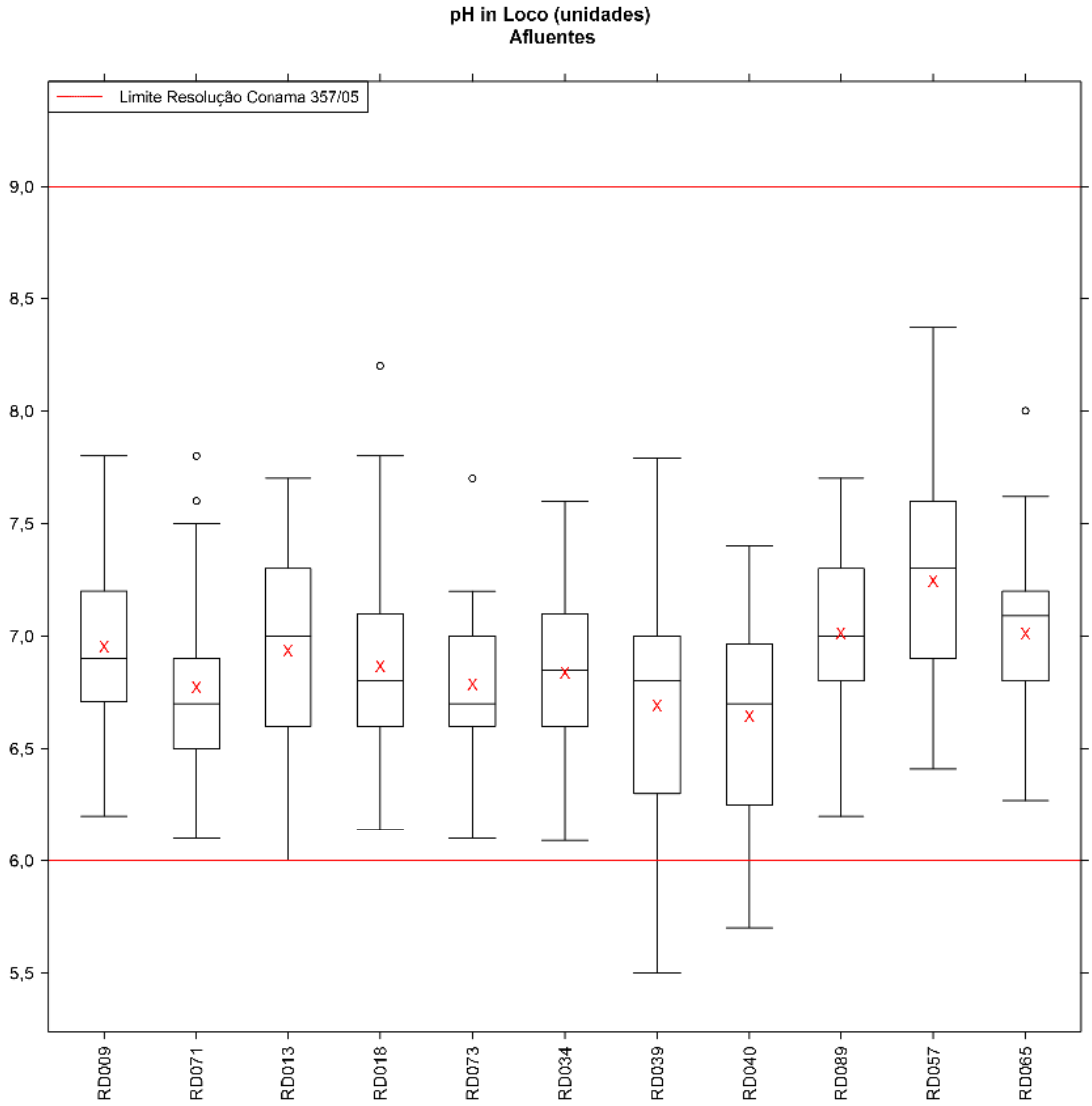


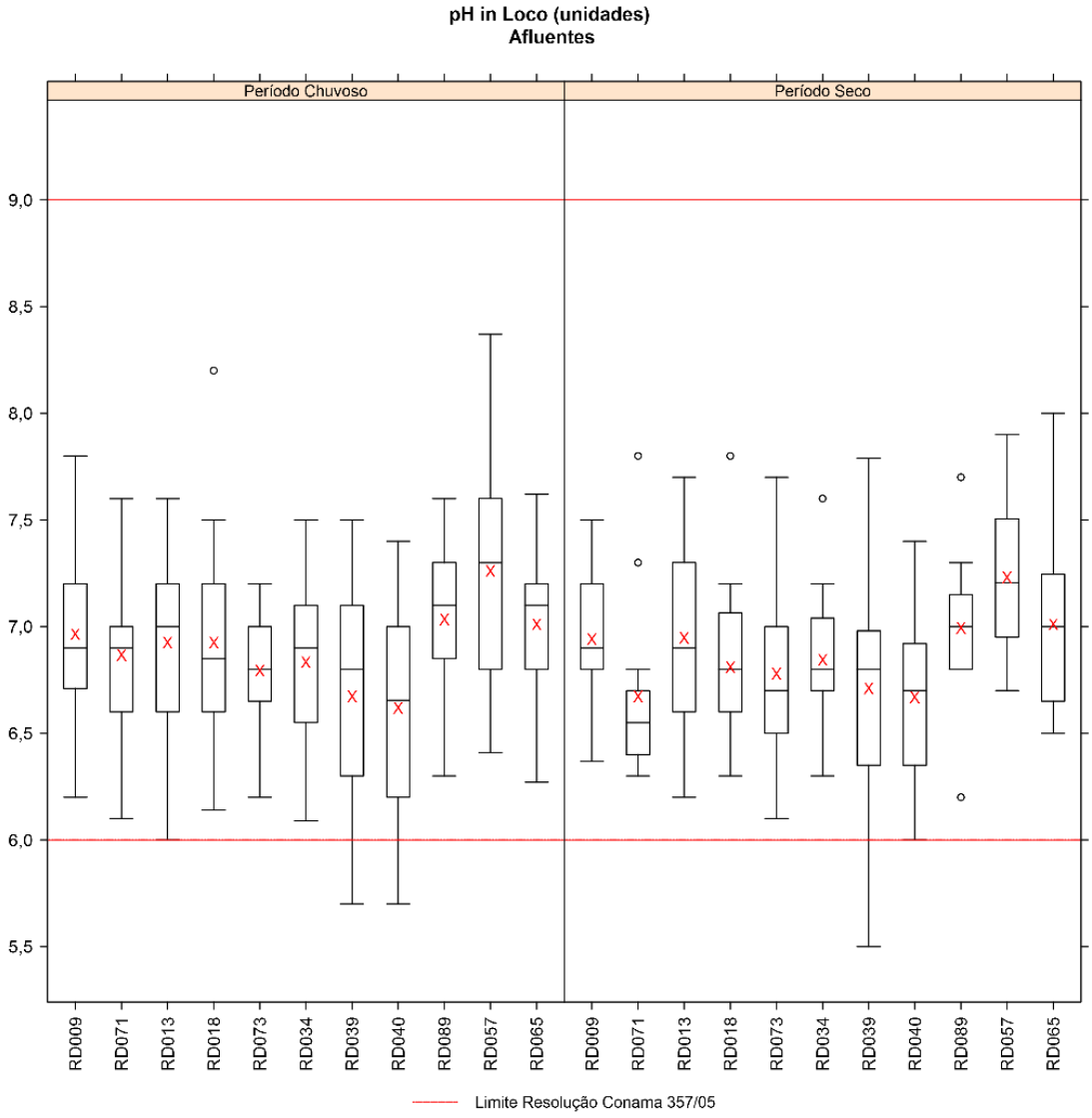
	pH in loco - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	66	6,2	7,0	6,9	7,8
RD071	29	6,1	6,8	6,7	7,8
RD013	89	6,0	6,9	7,0	7,7
RD018	64	6,1	6,9	6,8	8,2
RD073	29	6,1	6,8	6,7	7,7
RD034	64	6,1	6,8	6,9	7,6
RD039	73	5,5	6,7	6,8	7,8
RD040	64	5,7	6,6	6,7	7,4
RD089	30	6,2	7,0	7,0	7,7
RD057	73	6,4	7,2	7,3	8,4
RD065	73	6,3	7,0	7,1	8,0
RDC2C007	27	5,9	7,1	7,1	8,5
RDC2C012	27	5,5	7,0	7,0	8,0

	pH in loco - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	6,4	6,9	6,9	7,5
RD071	14	6,3	6,7	6,6	7,8
RD013	44	6,2	6,9	6,9	7,7
RD018	32	6,3	6,8	6,8	7,8
RD073	14	6,1	6,8	6,7	7,7
RD034	32	6,3	6,8	6,8	7,6
RD039	36	5,5	6,7	6,8	7,8
RD040	32	6,0	6,7	6,7	7,4
RD089	15	6,2	7,0	7,0	7,7
RD057	36	6,7	7,2	7,2	7,9
RD065	36	6,5	7,0	7,0	8,0
RDC2C007	18	5,9	7,1	7,2	8,5
RDC2C012	19	6,0	7,0	7,0	8,0

	pH in loco - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	6,2	7,0	6,9	7,8
RD071	15	6,1	6,9	6,9	7,6
RD013	45	6,0	6,9	7,0	7,6
RD018	32	6,1	6,9	6,9	8,2
RD073	15	6,2	6,8	6,8	7,2
RD034	32	6,1	6,8	6,9	7,5

	pH in loco - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD039	37	5,7	6,7	6,8	7,5
RD040	32	5,7	6,6	6,7	7,4
RD089	15	6,3	7,0	7,1	7,6
RD057	37	6,4	7,3	7,3	8,4
RD065	37	6,3	7,0	7,1	7,6
RDC2C007	9	6,2	7,0	6,7	7,9
RDC2C012	8	5,5	6,9	7,1	7,8




pH in Loco (unidades)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
9,0
8,5
8,0
7,5
7,0
6,5
6,0
5,5
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
Limite Resolução Conama 357/05

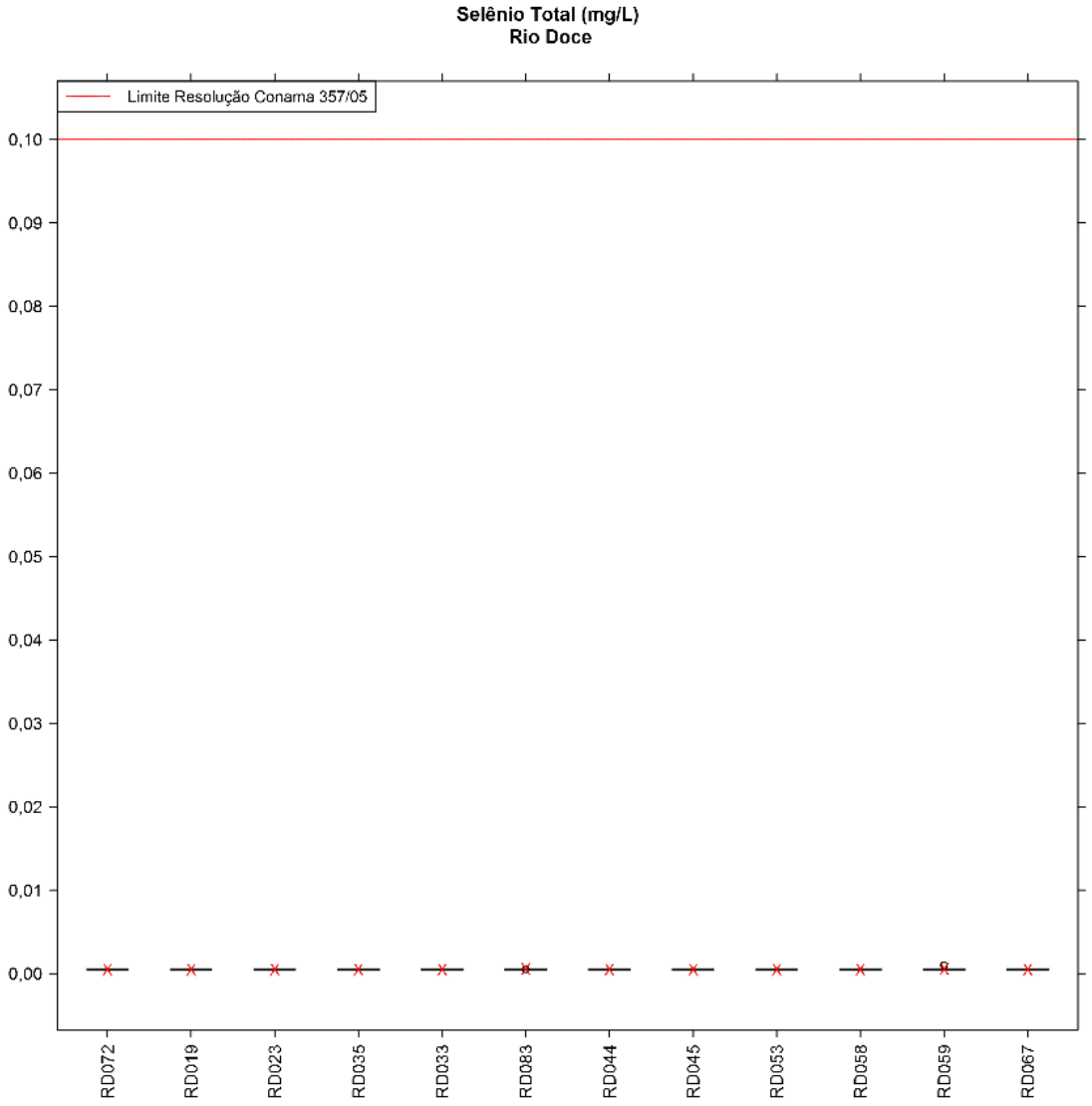
Selênio Total

	Selênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	10	0,001	0,001	0,001	0,001
RD019	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD023	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD035	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD033	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD083	11	0,001	0,001	0,001	0,001
RD044	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD045	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD053	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD058	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD059	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD067	31	0,001	0,001	0,001	0,001

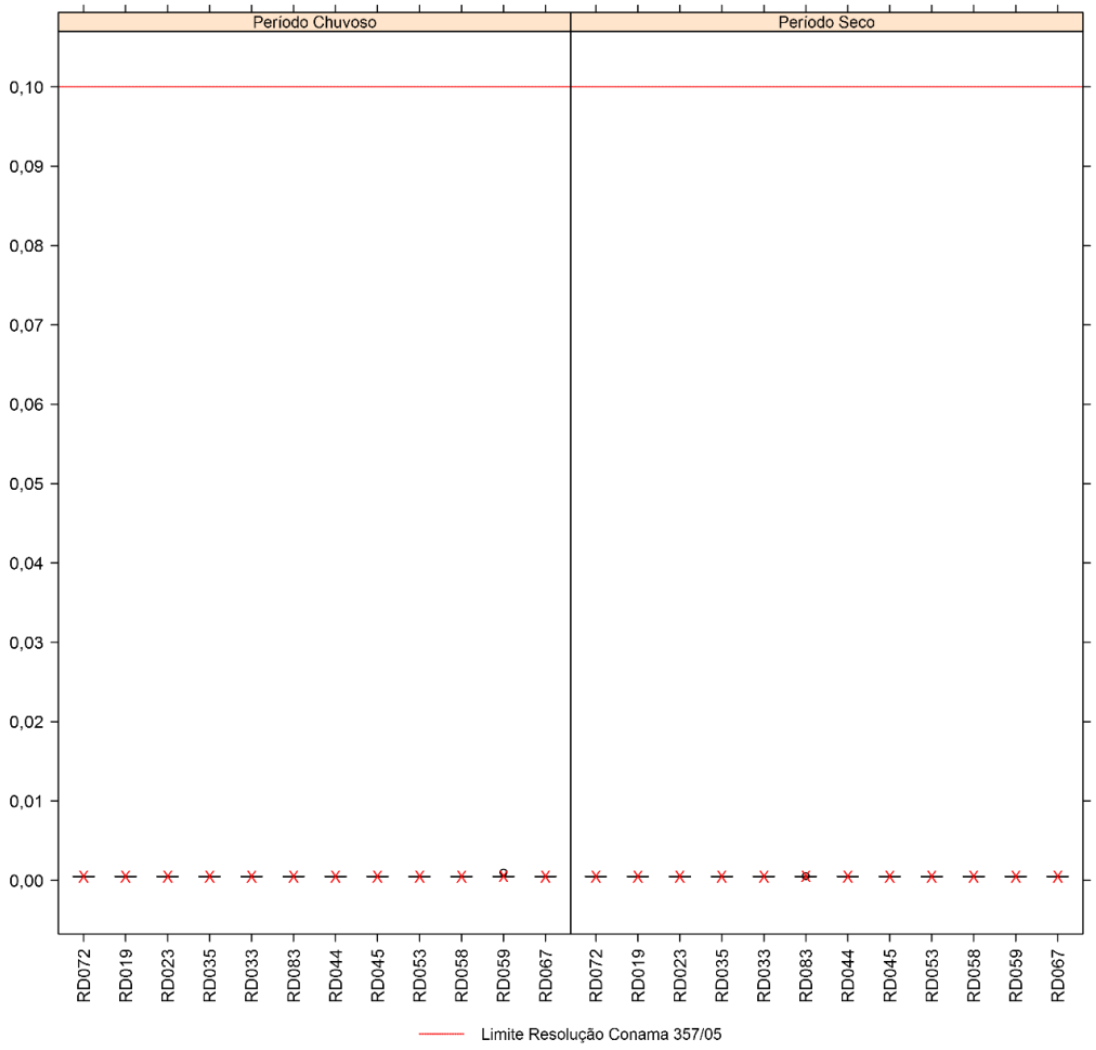
	Selênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD019	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD023	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD035	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD033	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD083	6	0,001	0,001	0,001	0,001
RD044	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD045	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD053	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD058	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD059	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD067	16	0,001	0,001	0,001	0,001

	Selênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD019	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD023	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD035	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD033	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD083	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD044	14	0,001	0,001	0,001	0,001

	Selênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD053	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD058	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD059	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD067	15	0,001	0,001	0,001	0,001



Selênio Total (mg/L)
Rio Doce

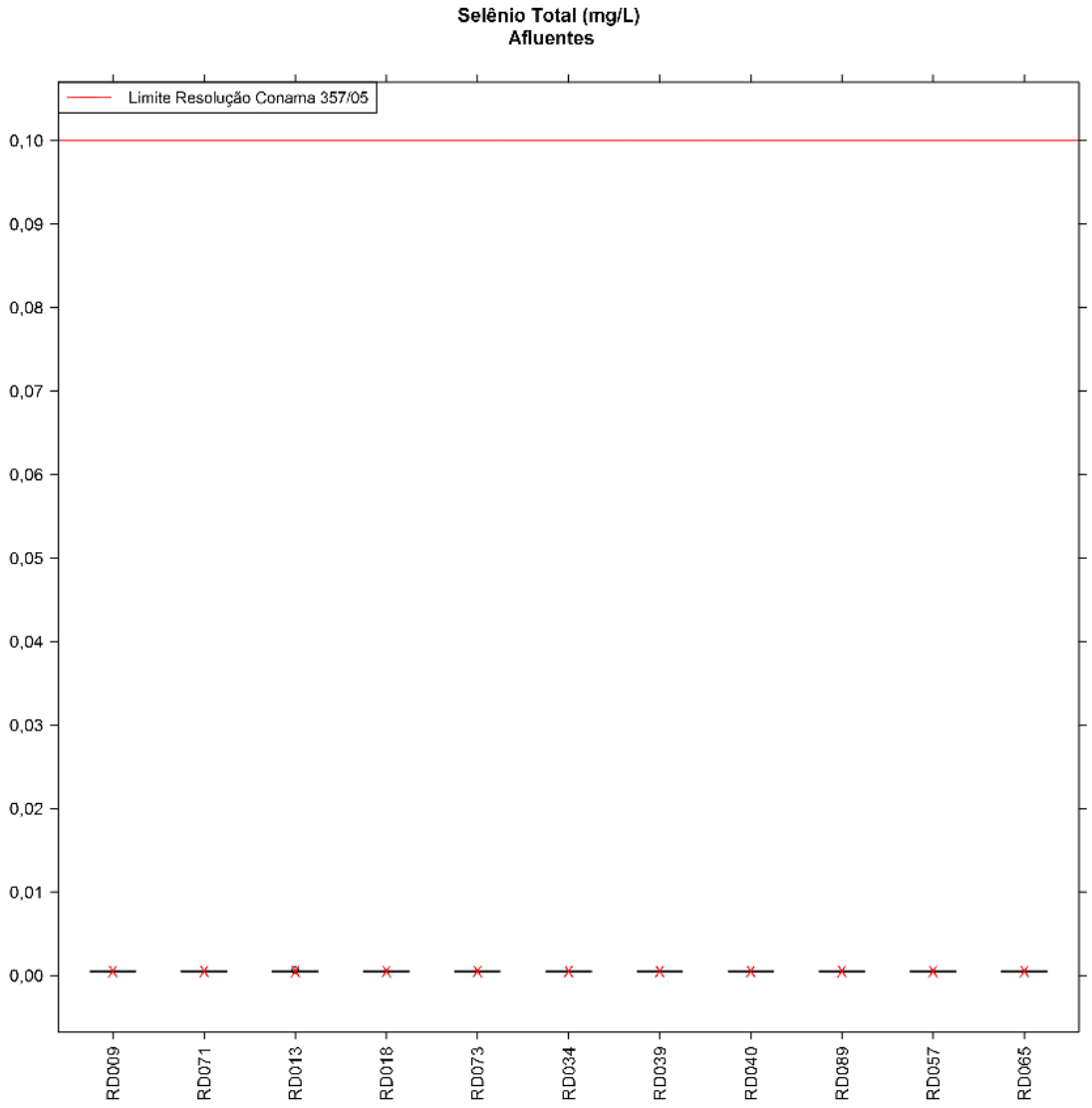


	Selênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD071	10	0,001	0,001	0,001	0,001
RD013	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD018	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD073	10	0,001	0,001	0,001	0,001
RD034	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD039	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD040	28	0,001	0,001	0,001	0,001
RD089	11	0,001	0,001	0,001	0,001
RD057	31	0,001	0,001	0,001	0,001
RD065	31	0,001	0,001	0,001	0,001

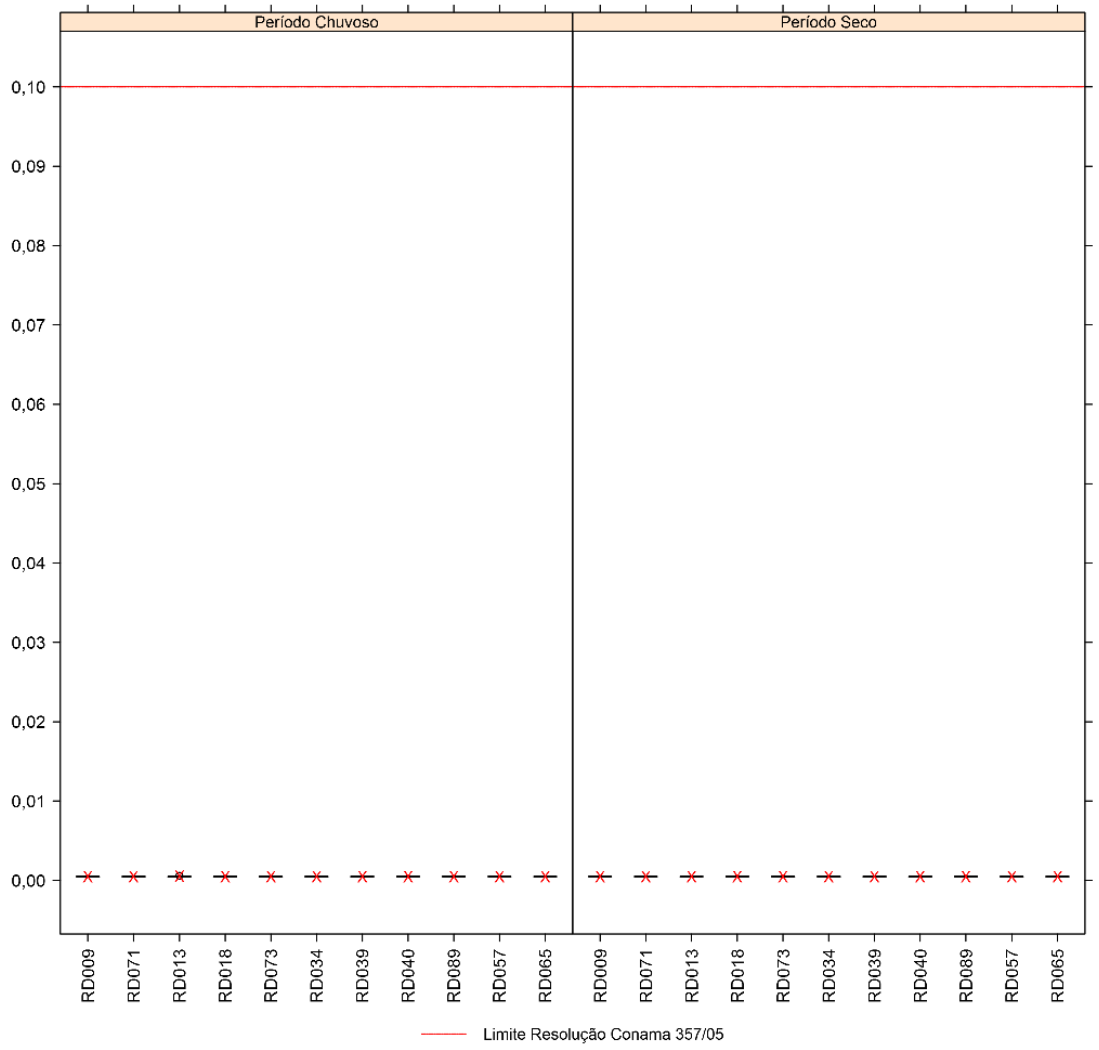
	Selênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD071	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD013	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD018	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD073	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD034	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD039	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD040	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD089	6	0,001	0,001	0,001	0,001
RD057	16	0,001	0,001	0,001	0,001
RD065	16	0,001	0,001	0,001	0,001

	Selênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD071	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD013	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD018	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD073	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD034	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD039	15	0,001	0,001	0,001	0,001
RD040	14	0,001	0,001	0,001	0,001
RD089	5	0,001	0,001	0,001	0,001
RD057	15	0,001	0,001	0,001	0,001

RD065	15	0,001	0,001	0,001	0,001



Selênio Total (mg/L)
Afluentes



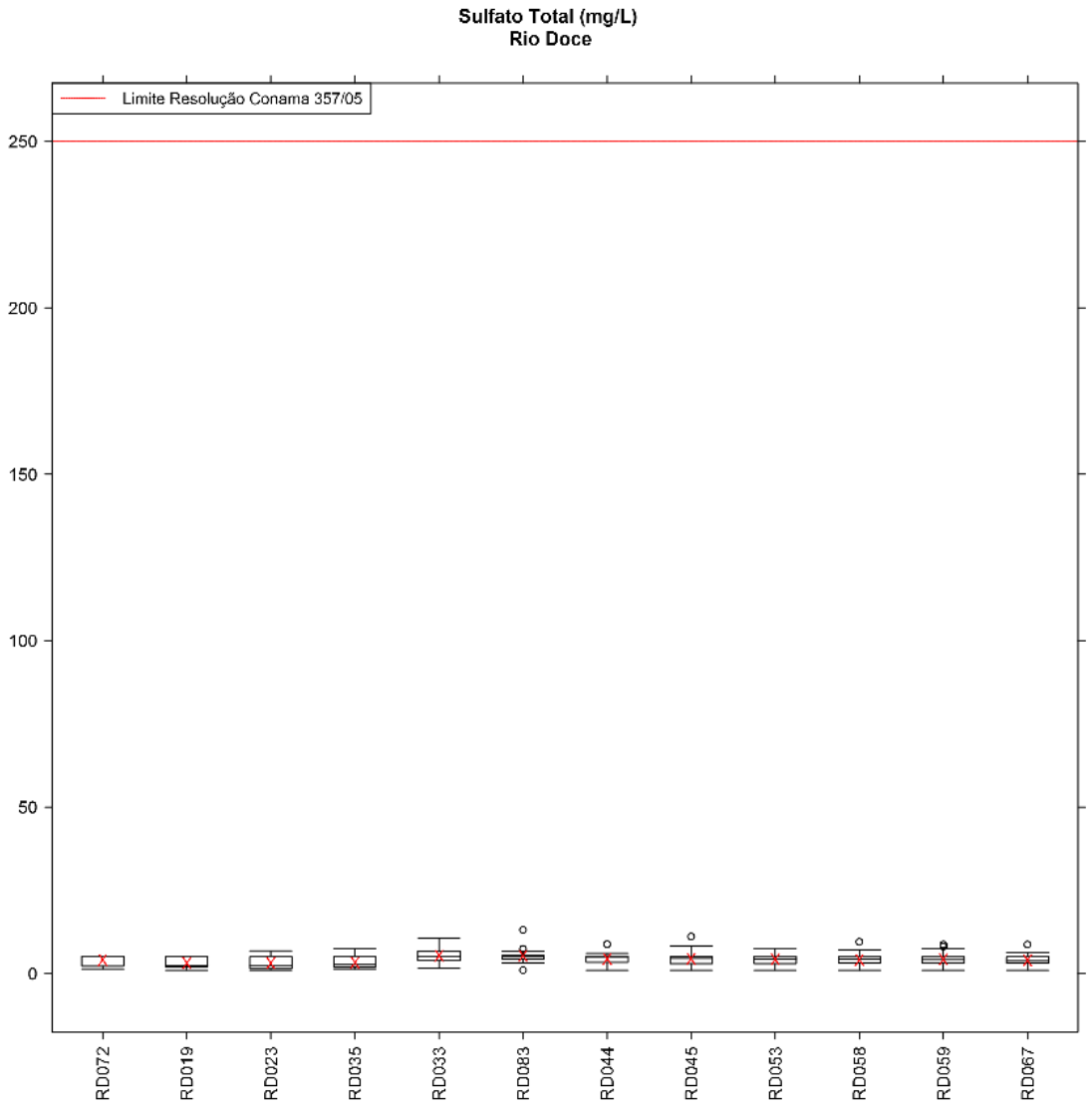
Sulfato Total

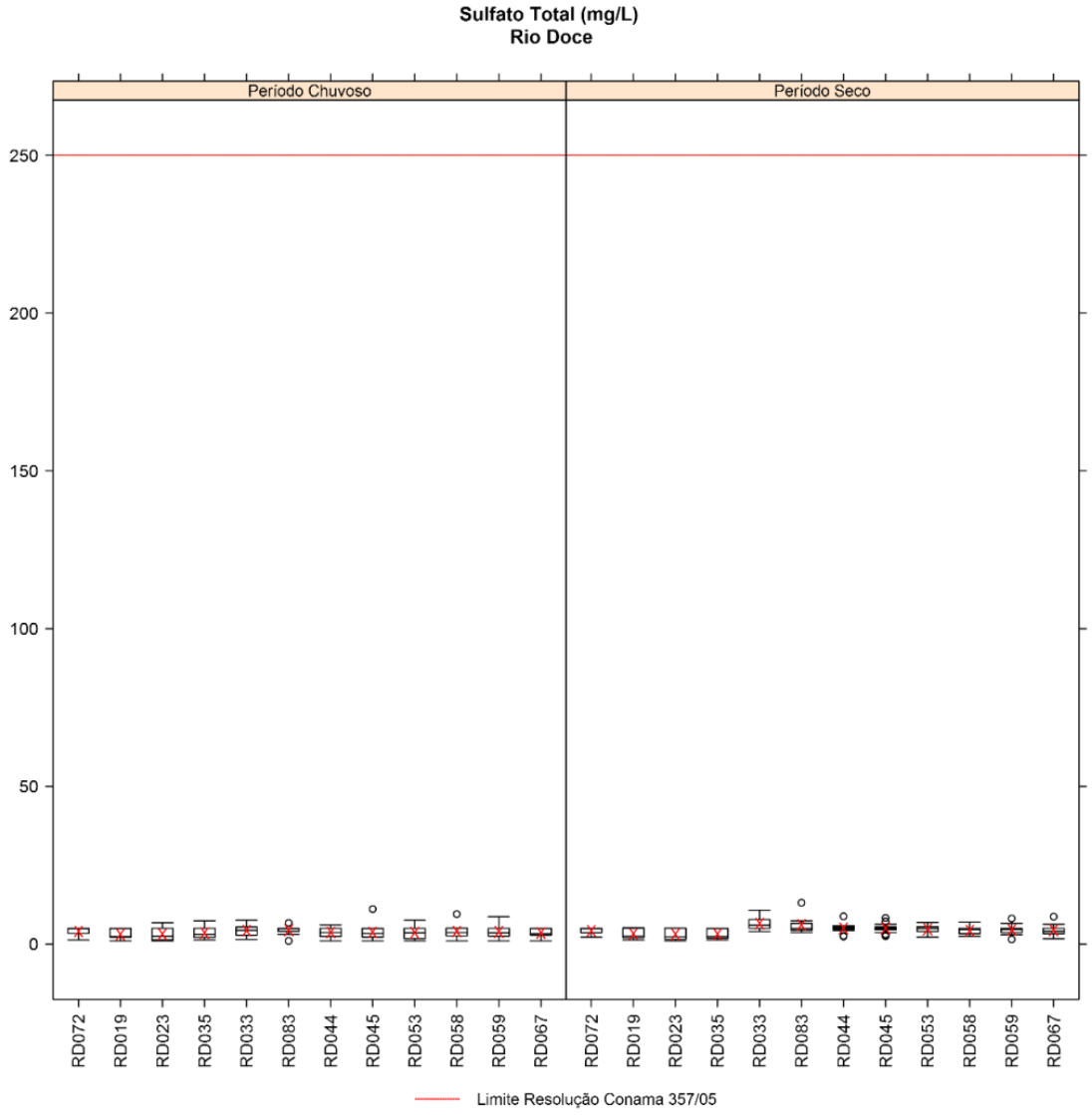
	Sulfato Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	1,30	4,11	5,00	5,00
RD019	36	1,00	3,06	2,45	5,20
RD023	36	1,00	3,05	2,45	6,80
RD035	32	1,30	3,24	2,65	7,40
RD033	36	1,50	5,34	5,15	10,70
RD083	15	1,00	5,30	5,00	13,10
RD044	32	1,00	4,36	4,90	8,80
RD045	36	1,00	4,34	4,60	11,10
RD053	35	1,00	4,15	4,40	7,60
RD058	32	1,00	4,12	4,25	9,50
RD059	36	1,00	4,20	4,15	8,70
RD067	36	1,00	3,91	3,80	8,70

	Sulfato Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	2,20	4,20	5,00	5,00
RD019	18	1,30	3,13	2,60	5,20
RD023	18	1,00	3,04	2,25	5,10
RD035	16	1,30	3,06	2,35	5,00
RD033	18	4,00	6,41	6,00	10,70
RD083	8	3,70	6,09	5,00	13,10
RD044	16	2,40	5,01	5,10	8,80
RD045	18	2,50	4,97	5,00	8,30
RD053	18	2,20	4,67	5,00	6,90
RD058	16	2,50	4,31	4,55	7,00
RD059	18	1,50	4,51	4,70	8,10
RD067	18	1,70	4,33	4,05	8,70

	Sulfato Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	1,30	4,01	5,00	5,00
RD019	18	1,00	2,99	2,35	5,00
RD023	18	1,00	3,05	2,50	6,80
RD035	16	1,30	3,43	3,10	7,40
RD033	18	1,50	4,28	4,40	7,60
RD083	7	1,00	4,40	5,00	6,70
RD044	16	1,00	3,71	3,65	6,10

	Sulfato Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	1,00	3,71	3,35	11,10
RD053	17	1,00	3,61	3,60	7,60
RD058	16	1,00	3,93	3,65	9,50
RD059	18	1,00	3,90	3,60	8,70
RD067	18	1,00	3,48	3,25	5,00



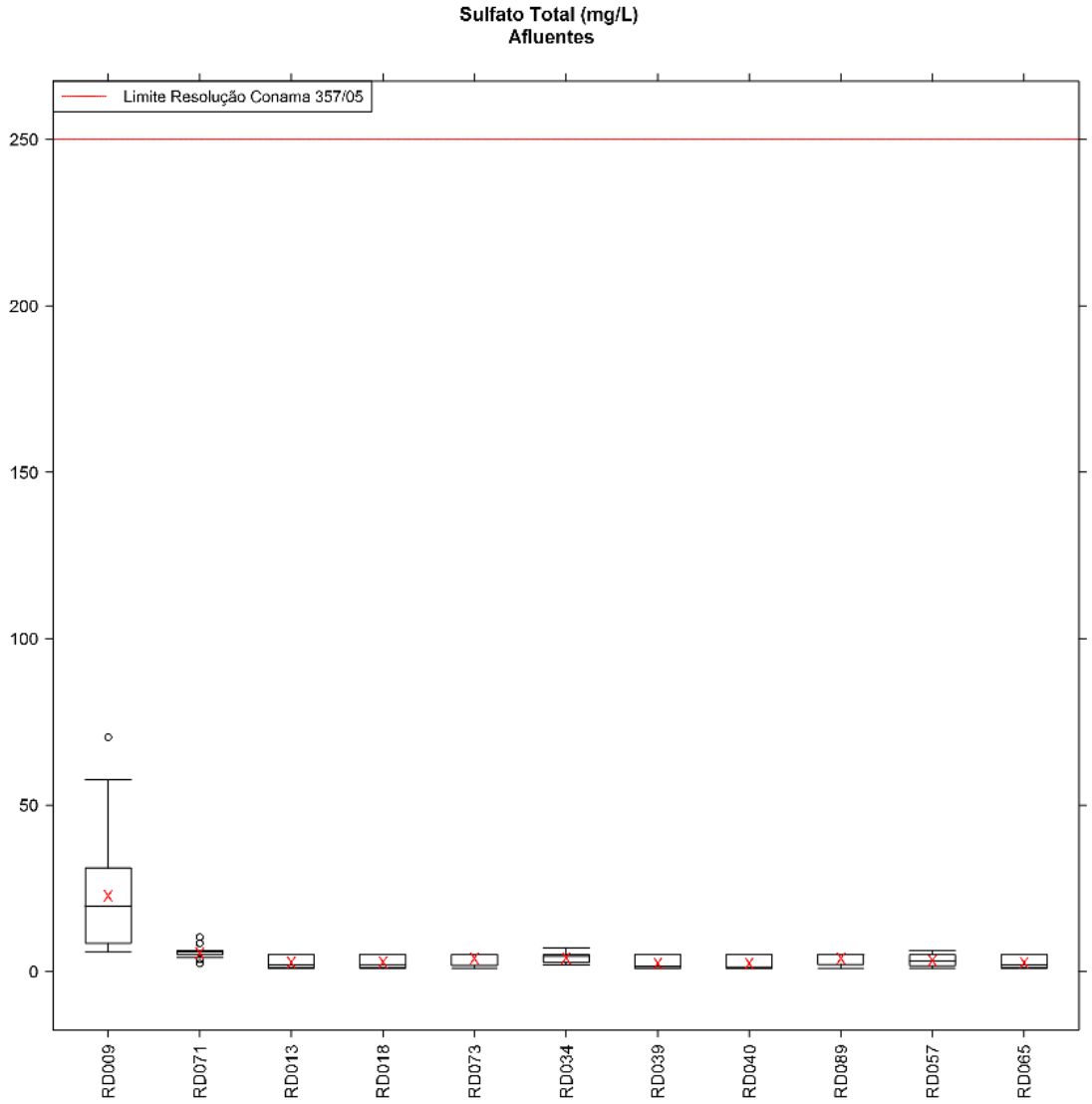

Sulfato Total (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
250
200
150
100
50
0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
Limite Resolução Conama 357/05

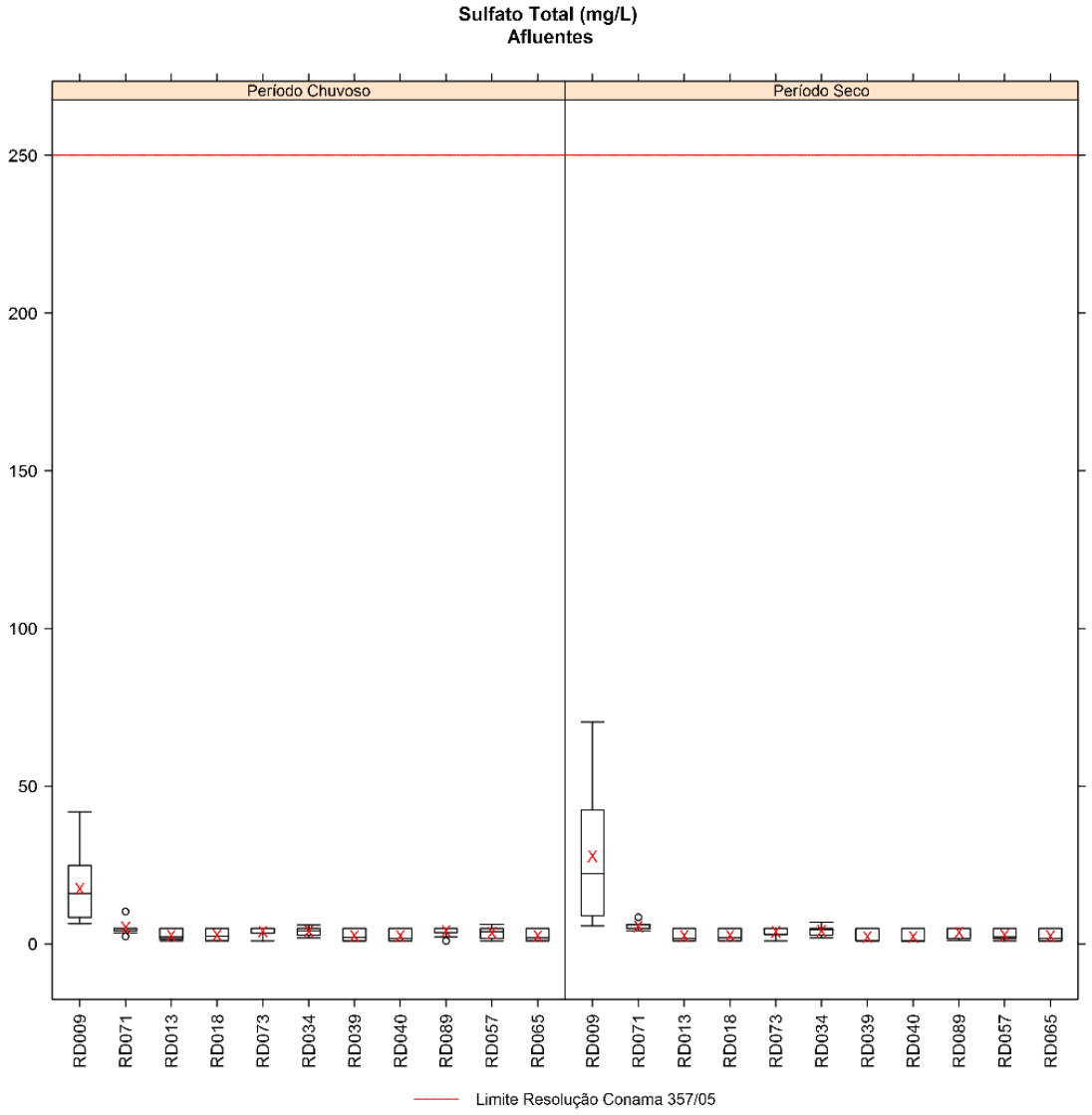
	Sulfato Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	5,80	22,71	19,70	70,40
RD071	14	2,40	5,44	5,00	10,30
RD013	36	1,00	2,64	1,95	5,00
RD018	32	1,00	2,73	2,10	5,00
RD073	14	1,00	3,91	5,00	5,00
RD034	32	2,00	4,09	4,55	7,00
RD039	36	1,00	2,43	1,50	5,00
RD040	32	1,00	2,42	1,30	5,00
RD089	15	1,00	3,86	5,00	5,00
RD057	36	1,00	3,21	3,00	6,30
RD065	36	1,00	2,57	1,95	5,00

	Sulfato Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	5,80	27,89	22,30	70,40
RD071	7	4,20	5,70	5,00	8,50
RD013	18	1,00	2,56	1,80	5,00
RD018	16	1,00	2,63	1,95	5,00
RD073	7	1,00	3,86	5,00	5,00
RD034	16	2,00	4,14	4,55	7,00
RD039	18	1,00	2,23	1,15	5,00
RD040	16	1,00	2,31	1,00	5,00
RD089	8	1,20	3,70	5,00	5,00
RD057	18	1,00	2,80	2,25	5,00
RD065	18	1,00	2,52	1,80	5,00

	Sulfato Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	6,50	17,53	16,00	41,90
RD071	7	2,40	5,19	5,00	10,30
RD013	18	1,00	2,72	2,25	5,00
RD018	16	1,00	2,83	2,50	5,00
RD073	7	1,00	3,97	5,00	5,00
RD034	16	2,00	4,03	4,20	6,10
RD039	18	1,00	2,62	2,10	5,00
RD040	16	1,00	2,53	1,75	5,00
RD089	7	1,00	4,04	5,00	5,00
RD057	18	1,00	3,61	4,00	6,30

	Sulfato Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	18	1,00	2,62	2,00	5,00




Sulfato Total (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
250
200
150
100
50
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
Limite Resolução Conama 357/05

RESULTADOS DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS DA ÁGUA

(METAIS E SEMIMETAIS)

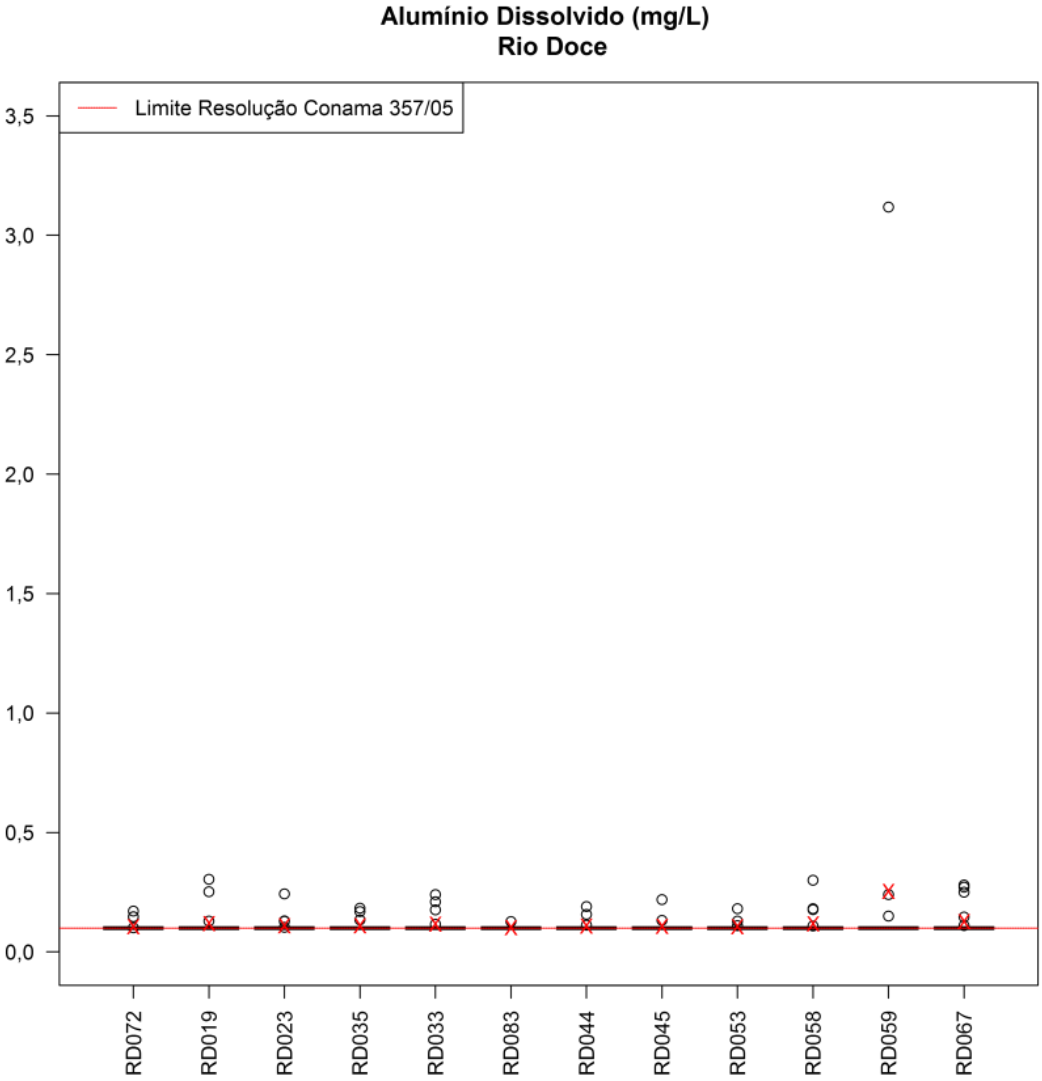
Alumínio Dissolvido

	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,100	0,106	0,100	0,171
RD019	21	0,100	0,118	0,100	0,304
RD023	21	0,100	0,110	0,100	0,243
RD035	21	0,100	0,109	0,100	0,183
RD033	21	0,100	0,116	0,100	0,240
RD083	30	0,100	0,101	0,100	0,127
RD044	21	0,100	0,108	0,100	0,190
RD045	21	0,100	0,107	0,100	0,219
RD053	21	0,100	0,106	0,100	0,181
RD058	21	0,100	0,117	0,100	0,300
RD059	21	0,100	0,253	0,100	3,118
RD067	21	0,100	0,127	0,100	0,280

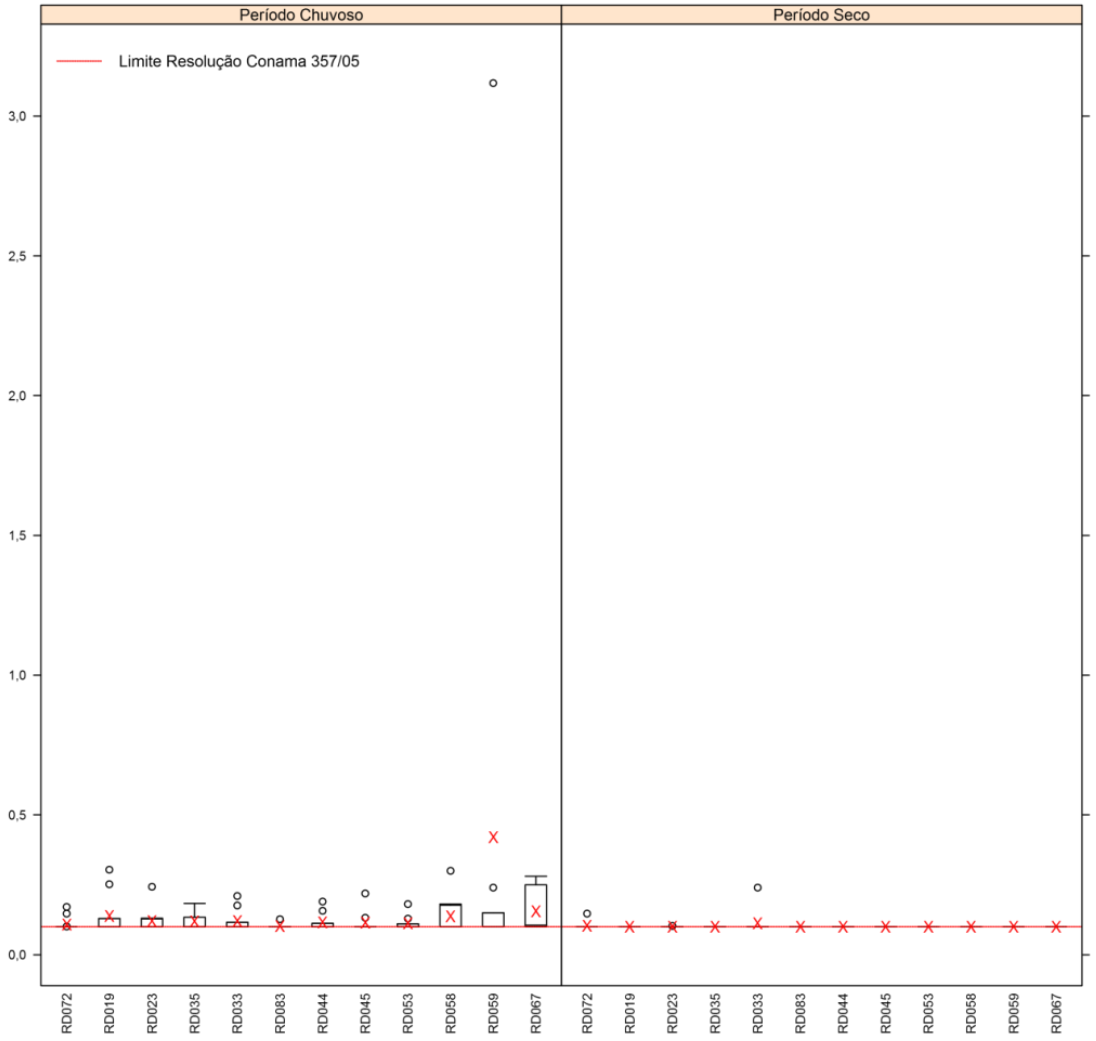
	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,100	0,103	0,100	0,147
RD019	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD023	11	0,100	0,100	0,100	0,103
RD035	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD033	11	0,100	0,113	0,100	0,240
RD083	15	0,100	0,100	0,100	0,100
RD044	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD045	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD053	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD058	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD059	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD067	11	0,100	0,100	0,100	0,100

	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,100	0,108	0,100	0,171
RD019	10	0,100	0,139	0,100	0,304
RD023	10	0,100	0,120	0,100	0,243
RD035	10	0,100	0,119	0,100	0,183
RD033	10	0,100	0,120	0,100	0,210
RD083	15	0,100	0,102	0,100	0,127
RD044	10	0,100	0,116	0,100	0,190

	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	10	0,100	0,115	0,100	0,219
RD053	10	0,100	0,112	0,100	0,181
RD058	10	0,100	0,137	0,100	0,300
RD059	10	0,100	0,421	0,100	3,118
RD067	10	0,100	0,156	0,105	0,280



Alumínio Dissolvido (mg/L)
Rio Doce

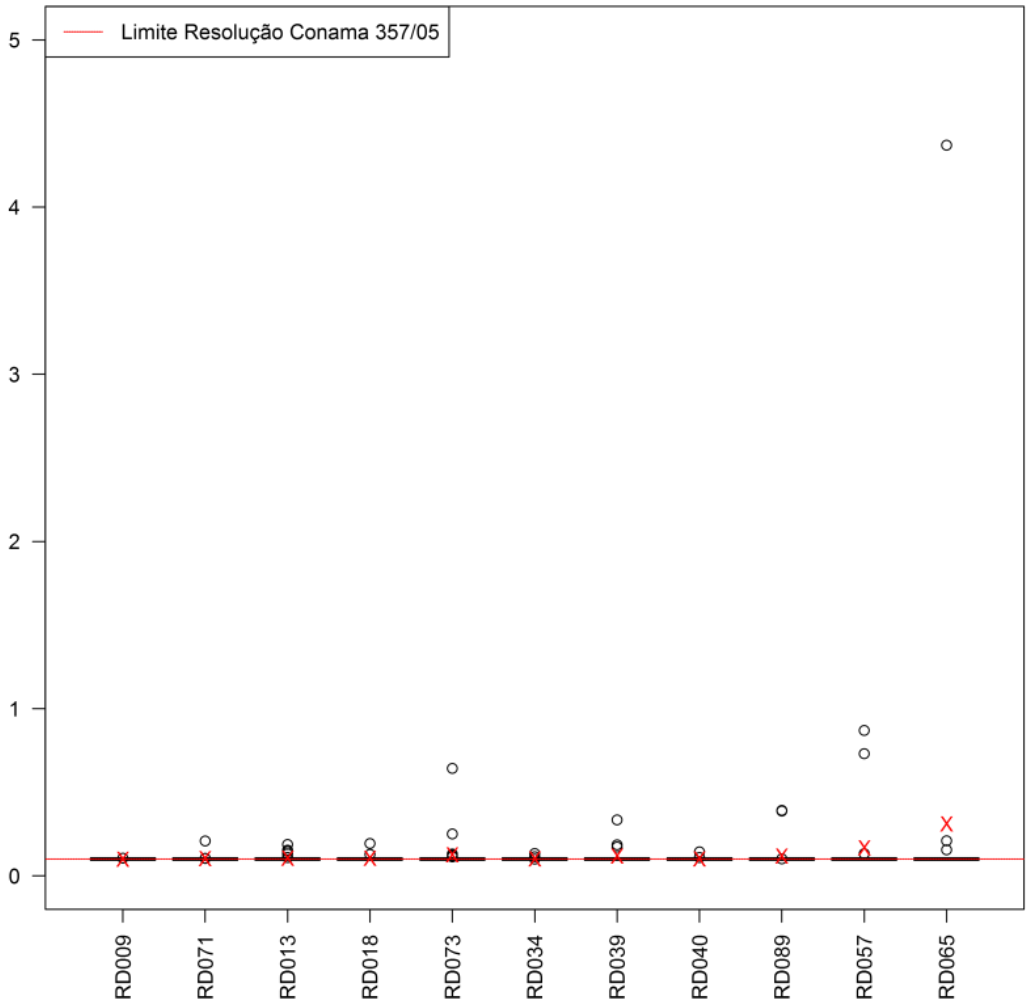


	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	21	0,100	0,100	0,100	0,106
RD071	29	0,100	0,104	0,100	0,209
RD013	42	0,100	0,106	0,100	0,188
RD018	21	0,100	0,106	0,100	0,194
RD073	29	0,100	0,127	0,100	0,643
RD034	21	0,100	0,102	0,100	0,134
RD039	21	0,100	0,119	0,100	0,335
RD040	21	0,100	0,103	0,100	0,144
RD089	30	0,100	0,119	0,100	0,392
RD057	21	0,100	0,168	0,100	0,870
RD065	21	0,100	0,311	0,100	4,370

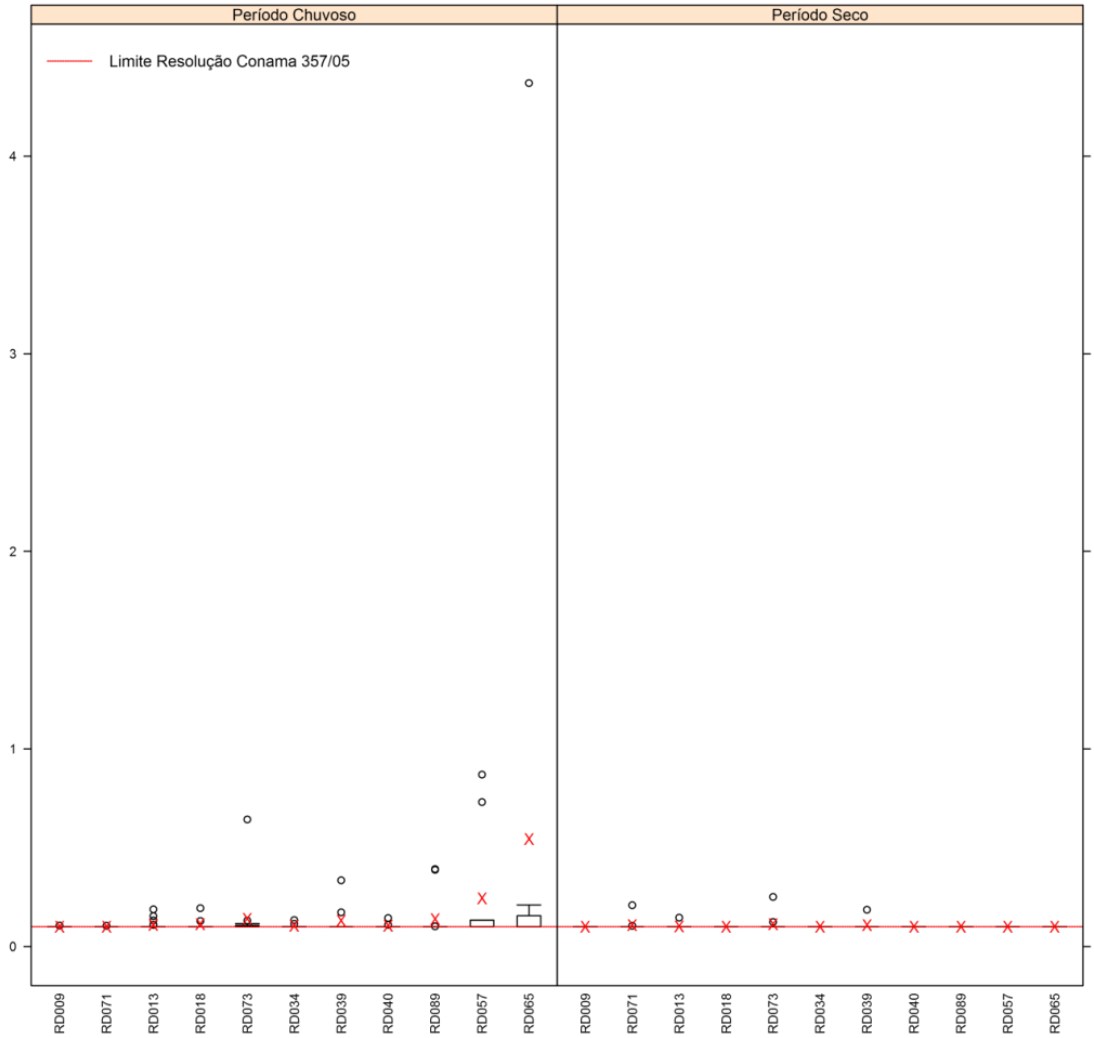
	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD071	14	0,100	0,108	0,100	0,209
RD013	21	0,100	0,102	0,100	0,146
RD018	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD073	14	0,100	0,113	0,100	0,251
RD034	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD039	11	0,100	0,108	0,100	0,186
RD040	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD089	15	0,100	0,100	0,100	0,100
RD057	11	0,100	0,100	0,100	0,100
RD065	11	0,100	0,100	0,100	0,100

	Alumínio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	10	0,100	0,101	0,100	0,106
RD071	15	0,100	0,100	0,100	0,105
RD013	21	0,100	0,109	0,100	0,188
RD018	10	0,100	0,112	0,100	0,194
RD073	15	0,100	0,140	0,100	0,643
RD034	10	0,100	0,105	0,100	0,134
RD039	10	0,100	0,131	0,100	0,335
RD040	10	0,100	0,105	0,100	0,144
RD089	15	0,100	0,139	0,100	0,392
RD057	10	0,100	0,243	0,100	0,870
RD065	10	0,100	0,544	0,100	4,370

Alumínio Dissolvido (mg/L)
Afluentes



Alumínio Dissolvido (mg/L)
Afluentes



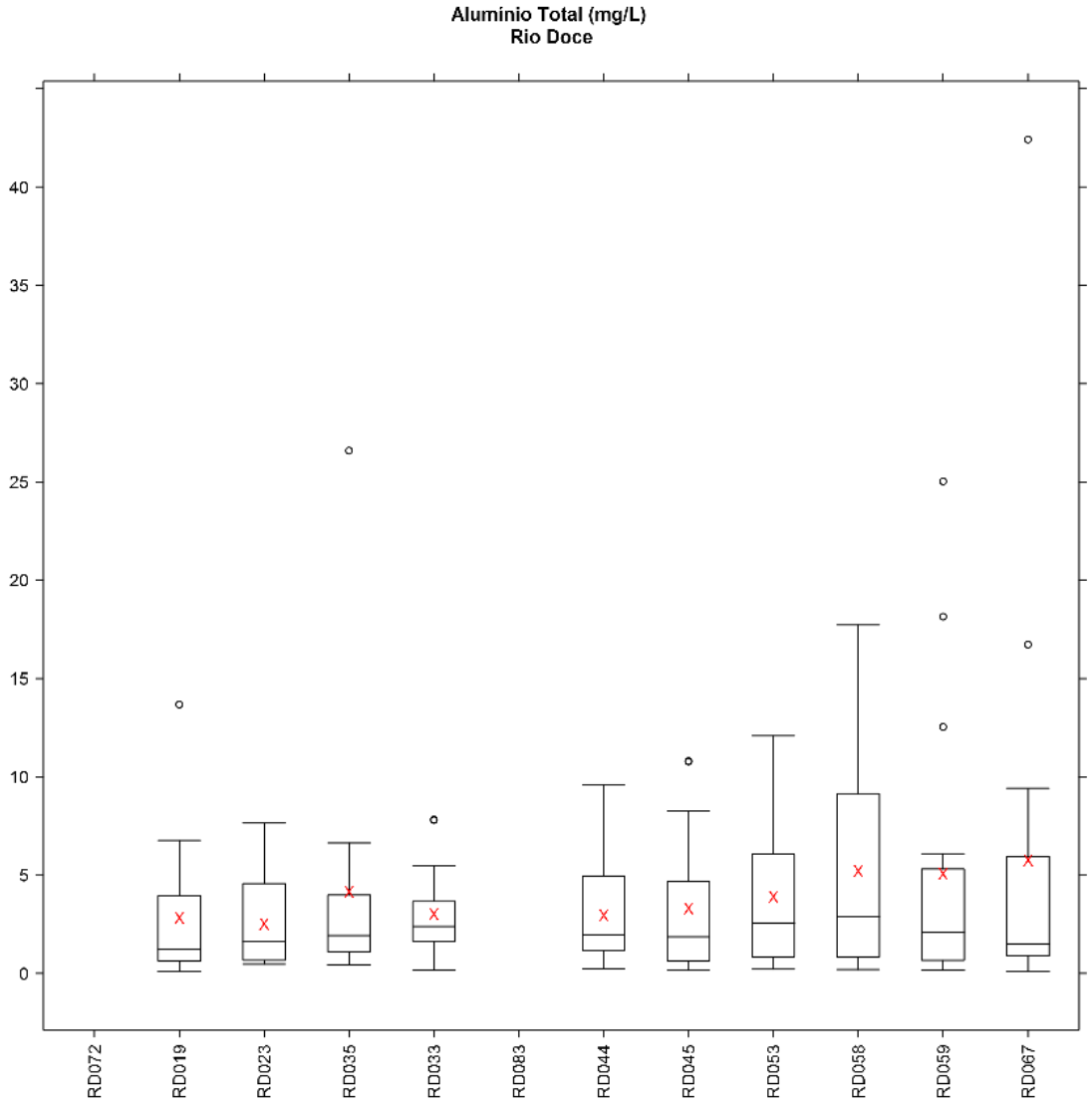
Alumínio Total

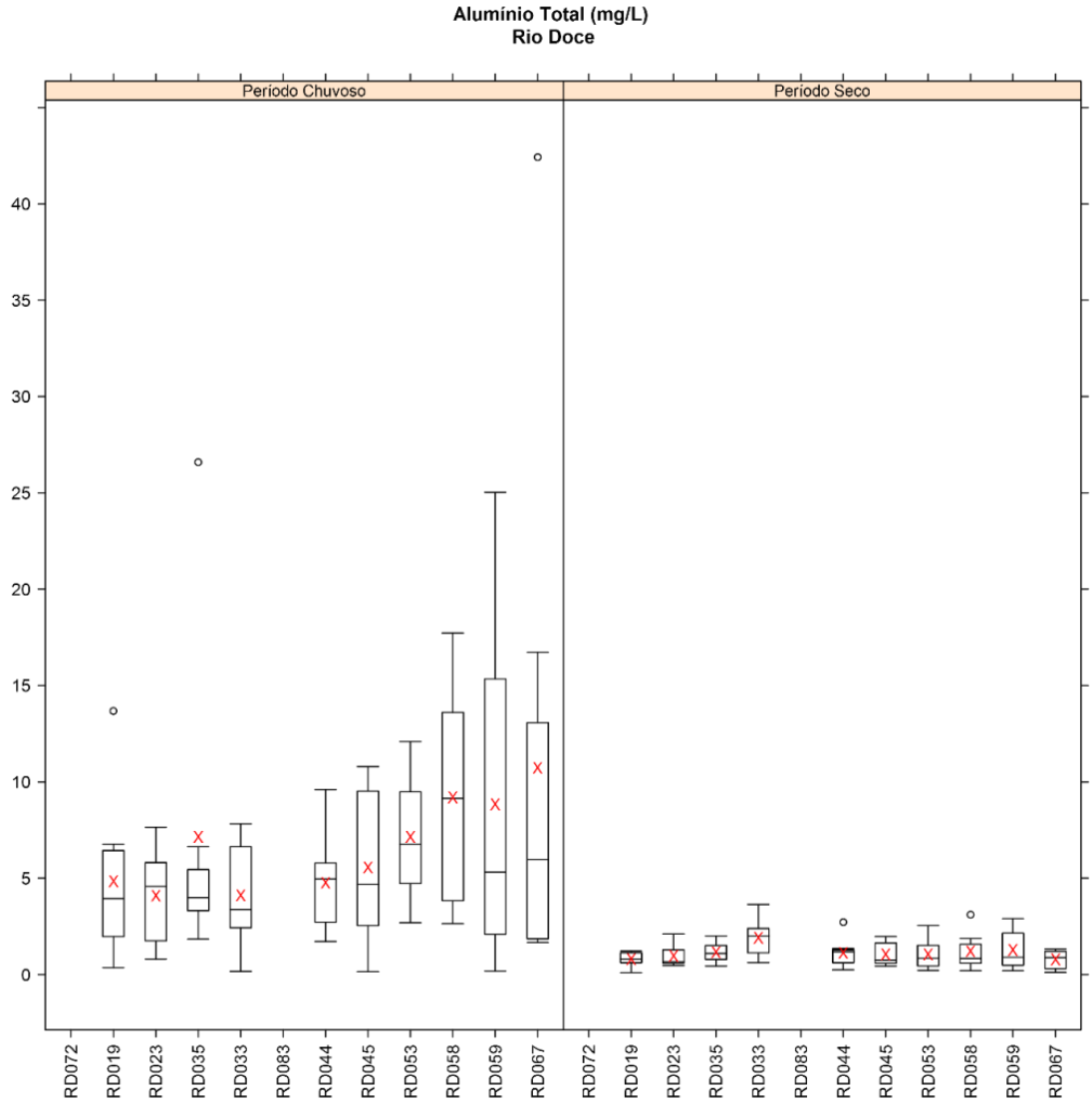
	Alumínio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	16	0,10	2,82	1,22	13,68
RD023	16	0,47	2,52	1,62	7,65
RD035	14	0,44	4,15	1,93	26,59
RD033	16	0,17	3,01	2,40	7,83
RD083	-	-	-	-	-
RD044	14	0,25	2,94	1,96	9,61
RD045	16	0,15	3,30	1,87	10,80
RD053	15	0,22	3,89	2,55	12,09
RD058	14	0,20	5,21	2,88	17,73
RD059	16	0,17	5,05	2,11	25,03
RD067	16	0,11	5,75	1,49	42,42

	Alumínio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	8	0,10	0,80	0,80	1,22
RD023	8	0,47	0,96	0,67	2,10
RD035	7	0,44	1,16	1,10	2,01
RD033	8	0,62	1,92	2,01	3,64
RD083	-	-	-	-	-
RD044	7	0,25	1,13	1,17	2,72
RD045	8	0,44	1,05	0,75	1,97
RD053	8	0,22	1,05	0,85	2,55
RD058	7	0,20	1,21	0,84	3,11
RD059	8	0,20	1,27	0,89	2,90
RD067	8	0,11	0,78	0,88	1,32

	Alumínio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	8	0,37	4,84	3,94	13,68
RD023	8	0,81	4,09	4,58	7,65
RD035	7	1,85	7,14	3,99	26,59
RD033	8	0,17	4,11	3,37	7,83
RD083	-	-	-	-	-
RD044	7	1,72	4,76	4,95	9,61

	Alumínio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	8	0,15	5,55	4,68	10,80
RD053	7	2,69	7,14	6,77	12,09
RD058	7	2,65	9,20	9,15	17,73
RD059	8	0,17	8,84	5,32	25,03
RD067	8	1,66	10,73	5,96	42,42



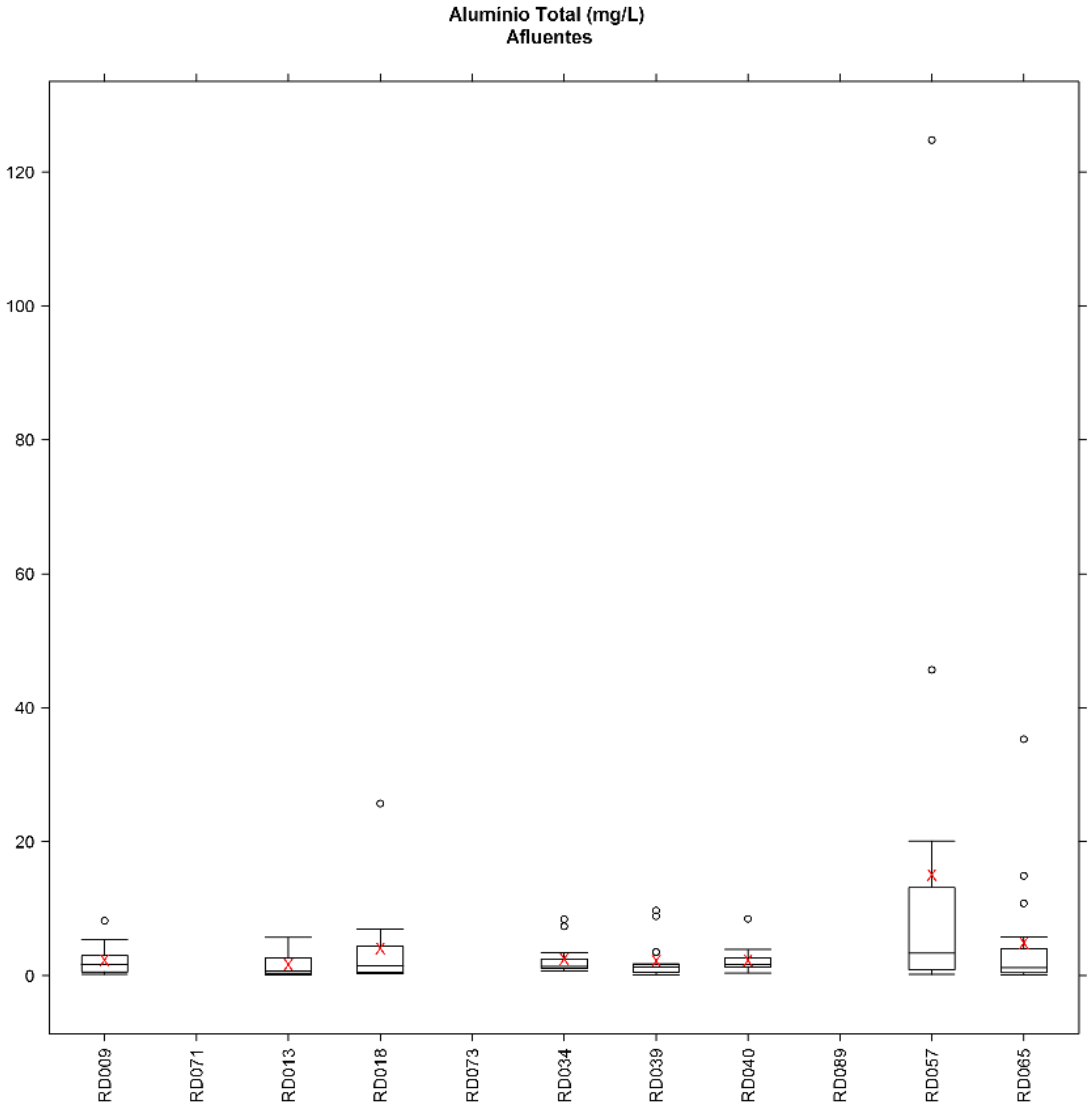

Alumínio Total (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
0
5
10
15
20
25
30
35
40
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

	Alumínio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	14	0,22	2,28	1,65	8,19
RD071	-	-	-	-	-
RD013	27	0,09	1,62	0,72	5,73
RD018	14	0,29	4,08	1,49	25,70
RD073	-	-	-	-	-
RD034	14	0,66	2,47	1,40	8,42
RD039	16	0,09	2,16	1,22	9,71
RD040	14	0,41	2,26	1,67	8,49
RD089	-	-	-	-	-
RD057	16	0,21	15,02	3,34	124,78
RD065	16	0,16	4,88	1,18	35,30

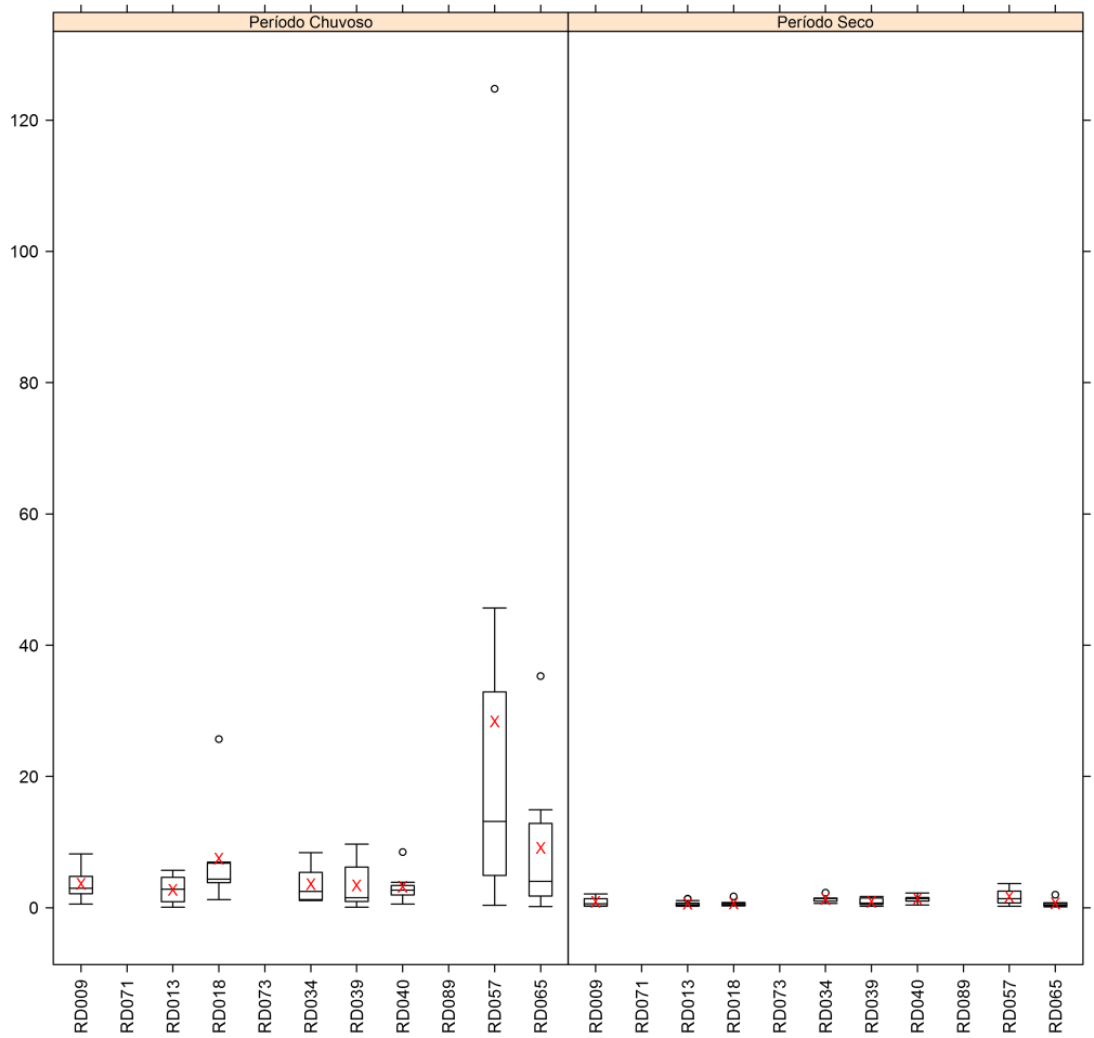
	Alumínio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,22	0,90	0,61	2,13
RD071	-	-	-	-	-
RD013	14	0,22	0,61	0,48	1,39
RD018	7	0,29	0,66	0,48	1,73
RD073	-	-	-	-	-
RD034	7	0,66	1,32	1,37	2,30
RD039	8	0,24	0,92	0,72	1,74
RD040	7	0,41	1,32	1,38	2,25
RD089	-	-	-	-	-
RD057	8	0,21	1,65	1,40	3,68
RD065	8	0,16	0,65	0,49	1,99

	Alumínio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,56	3,66	2,99	8,19
RD071	-	-	-	-	-
RD013	13	0,09	2,72	2,81	5,73
RD018	7	1,24	7,51	4,37	25,70
RD073	-	-	-	-	-
RD034	7	1,09	3,61	2,50	8,42
RD039	8	0,09	3,40	1,55	9,71
RD040	7	0,55	3,20	2,66	8,49
RD089	-	-	-	-	-
RD057	8	0,37	28,38	13,14	124,78

	Alumínio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	8	0,19	9,10	4,03	35,30



Alumínio Total (mg/L)
Afluentes



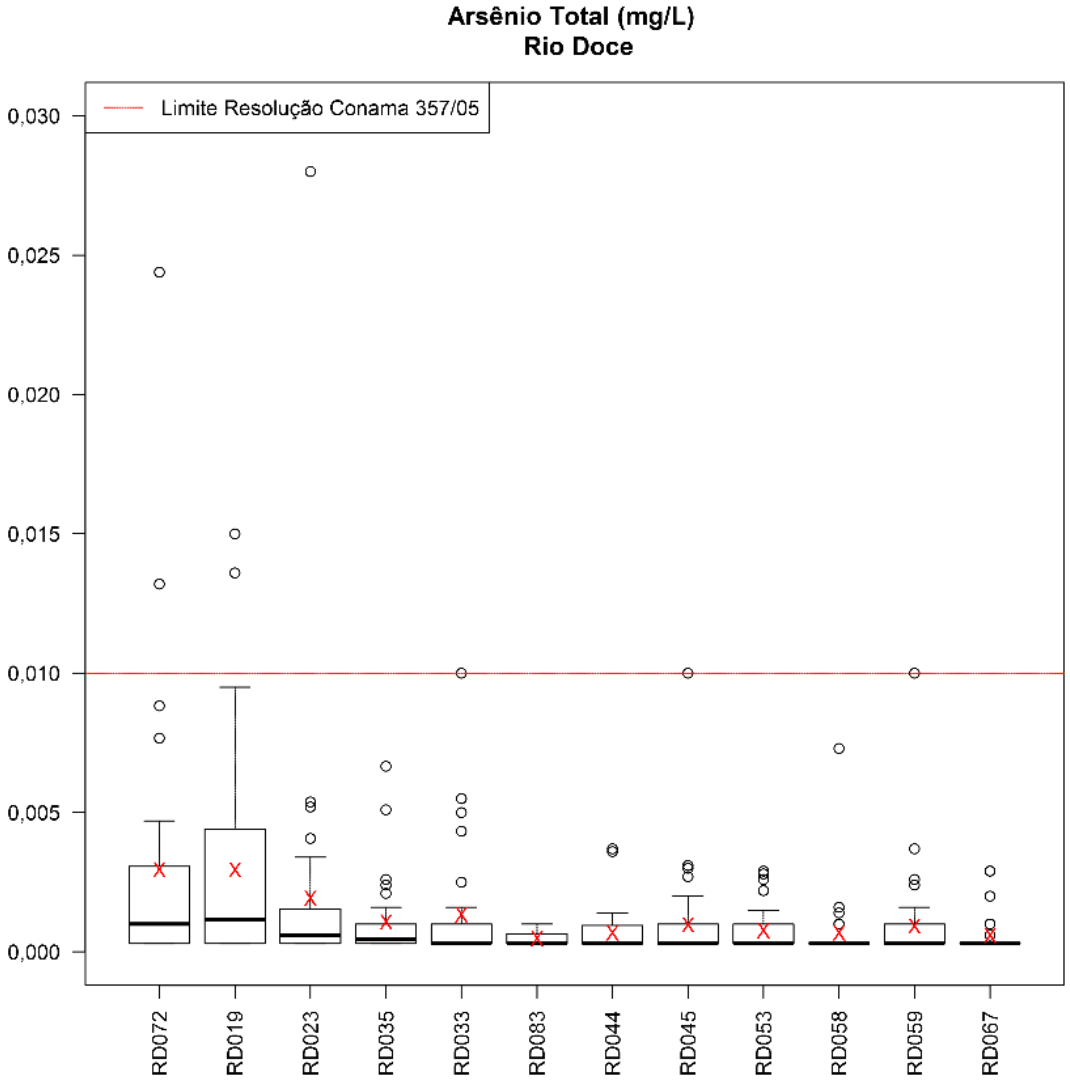
Arsênio Total

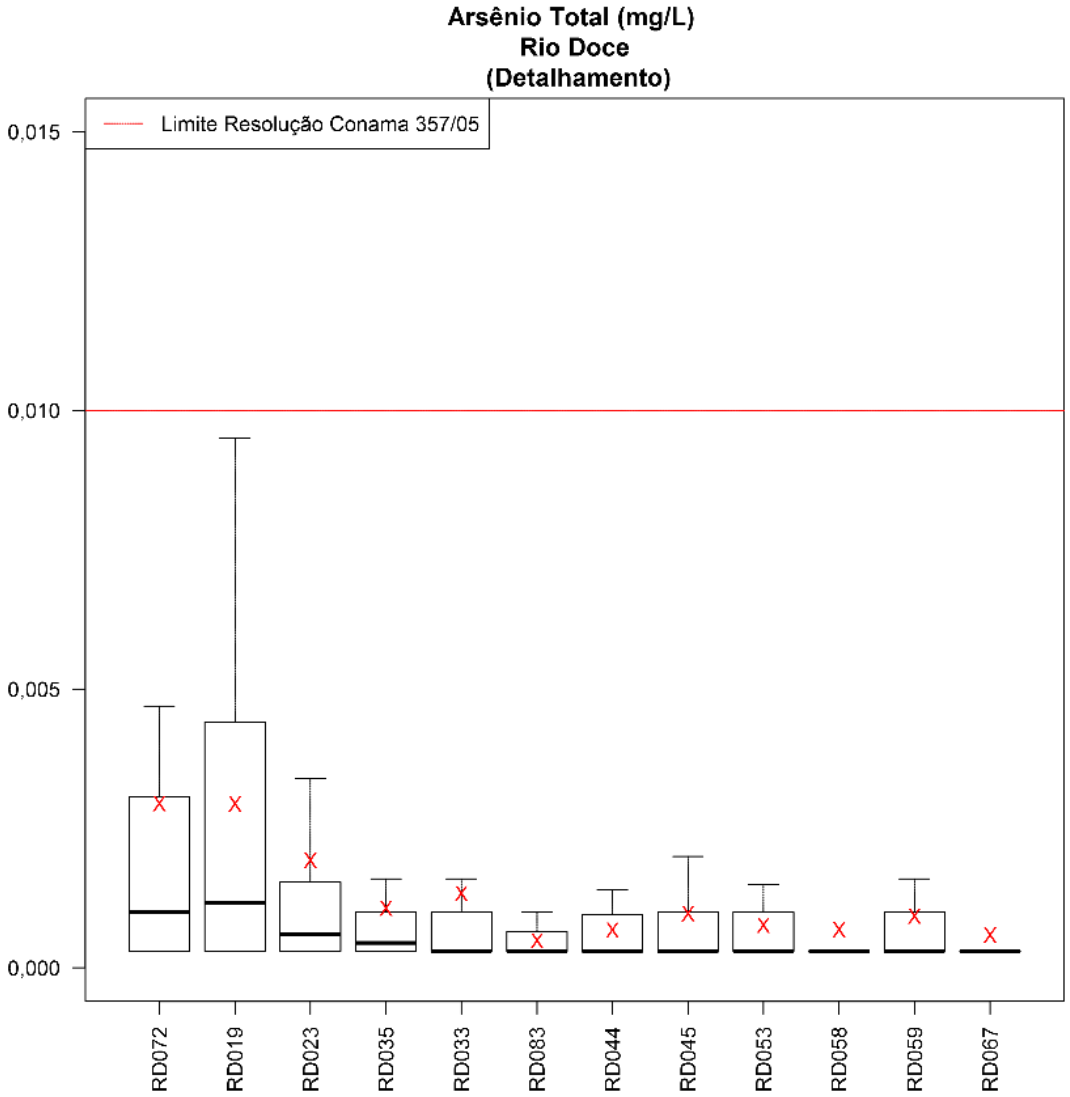
	Arsênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,0003	0,0029	0,0010	0,0244
RD019	36	0,0003	0,0029	0,0012	0,0150
RD023	36	0,0003	0,0019	0,0006	0,0280
RD035	32	0,0003	0,0011	0,0005	0,0067
RD033	36	0,0003	0,0013	0,0003	0,0100
RD083	15	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD044	32	0,0003	0,0007	0,0003	0,0037
RD045	36	0,0003	0,0010	0,0003	0,0100
RD053	35	0,0003	0,0008	0,0003	0,0029
RD058	32	0,0003	0,0007	0,0003	0,0073
RD059	36	0,0003	0,0009	0,0003	0,0100
RD067	35	0,0003	0,0006	0,0003	0,0029

	Arsênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,0003	0,0041	0,0011	0,0244
RD019	18	0,0003	0,0020	0,0009	0,0071
RD023	18	0,0003	0,0009	0,0003	0,0034
RD035	16	0,0003	0,0007	0,0003	0,0024
RD033	18	0,0003	0,0005	0,0003	0,0016
RD083	8	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD044	16	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD045	18	0,0003	0,0006	0,0003	0,0027
RD053	18	0,0003	0,0005	0,0003	0,0015
RD058	16	0,0003	0,0005	0,0003	0,0014
RD059	18	0,0003	0,0006	0,0003	0,0026
RD067	18	0,0003	0,0005	0,0003	0,0020

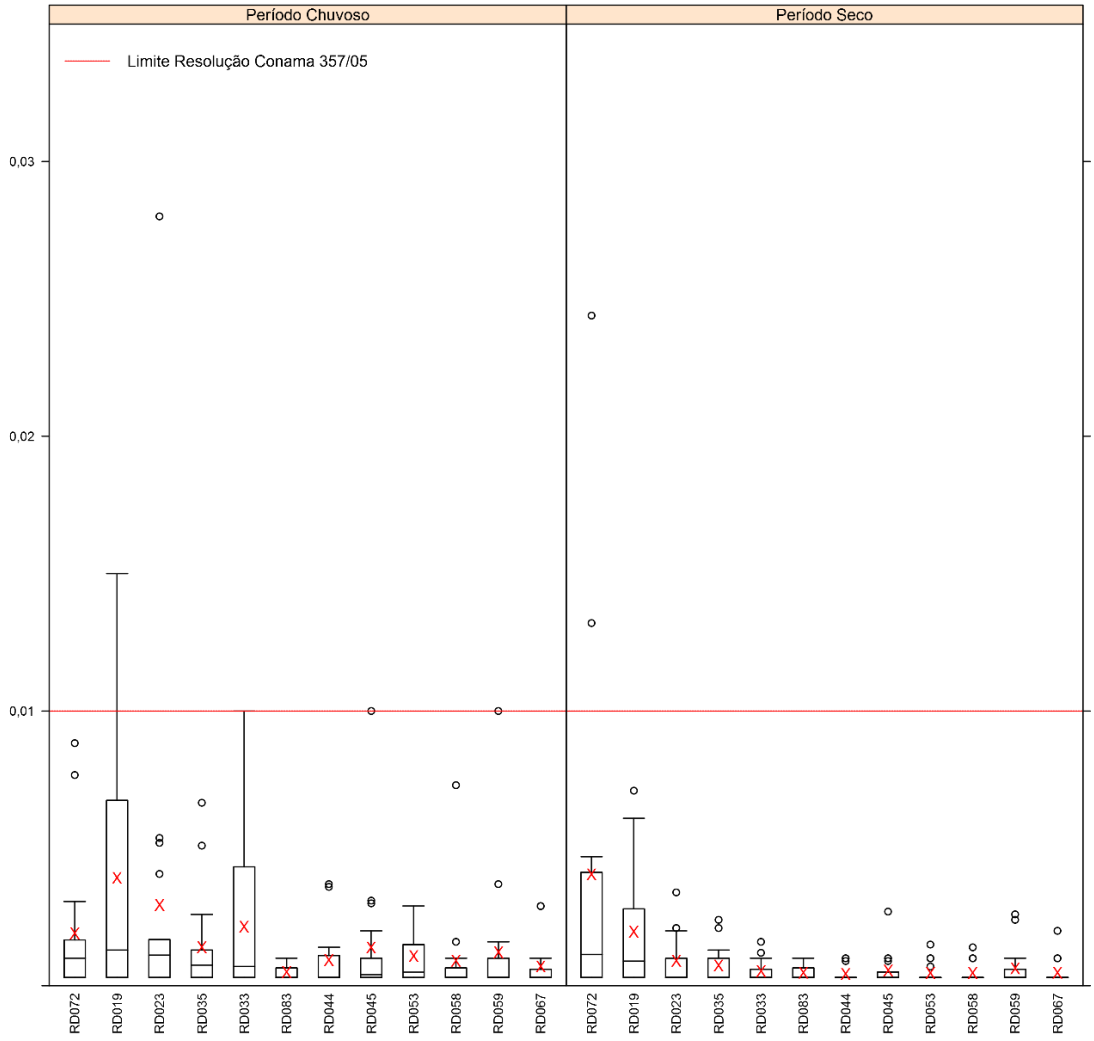
	Arsênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,0003	0,0019	0,0010	0,0088
RD019	18	0,0003	0,0039	0,0013	0,0150
RD023	18	0,0003	0,0029	0,0011	0,0280
RD035	16	0,0003	0,0014	0,0008	0,0067
RD033	18	0,0003	0,0021	0,0007	0,0100
RD083	7	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD044	16	0,0003	0,0009	0,0003	0,0037

	Arsênio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	0,0003	0,0014	0,0004	0,0100
RD053	17	0,0003	0,0011	0,0005	0,0029
RD058	16	0,0003	0,0009	0,0003	0,0073
RD059	18	0,0003	0,0012	0,0003	0,0100
RD067	17	0,0003	0,0007	0,0003	0,0029




Arsênio Total (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,015
0,010
0,005
0,000
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

Arsênio Total (mg/L)
Rio Doce

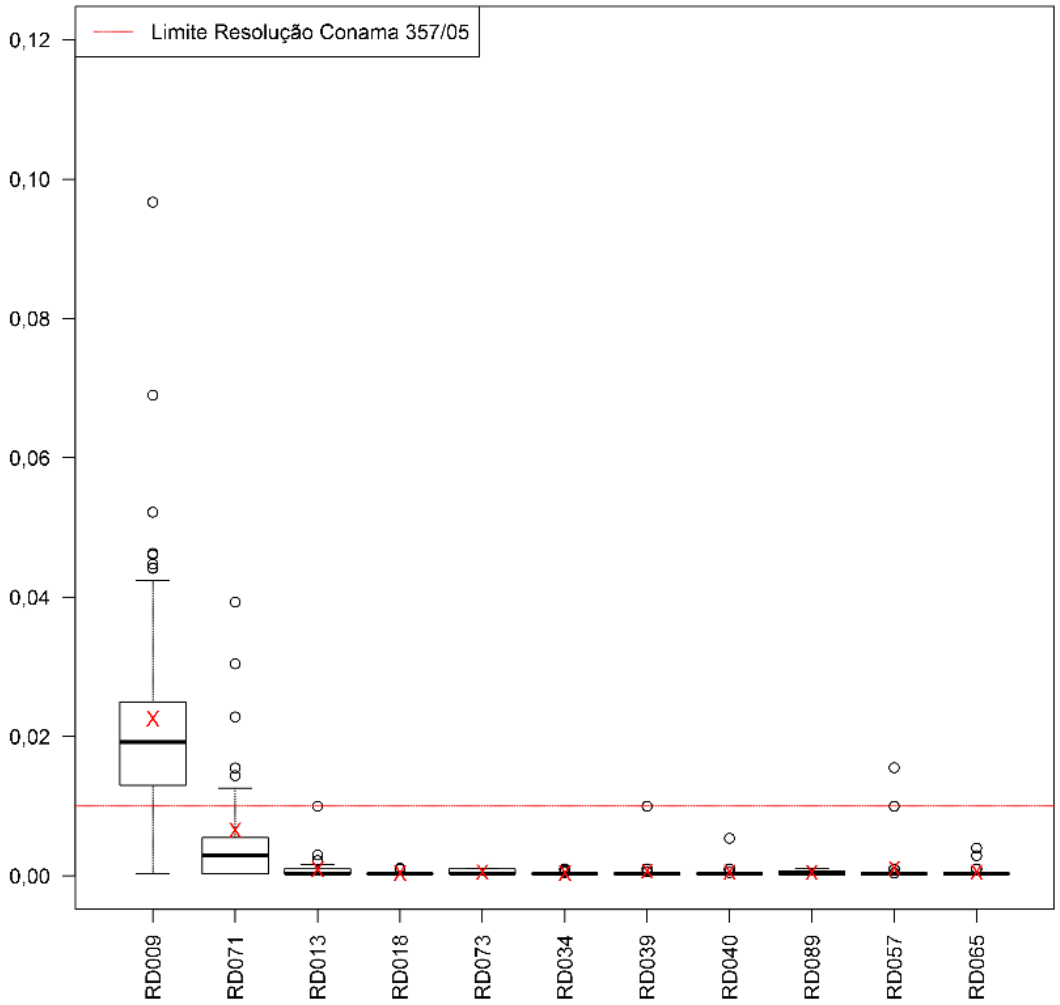


	Arsênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	49	0,0003	0,0226	0,0192	0,0967
RD071	29	0,0003	0,0065	0,0029	0,0393
RD013	36	0,0003	0,0009	0,0003	0,0100
RD018	32	0,0003	0,0004	0,0003	0,0011
RD073	29	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD034	32	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD039	36	0,0003	0,0007	0,0003	0,0100
RD040	32	0,0003	0,0006	0,0003	0,0054
RD089	15	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD057	36	0,0003	0,0011	0,0003	0,0155
RD065	35	0,0003	0,0006	0,0003	0,0040

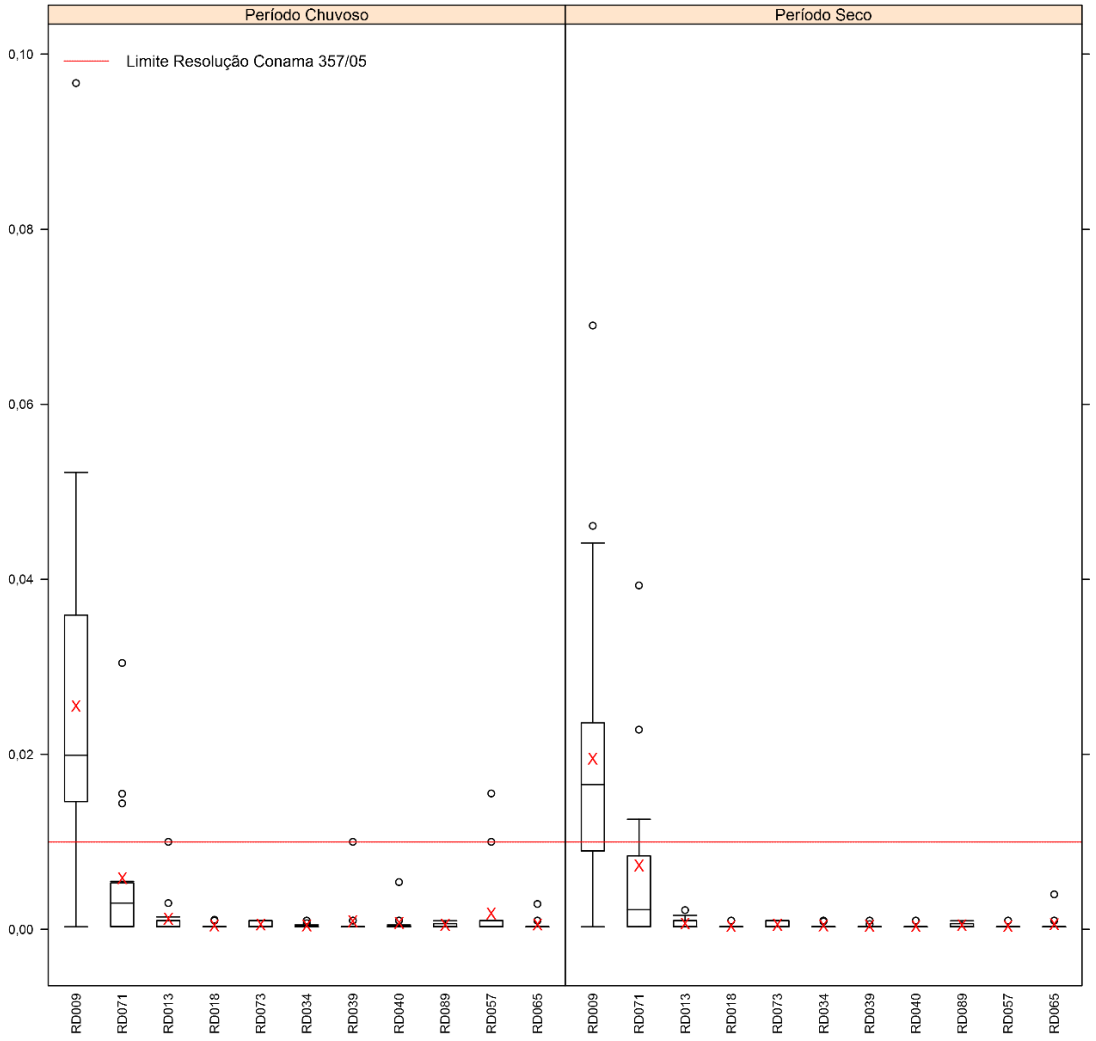
	Arsênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	24	0,0003	0,0195	0,0166	0,0690
RD071	14	0,0003	0,0073	0,0022	0,0393
RD013	18	0,0003	0,0006	0,0003	0,0022
RD018	16	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD073	14	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD034	16	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD039	18	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD040	16	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD089	8	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD057	18	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD065	18	0,0003	0,0006	0,0003	0,0040

	Arsênio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	25	0,0003	0,0255	0,0199	0,0967
RD071	15	0,0003	0,0059	0,0030	0,0304
RD013	18	0,0003	0,0012	0,0003	0,0100
RD018	16	0,0003	0,0004	0,0003	0,0011
RD073	15	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD034	16	0,0003	0,0004	0,0003	0,0010
RD039	18	0,0003	0,0009	0,0003	0,0100
RD040	16	0,0003	0,0007	0,0003	0,0054
RD089	7	0,0003	0,0005	0,0003	0,0010
RD057	18	0,0003	0,0018	0,0003	0,0155
RD065	17	0,0003	0,0005	0,0003	0,0029

Arsênio Total (mg/L)
Afluentes



Arsênio Total (mg/L)
Afluentes



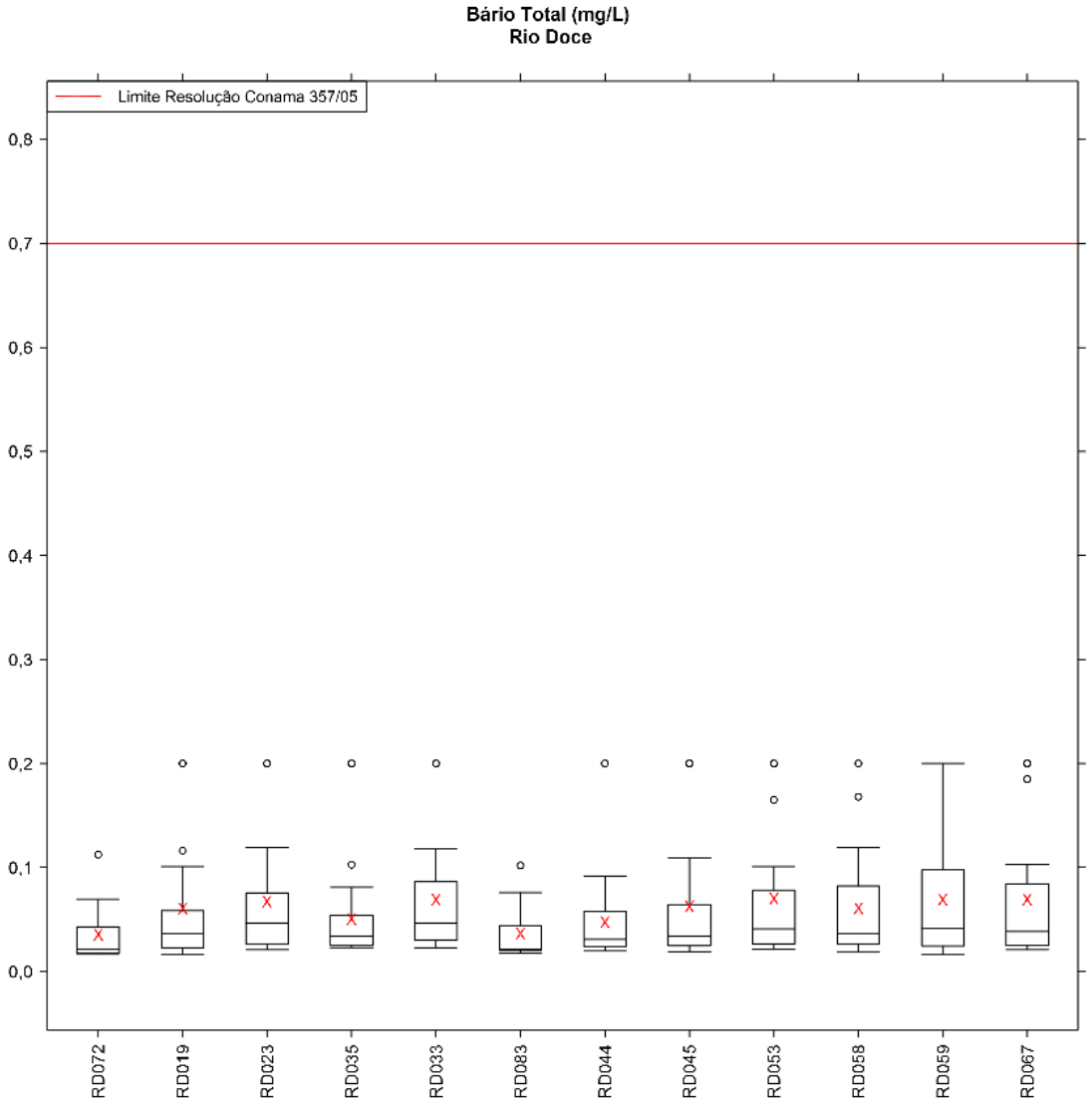
Bário Total

	Bário Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,017	0,035	0,021	0,112
RD019	36	0,016	0,060	0,037	0,200
RD023	36	0,021	0,067	0,047	0,200
RD035	32	0,023	0,051	0,034	0,200
RD033	36	0,023	0,069	0,047	0,200
RD083	15	0,018	0,036	0,021	0,102
RD044	32	0,020	0,047	0,031	0,200
RD045	36	0,019	0,062	0,034	0,200
RD053	35	0,021	0,070	0,041	0,200
RD058	32	0,019	0,061	0,036	0,200
RD059	36	0,017	0,069	0,041	0,200
RD067	36	0,021	0,069	0,038	0,200

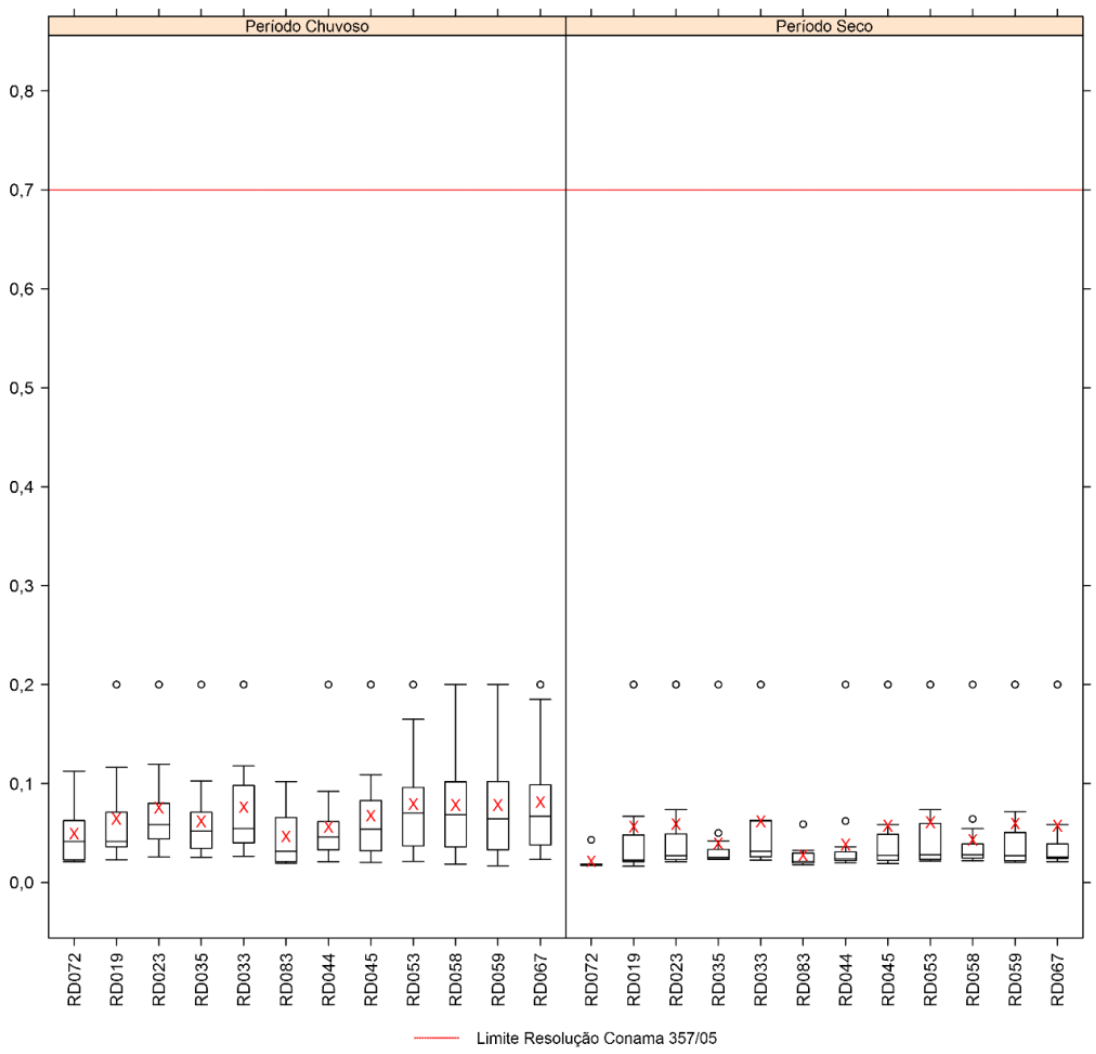
	Bário Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,017	0,021	0,018	0,043
RD019	18	0,016	0,056	0,023	0,200
RD023	18	0,021	0,059	0,027	0,200
RD035	16	0,023	0,039	0,026	0,200
RD033	18	0,023	0,062	0,032	0,200
RD083	8	0,018	0,027	0,021	0,059
RD044	16	0,020	0,038	0,024	0,200
RD045	18	0,019	0,057	0,028	0,200
RD053	18	0,022	0,061	0,028	0,200
RD058	16	0,022	0,043	0,028	0,200
RD059	18	0,021	0,059	0,027	0,200
RD067	18	0,021	0,057	0,026	0,200

	Bário Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,021	0,049	0,041	0,112
RD019	18	0,023	0,064	0,042	0,200
RD023	18	0,026	0,075	0,059	0,200
RD035	16	0,026	0,062	0,052	0,200
RD033	18	0,027	0,076	0,055	0,200
RD083	7	0,020	0,047	0,031	0,102
RD044	16	0,021	0,056	0,046	0,200

	Bário Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	0,020	0,067	0,054	0,200
RD053	17	0,021	0,079	0,070	0,200
RD058	16	0,019	0,078	0,069	0,200
RD059	18	0,017	0,078	0,064	0,200
RD067	18	0,023	0,081	0,067	0,200



Bário Total (mg/L)
Rio Doce

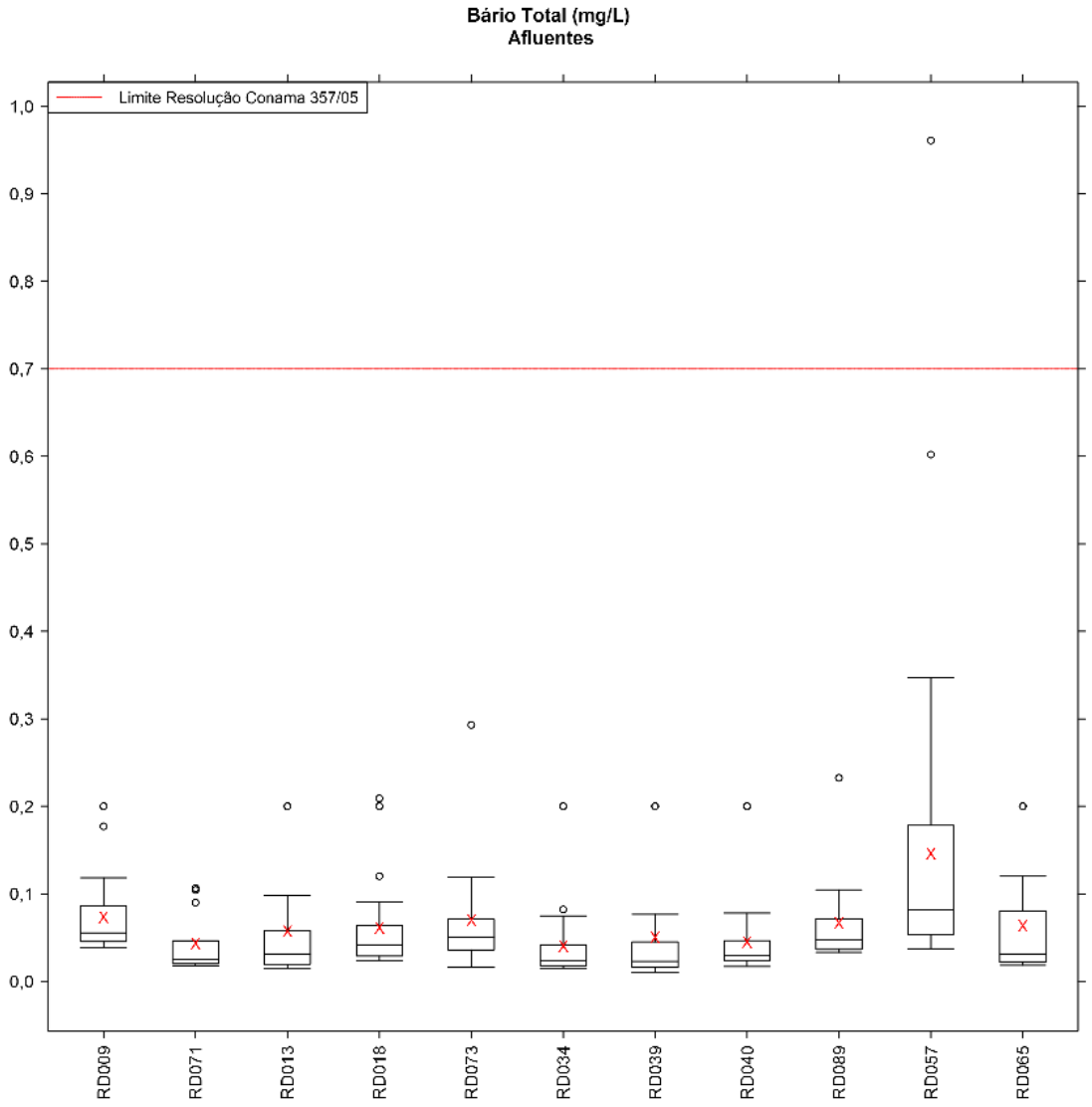


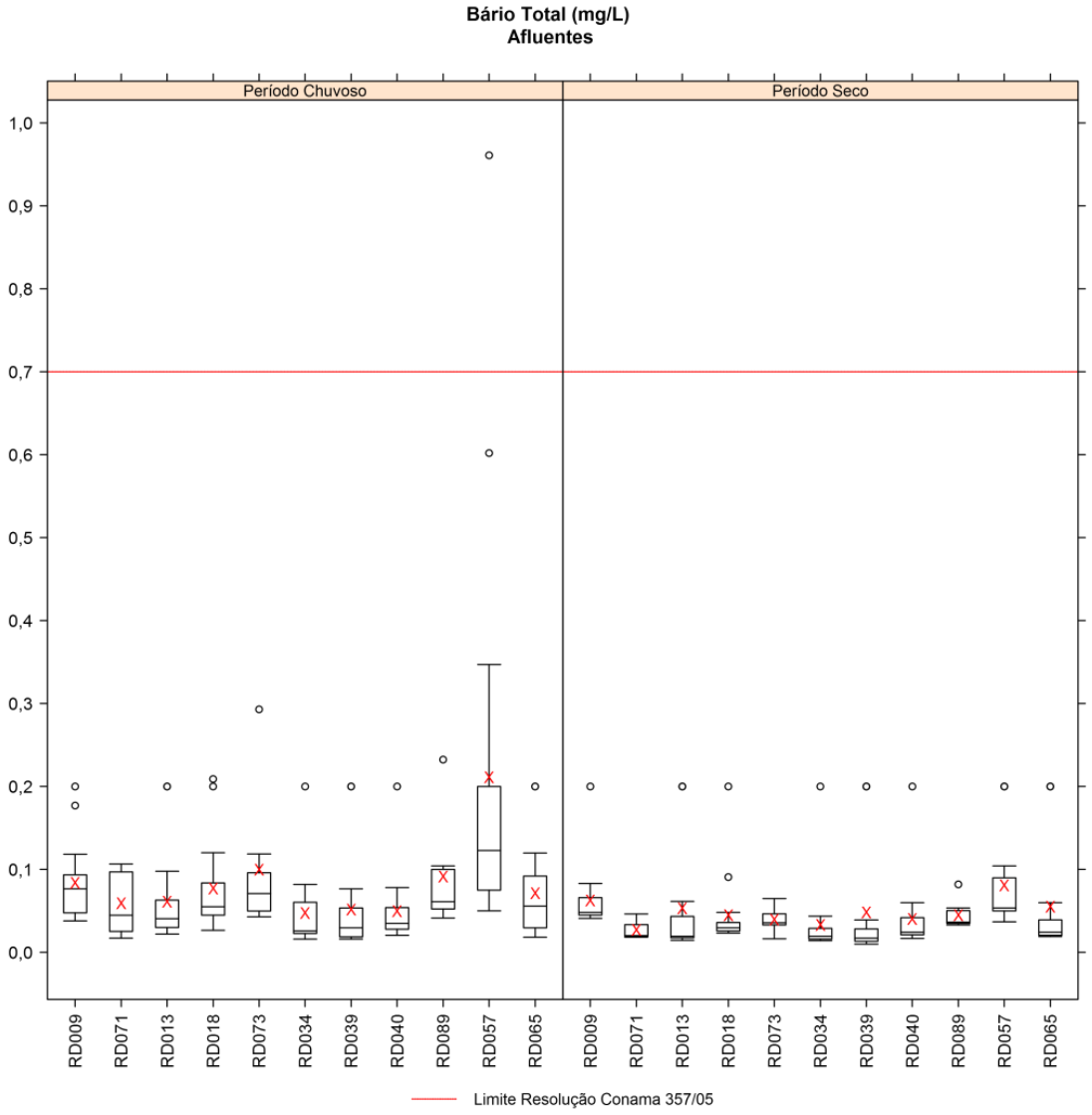
	Bário Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,038	0,073	0,056	0,200
RD071	14	0,017	0,043	0,025	0,106
RD013	36	0,014	0,057	0,031	0,200
RD018	32	0,023	0,061	0,041	0,209
RD073	14	0,016	0,070	0,050	0,293
RD034	32	0,014	0,040	0,024	0,200
RD039	36	0,010	0,050	0,023	0,200
RD040	32	0,017	0,045	0,030	0,200
RD089	15	0,033	0,067	0,047	0,232
RD057	36	0,037	0,146	0,082	0,961
RD065	36	0,018	0,063	0,031	0,200

	Bário Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,041	0,063	0,048	0,200
RD071	7	0,018	0,027	0,020	0,046
RD013	18	0,014	0,053	0,020	0,200
RD018	16	0,023	0,045	0,030	0,200
RD073	7	0,016	0,039	0,036	0,065
RD034	16	0,014	0,033	0,019	0,200
RD039	18	0,010	0,048	0,017	0,200
RD040	16	0,017	0,040	0,025	0,200
RD089	8	0,033	0,045	0,036	0,082
RD057	18	0,037	0,081	0,054	0,200
RD065	18	0,019	0,055	0,025	0,200

	Bário Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,038	0,084	0,077	0,200
RD071	7	0,017	0,059	0,045	0,106
RD013	18	0,022	0,061	0,041	0,200
RD018	16	0,027	0,077	0,055	0,209
RD073	7	0,043	0,100	0,071	0,293
RD034	16	0,016	0,048	0,026	0,200
RD039	18	0,016	0,052	0,030	0,200
RD040	16	0,021	0,050	0,035	0,200
RD089	7	0,041	0,091	0,061	0,232
RD057	18	0,050	0,211	0,123	0,961

	Bário Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	18	0,018	0,072	0,056	0,200




Bário Total (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
Limite Resolução Conama 357/05

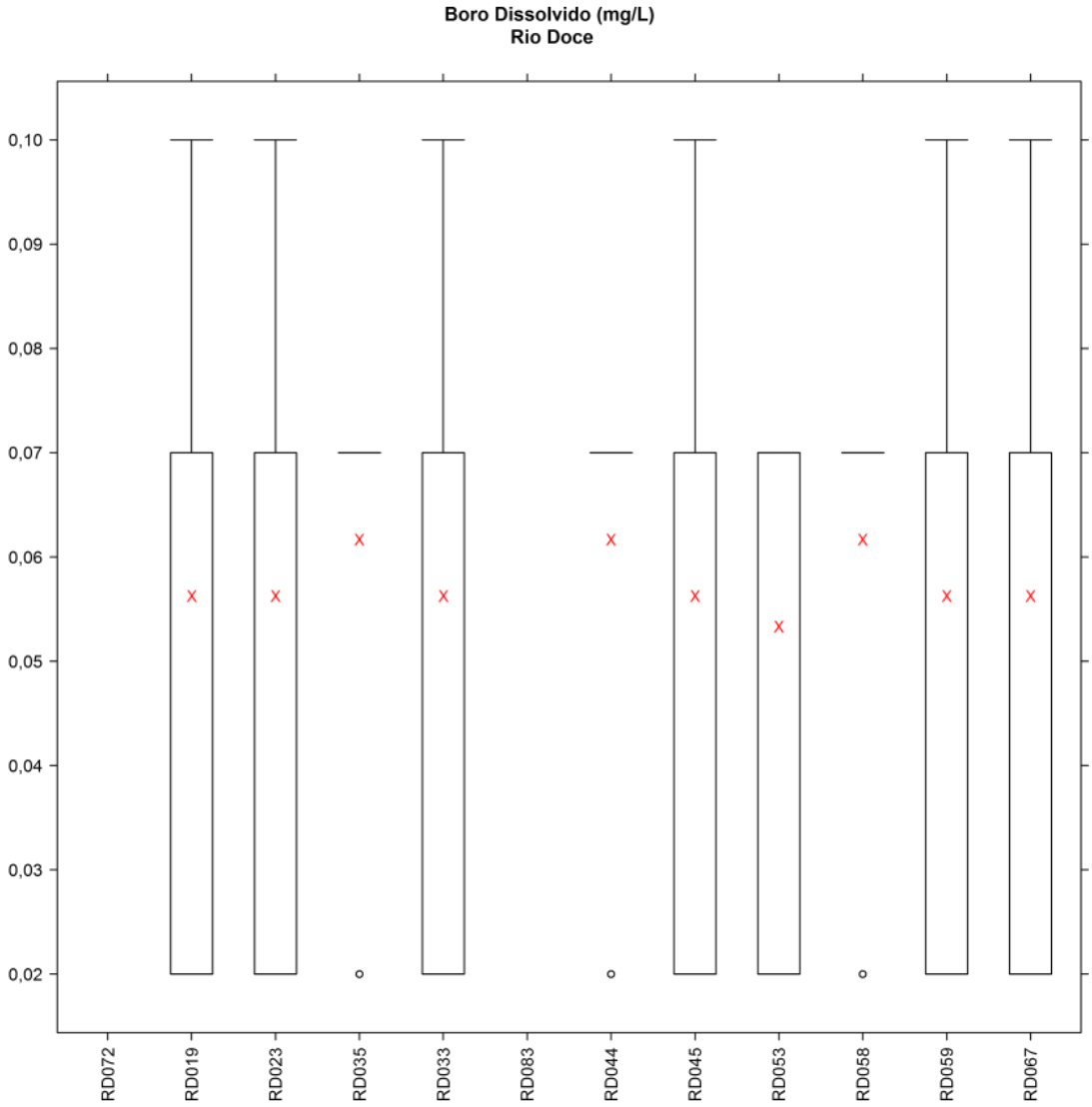
Boro Dissolvido

	Boro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD023	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD035	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD033	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD083	-	-	-	-	-
RD044	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD045	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD053	15	0,020	0,053	0,070	0,070
RD058	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD059	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD067	16	0,020	0,056	0,070	0,100

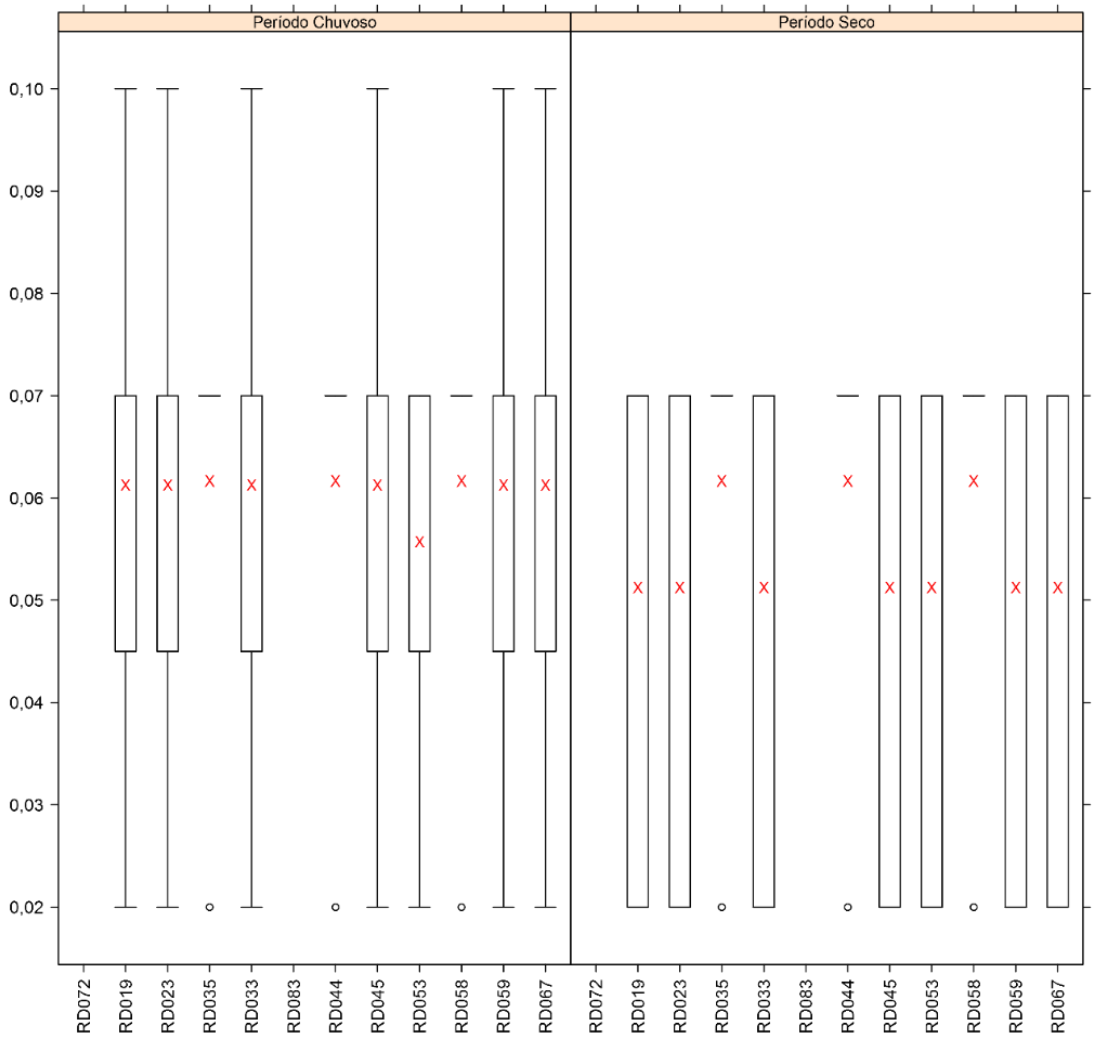
	Boro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD023	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD035	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD033	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD083	-	-	-	-	-
RD044	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD045	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD053	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD058	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD059	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD067	8	0,020	0,051	0,070	0,070

	Boro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD023	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD035	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD033	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD083	-	-	-	-	-
RD044	6	0,020	0,062	0,070	0,070

	Boro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD053	7	0,020	0,056	0,070	0,070
RD058	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD059	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD067	8	0,020	0,061	0,070	0,100



Boro Dissolvido (mg/L)
Rio Doce

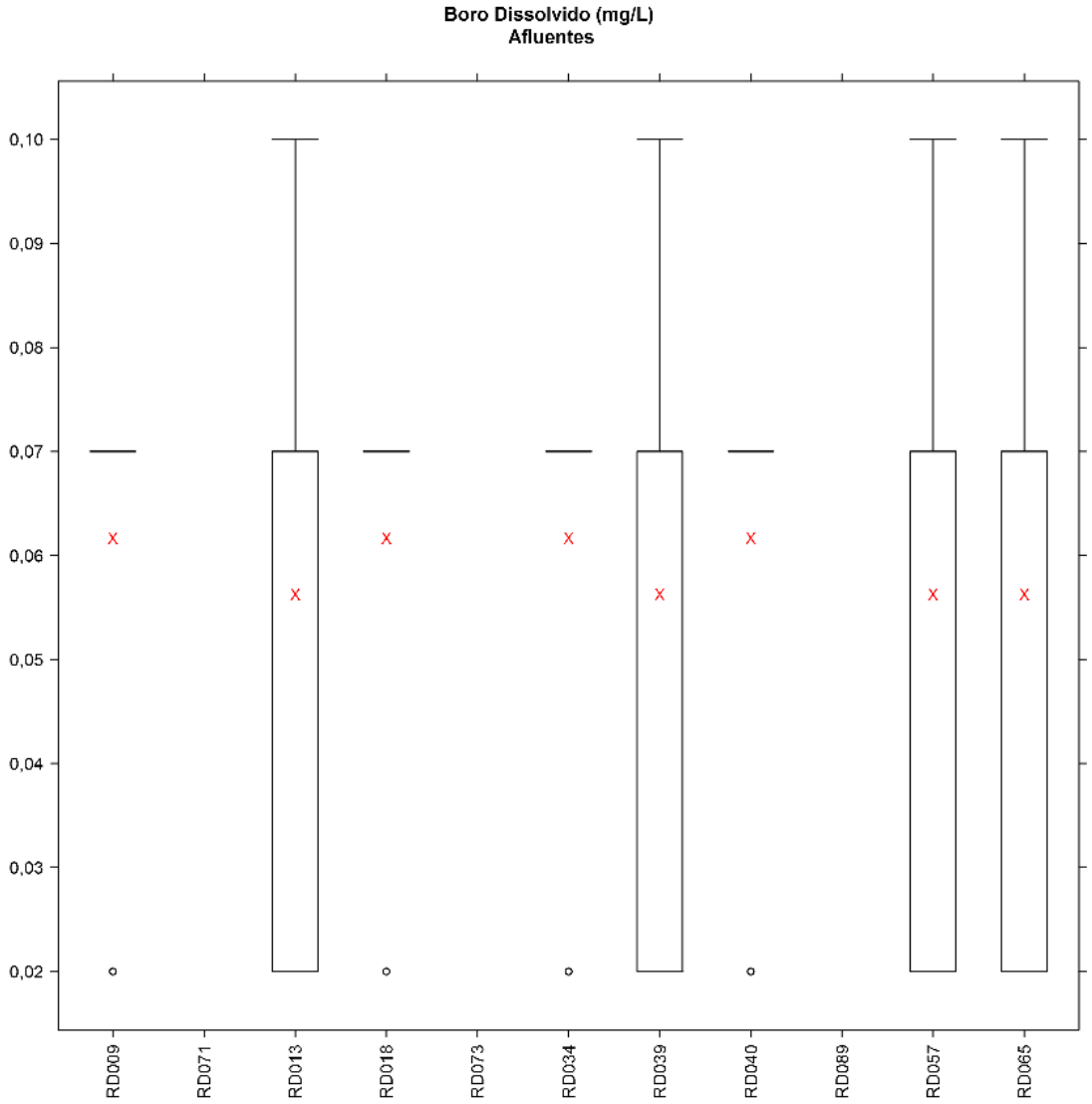


	Boro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD071	-	-	-	-	-
RD013	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD018	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD073	-	-	-	-	-
RD034	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD039	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD040	12	0,020	0,062	0,070	0,070
RD089	-	-	-	-	-
RD057	16	0,020	0,056	0,070	0,100
RD065	16	0,020	0,056	0,070	0,100

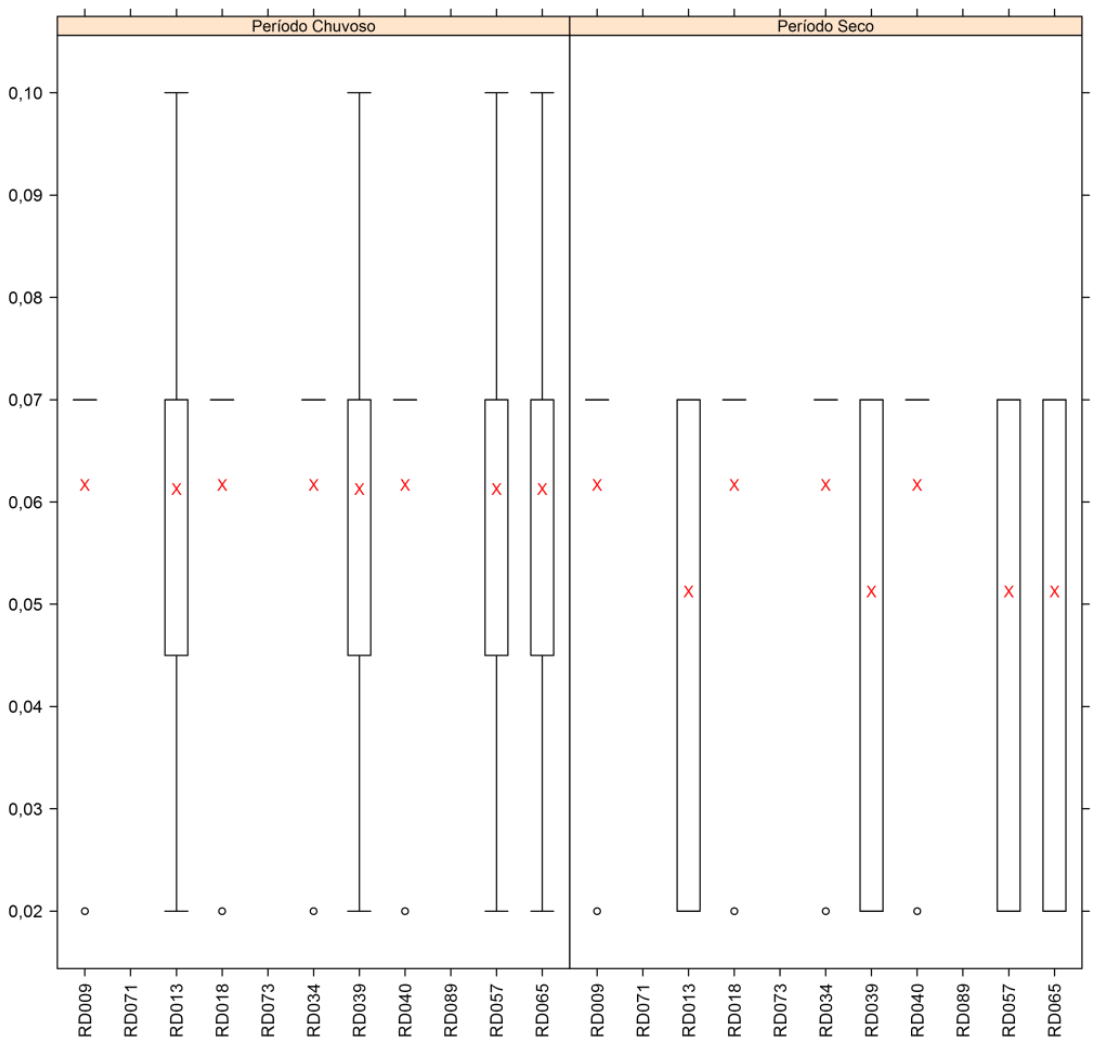
	Boro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD071	-	-	-	-	-
RD013	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD018	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD073	-	-	-	-	-
RD034	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD039	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD040	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD089	-	-	-	-	-
RD057	8	0,020	0,051	0,070	0,070
RD065	8	0,020	0,051	0,070	0,070

	Boro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	6	0,02	0,06	0,07	0,07
RD071	-	-	-	-	-
RD013	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD018	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD073	-	-	-	-	-
RD034	6	0,02	0,06	0,07	0,07
RD039	8	0,020	0,061	0,070	0,100
RD040	6	0,020	0,062	0,070	0,070
RD089	-	-	-	-	-
RD057	8	0,020	0,061	0,070	0,100

	Boro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	8	0,020	0,061	0,070	0,100



Boro Dissolvido (mg/L)
Afluentes



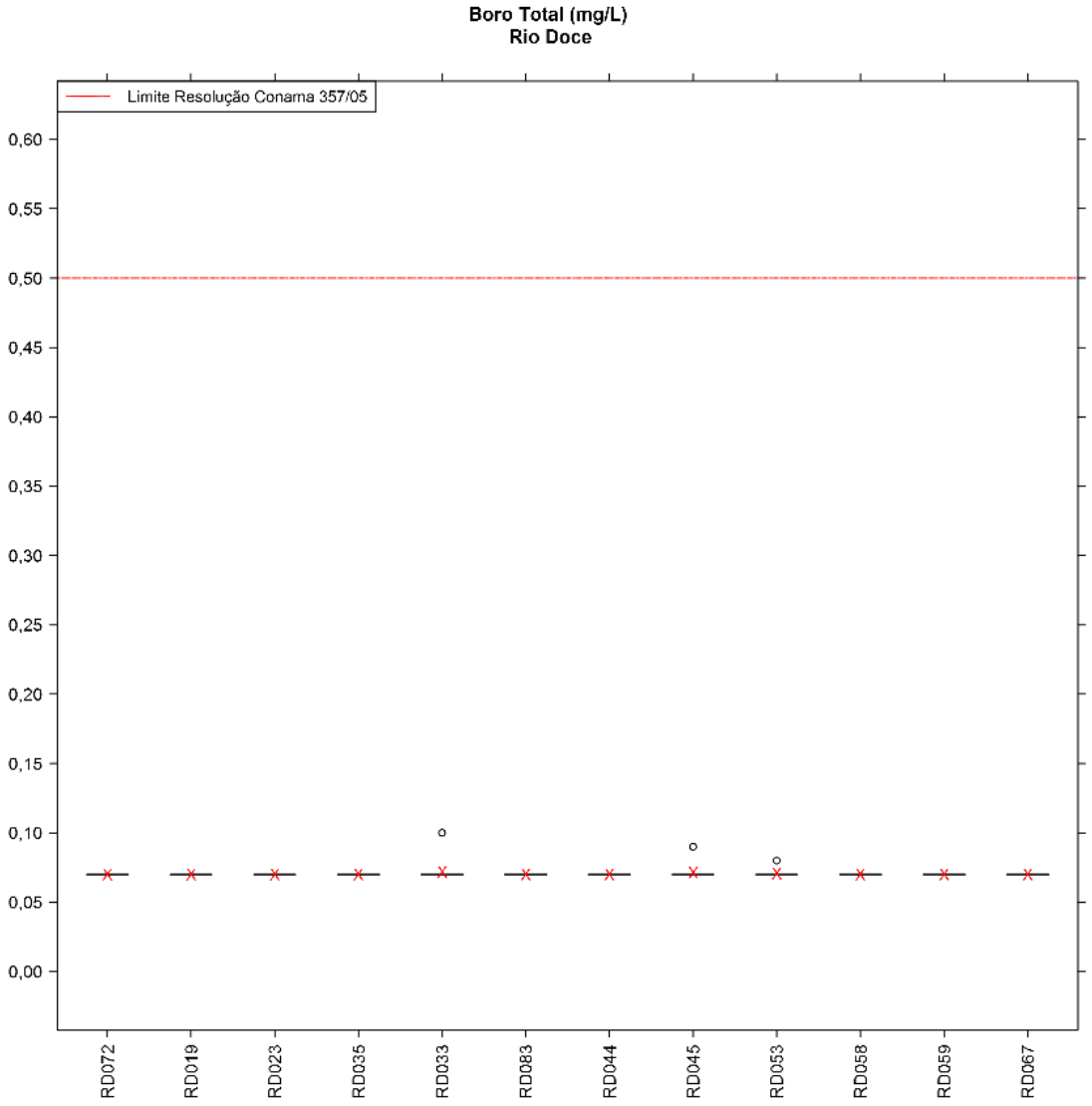
Boro Total

	Boro Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	10	0,070	0,070	0,070	0,070
RD019	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD023	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD035	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD033	16	0,070	0,072	0,070	0,100
RD083	11	0,070	0,070	0,070	0,070
RD044	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD045	16	0,070	0,071	0,070	0,090
RD053	16	0,070	0,071	0,070	0,080
RD058	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD059	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD067	16	0,070	0,070	0,070	0,070

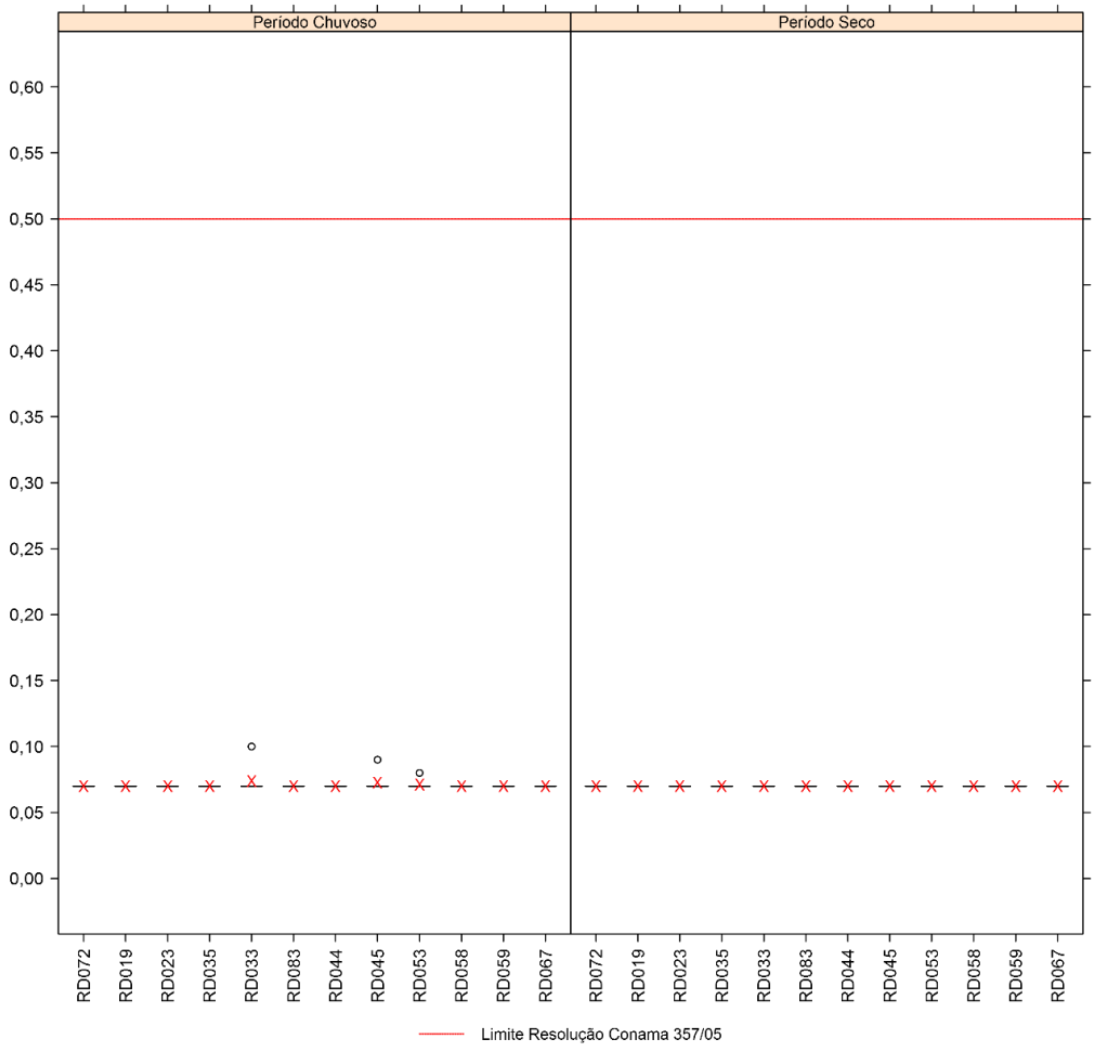
	Boro Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	5	0,070	0,070	0,070	0,070
RD019	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD023	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD035	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD033	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD083	6	0,070	0,070	0,070	0,070
RD044	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD045	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD053	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD058	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD059	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD067	8	0,070	0,070	0,070	0,070

	Boro Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	5	0,070	0,070	0,070	0,070
RD019	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD023	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD035	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD033	8	0,070	0,074	0,070	0,100
RD083	5	0,070	0,070	0,070	0,070
RD044	8	0,070	0,070	0,070	0,070

	Boro Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	8	0,070	0,073	0,070	0,090
RD053	8	0,070	0,071	0,070	0,080
RD058	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD059	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD067	8	0,070	0,070	0,070	0,070



Boro Total (mg/L)
Rio Doce

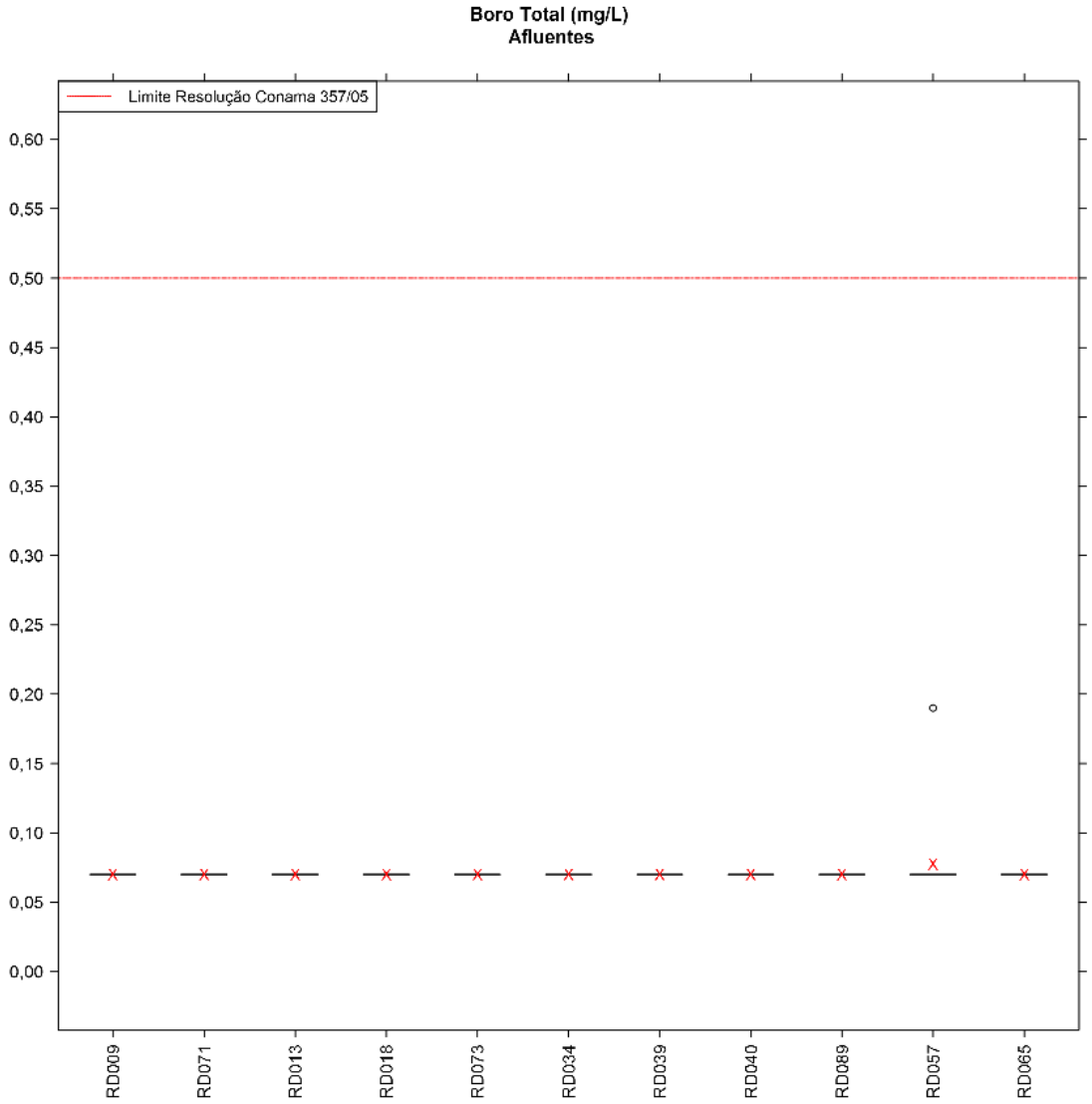


	Boro Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD071	10	0,070	0,070	0,070	0,070
RD013	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD018	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD073	10	0,070	0,070	0,070	0,070
RD034	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD039	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD040	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD089	11	0,070	0,070	0,070	0,070
RD057	16	0,070	0,078	0,070	0,190
RD065	16	0,070	0,070	0,070	0,070

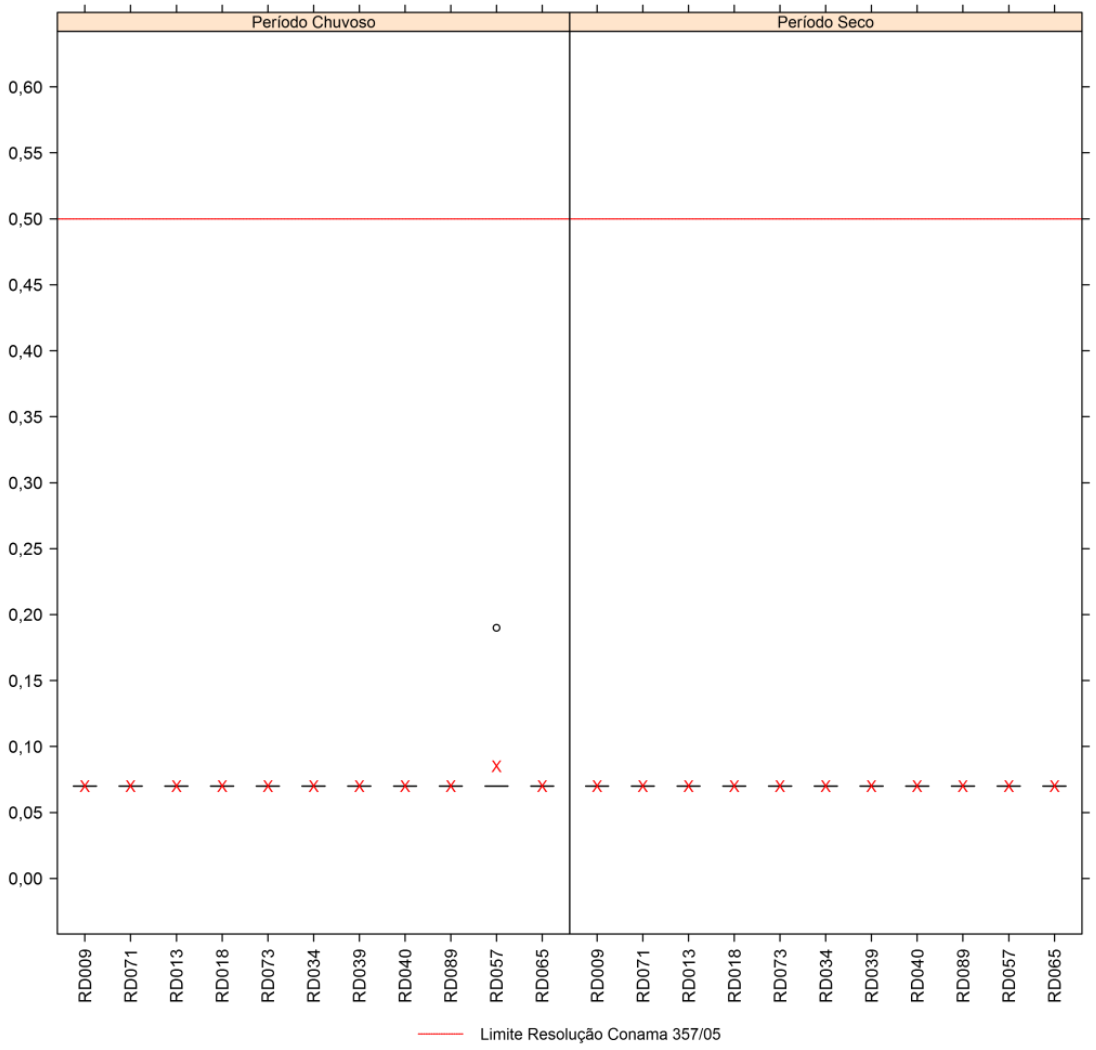
	Boro Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD071	10	0,070	0,070	0,070	0,070
RD013	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD018	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD073	10	0,070	0,070	0,070	0,070
RD034	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD039	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD040	16	0,070	0,070	0,070	0,070
RD089	11	0,070	0,070	0,070	0,070
RD057	16	0,070	0,078	0,070	0,190
RD065	16	0,070	0,070	0,070	0,070

	Boro Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD071	5	0,070	0,070	0,070	0,070
RD013	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD018	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD073	5	0,070	0,070	0,070	0,070
RD034	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD039	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD040	8	0,070	0,070	0,070	0,070
RD089	5	0,070	0,070	0,070	0,070
RD057	8	0,070	0,085	0,070	0,190

	Boro Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	8	0,070	0,070	0,070	0,070



Boro Total (mg/L)
Afluentes



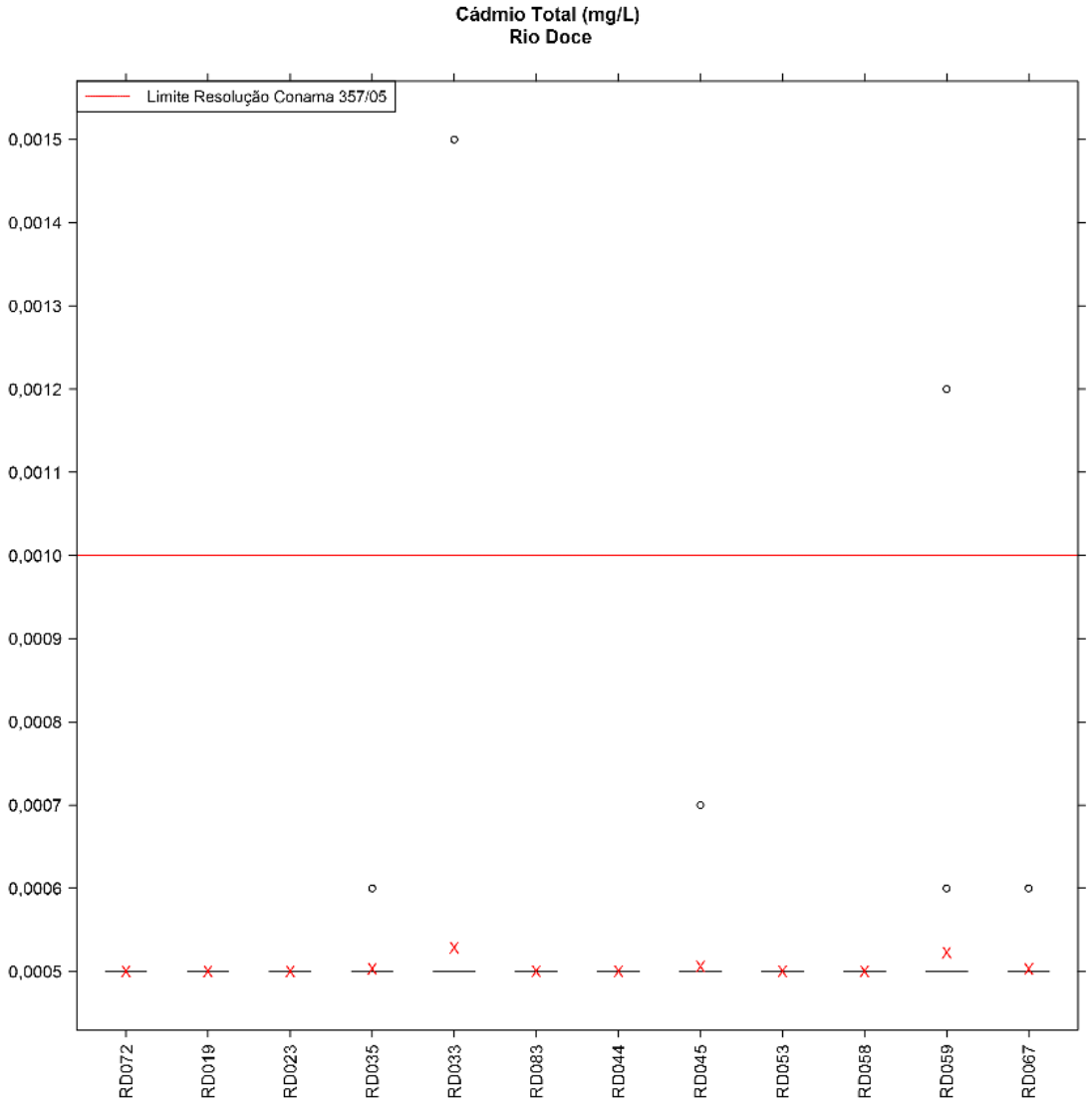
Cádmio Total

	Cádmio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD019	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD023	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD035	32	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006
RD033	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0015
RD083	15	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD044	32	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD045	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0007
RD053	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD058	32	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD059	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0012
RD067	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006

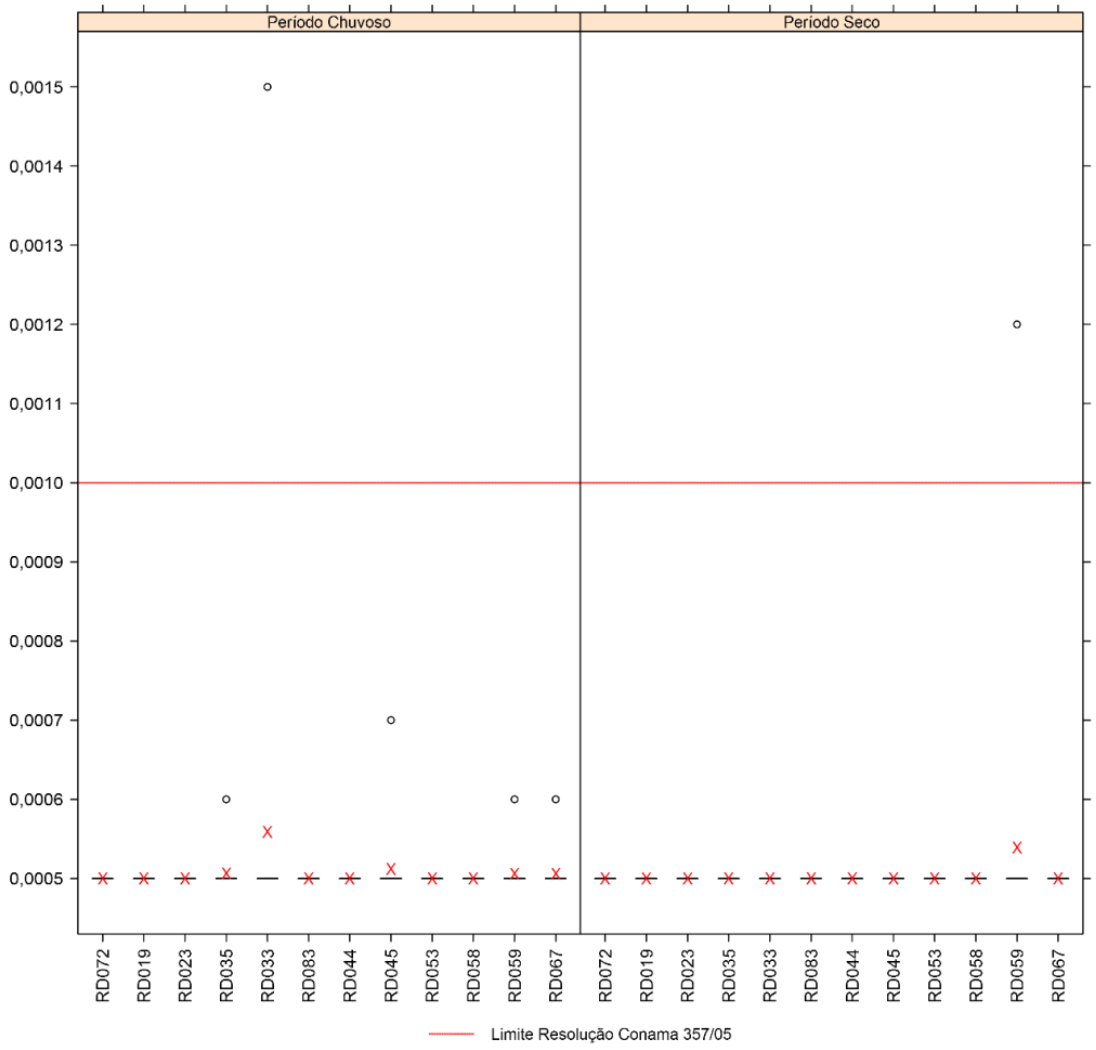
	Cádmio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD019	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD023	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD035	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD033	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD083	8	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD044	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD045	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD053	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD058	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD059	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0012
RD067	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005

	Cádmio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD019	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD023	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD035	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006
RD033	17	0,0005	0,0006	0,0005	0,0015
RD083	7	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD044	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005

	Cádmio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0007
RD053	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD058	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD059	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006
RD067	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006



Cádmio Total (mg/L)
Rio Doce

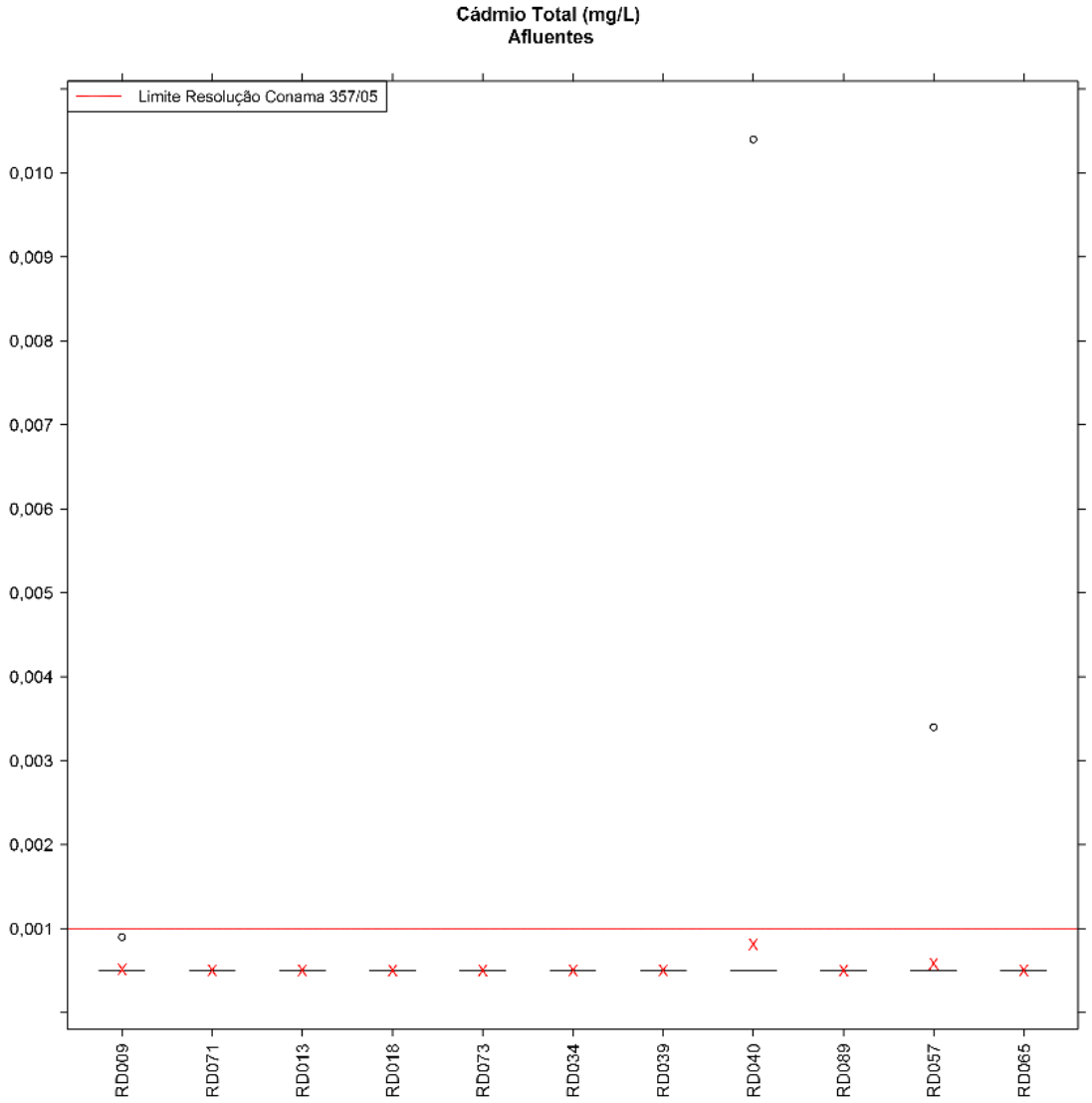


	Cádmio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,0005	0,0005	0,0005	0,0009
RD071	29	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD013	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD018	32	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD073	29	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD034	32	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD039	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD040	32	0,0005	0,0008	0,0005	0,0104
RD089	15	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD057	35	0,0005	0,0006	0,0005	0,0034
RD065	35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005

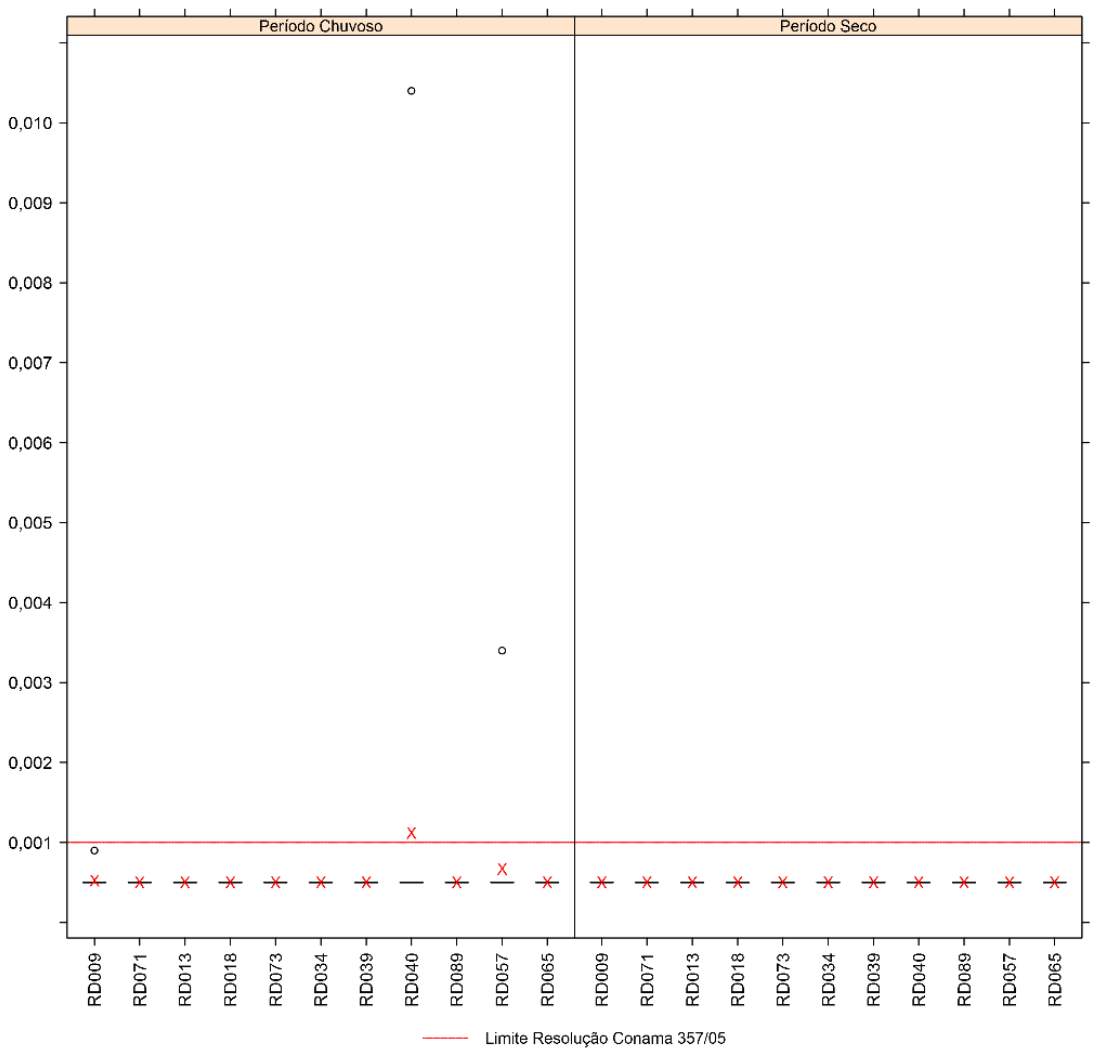
	Cádmio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD071	14	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD013	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD018	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD073	14	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD034	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD039	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD040	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD089	8	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD057	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD065	18	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005

	Cádmio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0009
RD071	15	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD013	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD018	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD073	15	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD034	16	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD039	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD040	16	0,0005	0,0011	0,0005	0,0104
RD089	7	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
RD057	17	0,0005	0,0007	0,0005	0,0034

	Cádmio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	17	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005



Cádmio Total (mg/L)
Afluentes



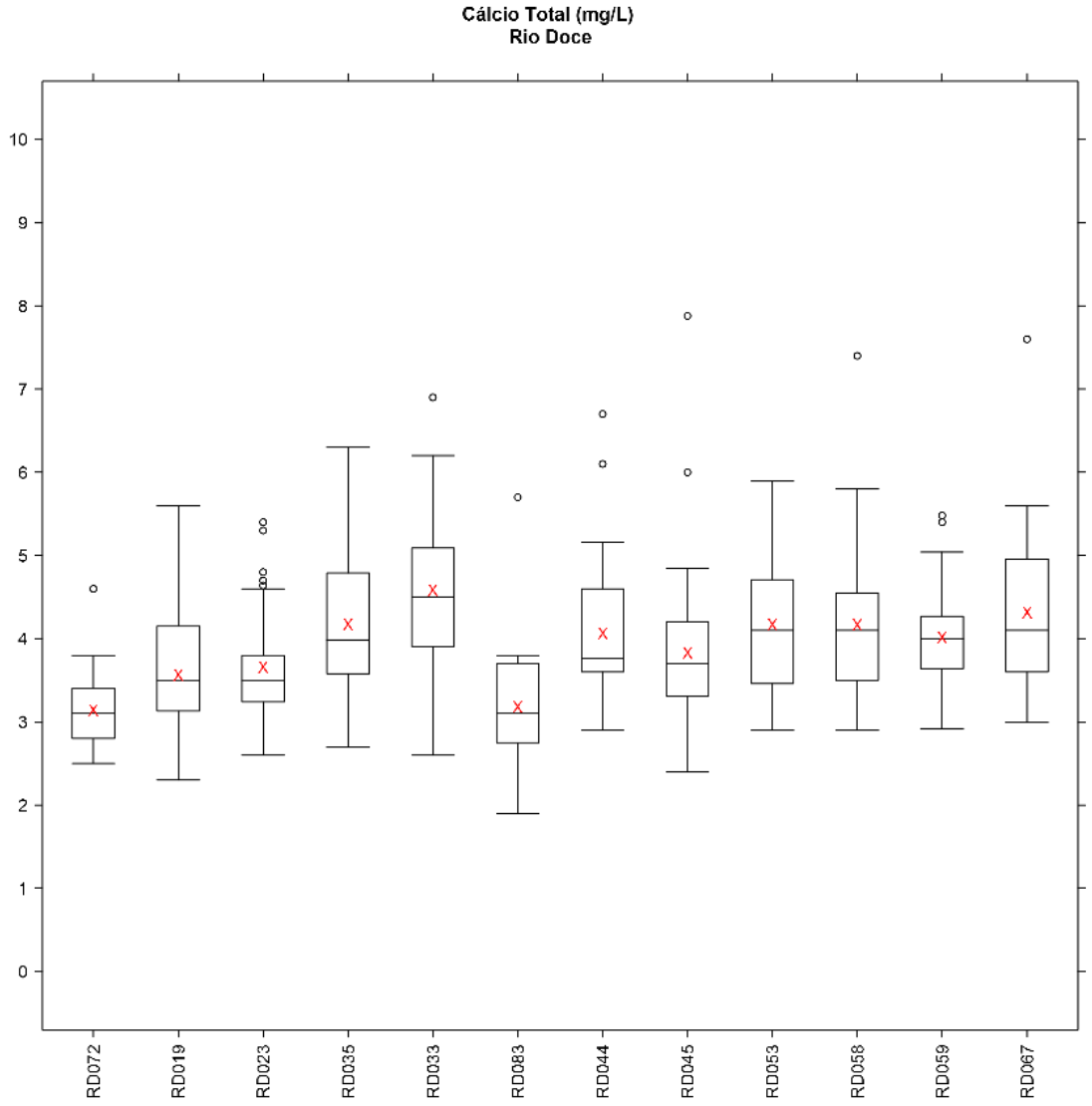
Cálcio Total

	Cálcio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	2,50	3,14	3,10	4,60
RD019	35	2,30	3,57	3,50	5,60
RD023	35	2,60	3,66	3,50	5,40
RD035	32	2,70	4,17	3,98	6,30
RD033	35	2,60	4,58	4,50	6,90
RD083	15	1,90	3,18	3,10	5,70
RD044	32	2,90	4,06	3,76	6,70
RD045	35	2,40	3,83	3,70	7,88
RD053	35	2,90	4,17	4,10	5,90
RD058	32	2,90	4,16	4,10	7,40
RD059	35	2,92	4,01	4,00	5,48
RD067	35	3,00	4,32	4,10	7,60

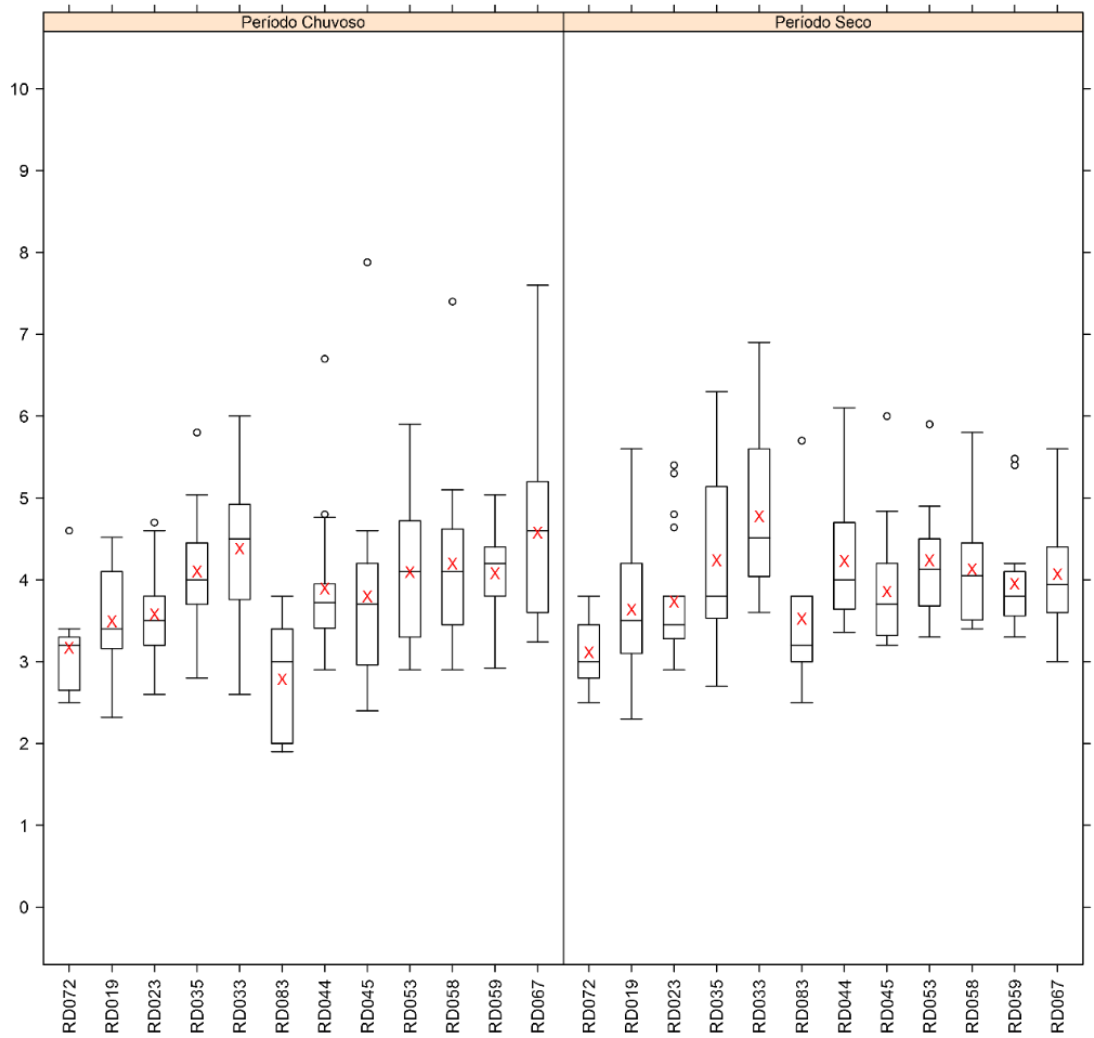
	Cálcio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	2,50	3,11	3,00	3,80
RD019	18	2,30	3,64	3,50	5,60
RD023	18	2,90	3,73	3,45	5,40
RD035	16	2,70	4,24	3,80	6,30
RD033	18	3,60	4,78	4,51	6,90
RD083	8	2,50	3,53	3,20	5,70
RD044	16	3,36	4,23	4,00	6,10
RD045	18	3,20	3,86	3,70	6,00
RD053	18	3,30	4,24	4,13	5,90
RD058	16	3,40	4,13	4,05	5,80
RD059	18	3,30	3,95	3,80	5,48
RD067	18	3,00	4,07	3,94	5,60

	Cálcio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	2,50	3,17	3,20	4,60
RD019	17	2,32	3,49	3,40	4,52
RD023	17	2,60	3,58	3,50	4,70
RD035	16	2,80	4,10	4,00	5,80
RD033	17	2,60	4,38	4,50	6,00
RD083	7	1,90	2,79	3,00	3,80
RD044	16	2,90	3,90	3,72	6,70

	Cálcio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	2,40	3,80	3,70	7,88
RD053	17	2,90	4,10	4,10	5,90
RD058	16	2,90	4,20	4,10	7,40
RD059	17	2,92	4,08	4,20	5,04
RD067	17	3,24	4,58	4,60	7,60



Cálcio Total (mg/L)
Rio Doce

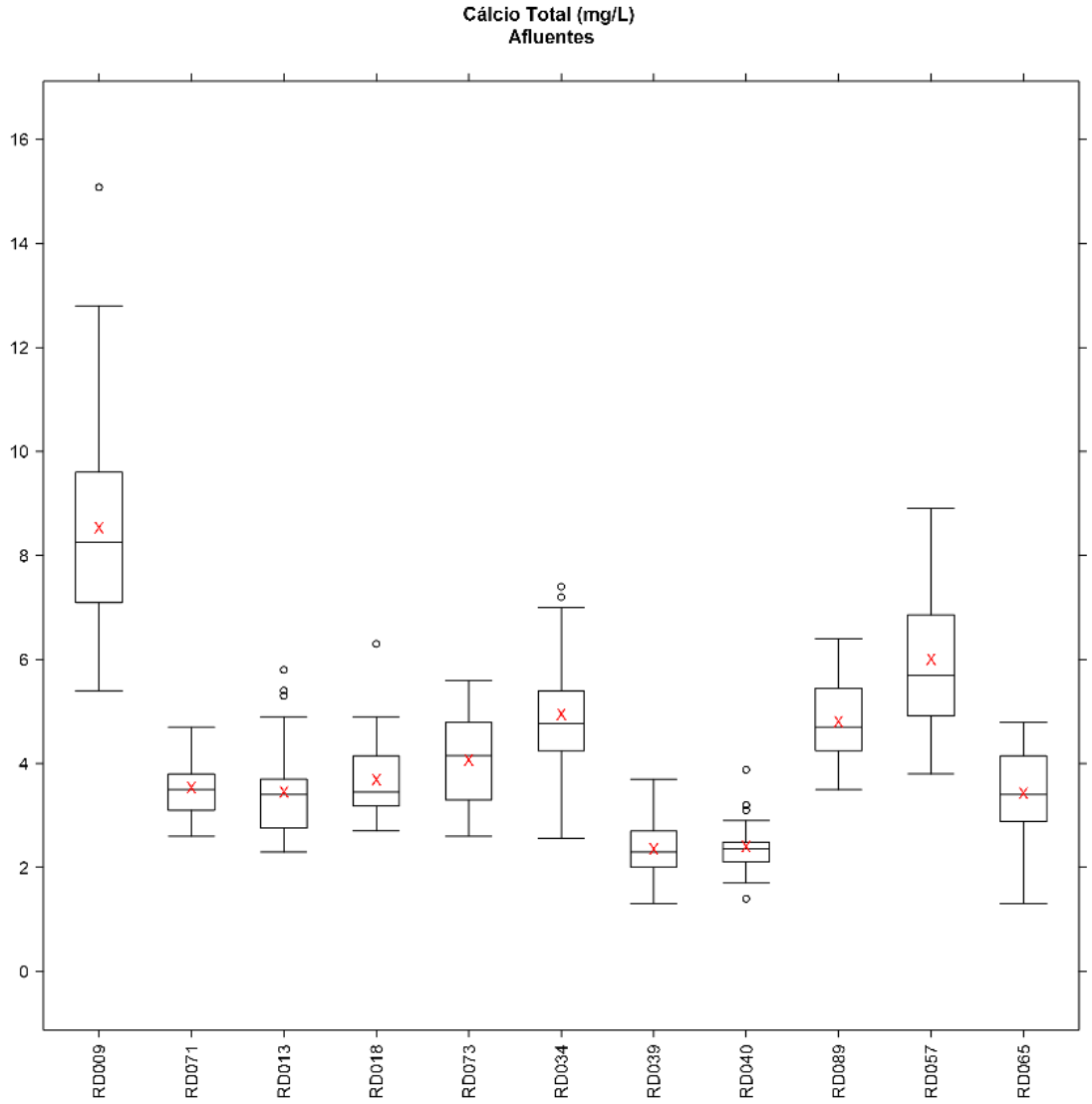


	Cálcio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	5,40	8,53	8,25	15,08
RD071	14	2,60	3,54	3,50	4,70
RD013	35	2,30	3,45	3,40	5,80
RD018	32	2,70	3,69	3,45	6,30
RD073	14	2,60	4,06	4,15	5,60
RD034	32	2,56	4,95	4,76	7,40
RD039	35	1,30	2,35	2,30	3,70
RD040	32	1,40	2,40	2,36	3,88
RD089	15	3,50	4,81	4,70	6,40
RD057	35	3,80	6,01	5,70	8,90
RD065	36	1,30	3,43	3,40	4,80

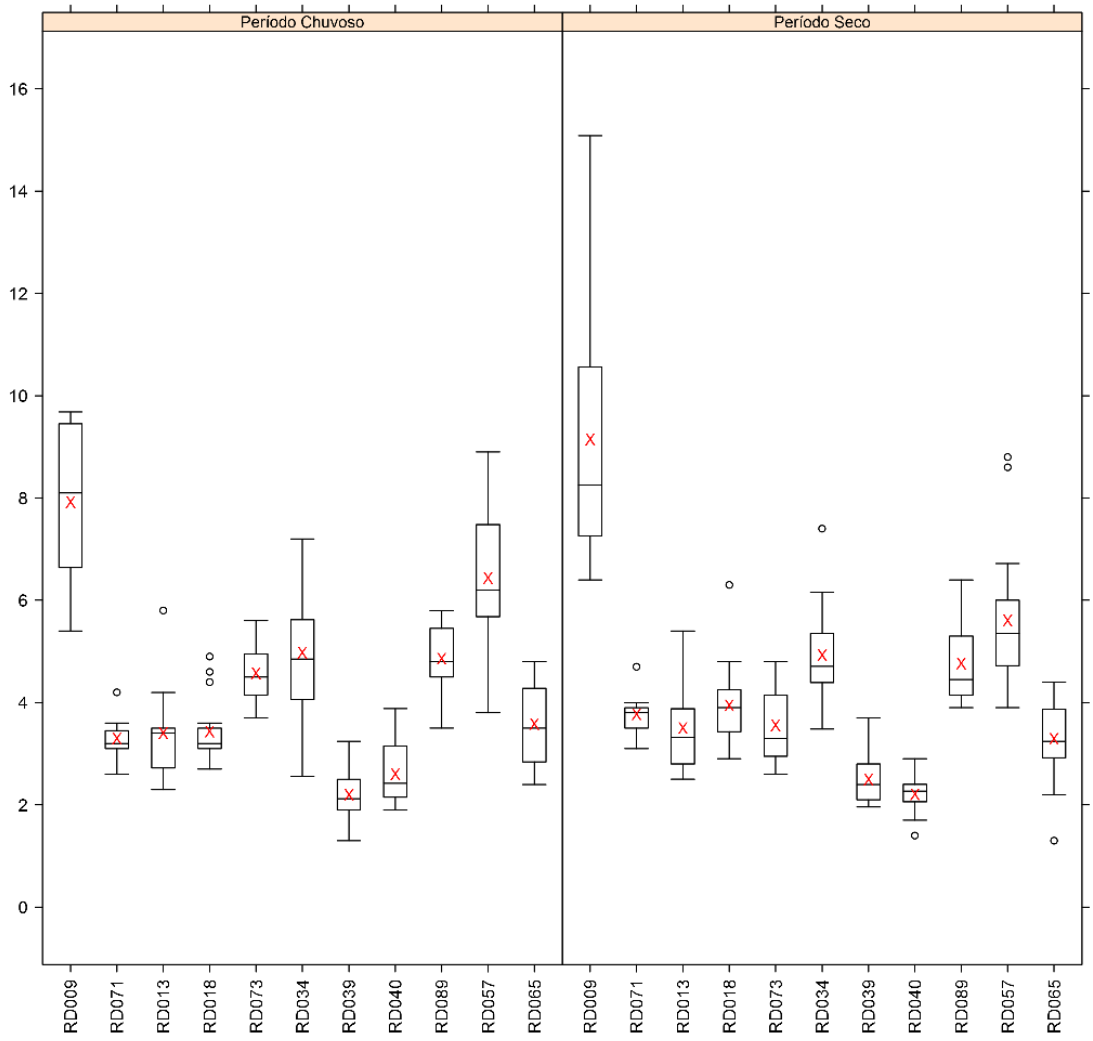
	Cálcio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	6,40	9,14	8,25	15,08
RD071	7	3,10	3,77	3,80	4,70
RD013	18	2,50	3,50	3,32	5,40
RD018	16	2,90	3,94	3,90	6,30
RD073	7	2,60	3,56	3,30	4,80
RD034	16	3,48	4,93	4,71	7,40
RD039	18	1,96	2,49	2,40	3,70
RD040	16	1,40	2,21	2,27	2,90
RD089	8	3,90	4,76	4,45	6,40
RD057	18	3,90	5,60	5,35	8,80
RD065	19	1,30	3,29	3,24	4,40

	Cálcio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	5,40	7,92	8,10	9,68
RD071	7	2,60	3,30	3,20	4,20
RD013	17	2,30	3,40	3,40	5,80
RD018	16	2,70	3,43	3,20	4,90
RD073	7	3,70	4,57	4,50	5,60
RD034	16	2,56	4,97	4,85	7,20
RD039	17	1,30	2,19	2,12	3,24
RD040	16	1,90	2,60	2,42	3,88
RD089	7	3,50	4,86	4,80	5,80
RD057	17	3,80	6,43	6,20	8,90

	Cálcio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	17	2,40	3,58	3,50	4,80



Cálcio Total (mg/L)
Afluentes



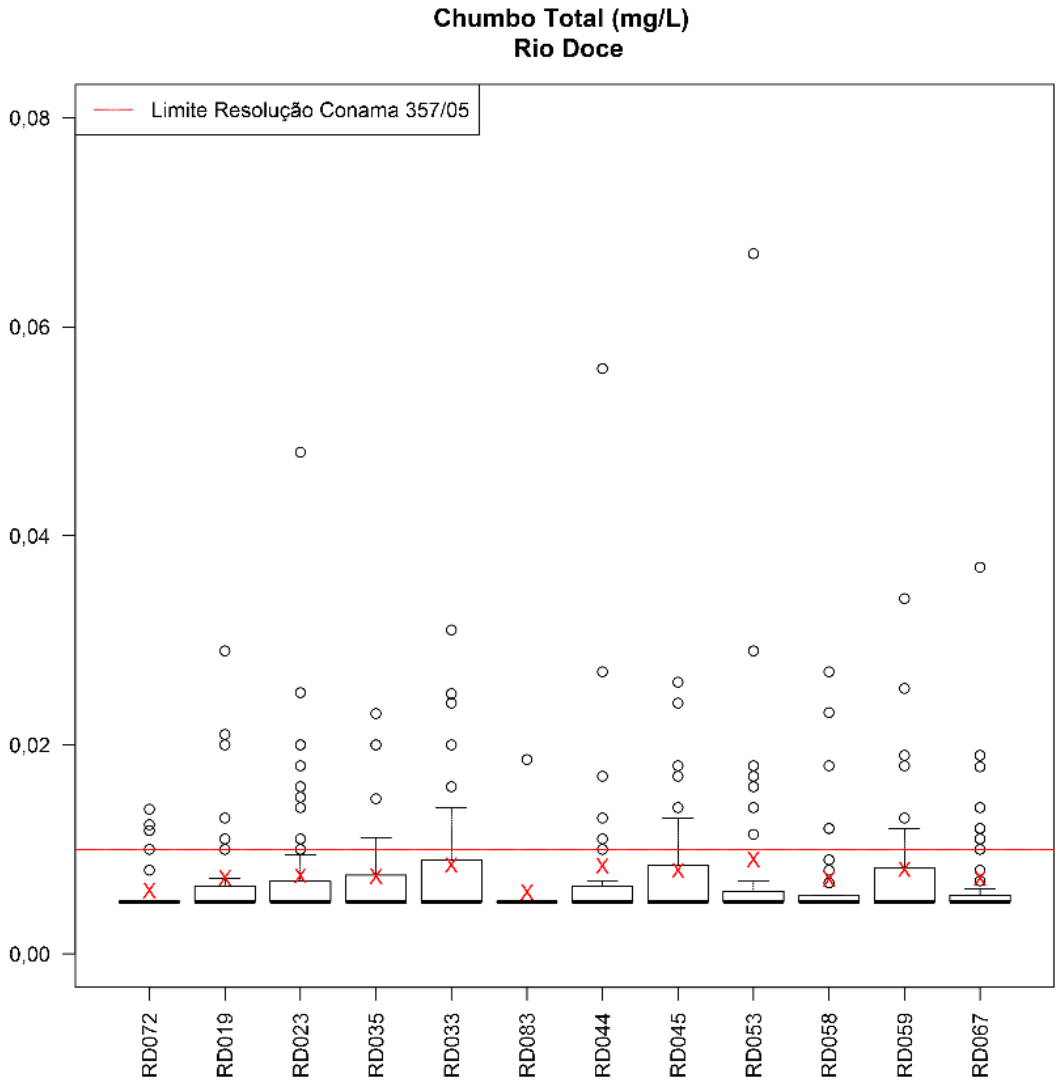
Chumbo Total

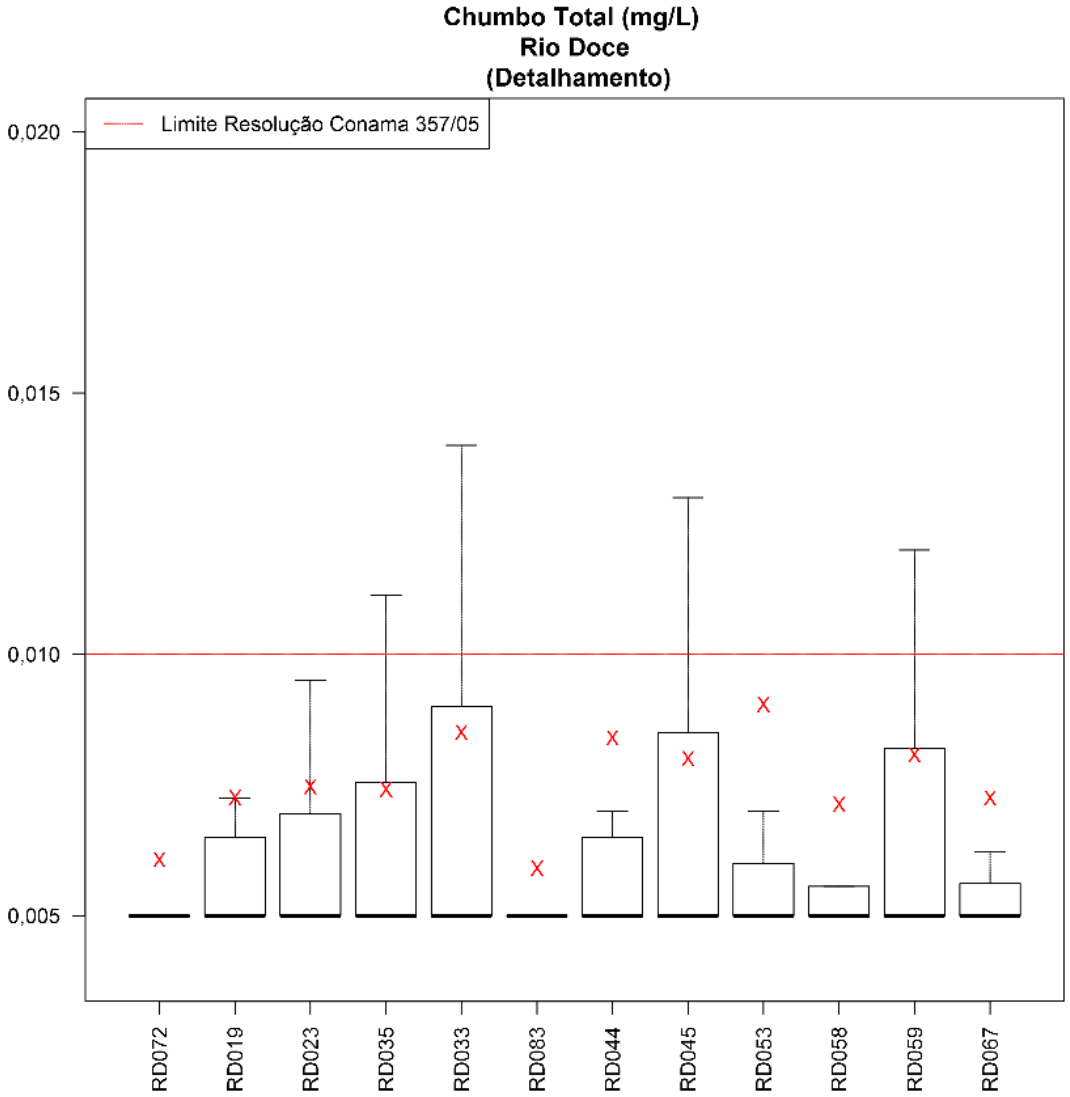
	Chumbo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,005	0,006	0,005	0,014
RD019	36	0,005	0,007	0,005	0,029
RD023	69	0,005	0,007	0,005	0,048
RD035	43	0,005	0,007	0,005	0,023
RD033	35	0,005	0,009	0,005	0,031
RD083	15	0,005	0,006	0,005	0,019
RD044	32	0,005	0,008	0,005	0,056
RD045	35	0,005	0,008	0,005	0,026
RD053	35	0,005	0,009	0,005	0,067
RD058	41	0,005	0,007	0,005	0,027
RD059	35	0,005	0,008	0,005	0,034
RD067	44	0,005	0,007	0,005	0,037

	Chumbo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,005	0,007	0,005	0,014
RD019	19	0,005	0,006	0,005	0,020
RD023	35	0,005	0,007	0,005	0,025
RD035	21	0,005	0,007	0,005	0,020
RD033	18	0,005	0,006	0,005	0,011
RD083	8	0,005	0,005	0,005	0,005
RD044	16	0,005	0,006	0,005	0,017
RD045	18	0,005	0,006	0,005	0,009
RD053	18	0,005	0,006	0,005	0,029
RD058	20	0,005	0,006	0,005	0,018
RD059	18	0,005	0,005	0,005	0,013
RD067	22	0,005	0,006	0,005	0,019

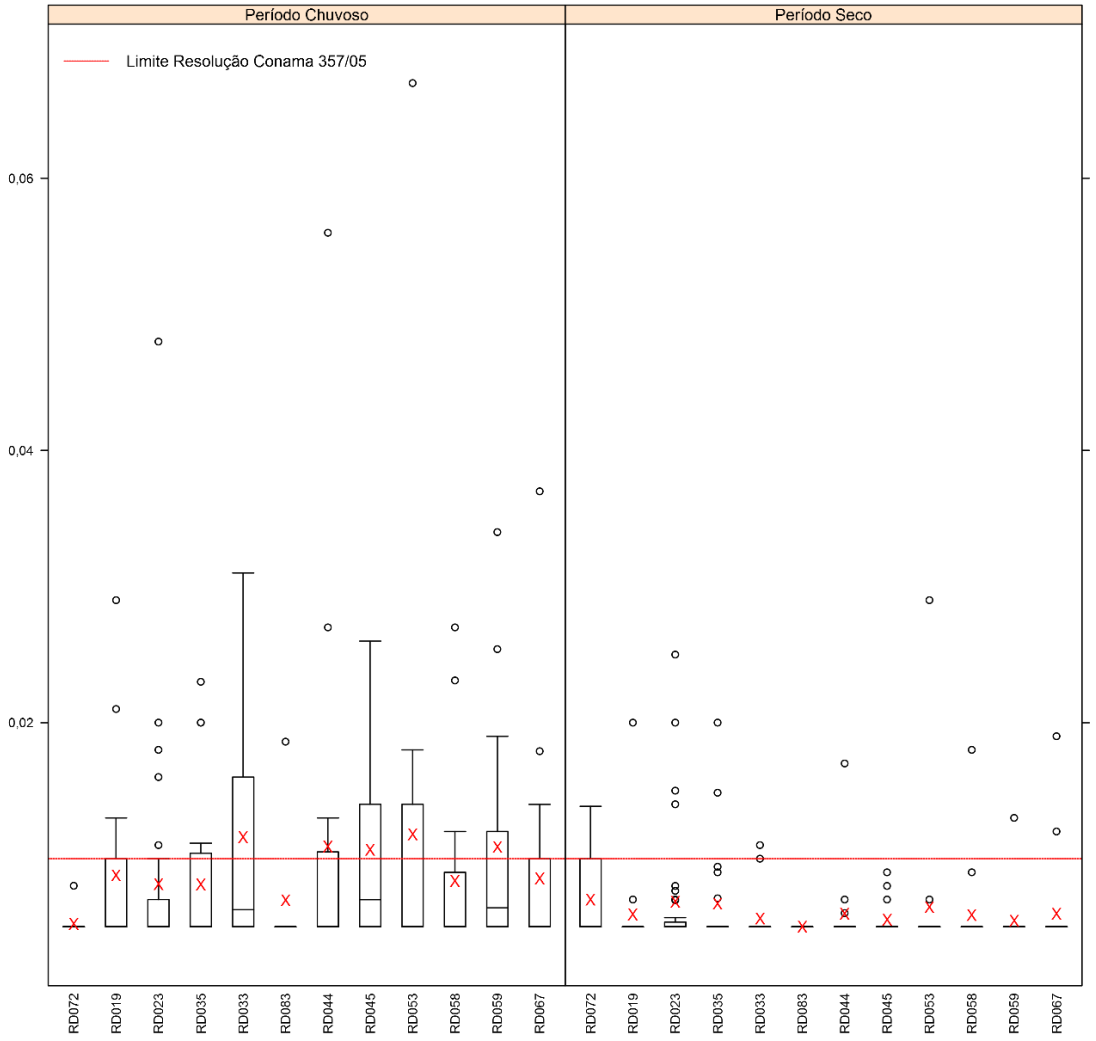
	Chumbo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,005	0,005	0,005	0,008
RD019	17	0,005	0,009	0,005	0,029
RD023	34	0,005	0,008	0,005	0,048
RD035	22	0,005	0,008	0,005	0,023
RD033	17	0,005	0,012	0,006	0,031
RD083	7	0,005	0,007	0,005	0,019
RD044	16	0,005	0,011	0,005	0,056

	Chumbo Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	0,005	0,011	0,007	0,026
RD053	17	0,005	0,012	0,005	0,067
RD058	21	0,005	0,008	0,005	0,027
RD059	17	0,005	0,011	0,006	0,034
RD067	22	0,005	0,009	0,005	0,037




Chumbo Total (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,020
0,015
0,010
0,005
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

Chumbo Total (mg/L)
Rio Doce

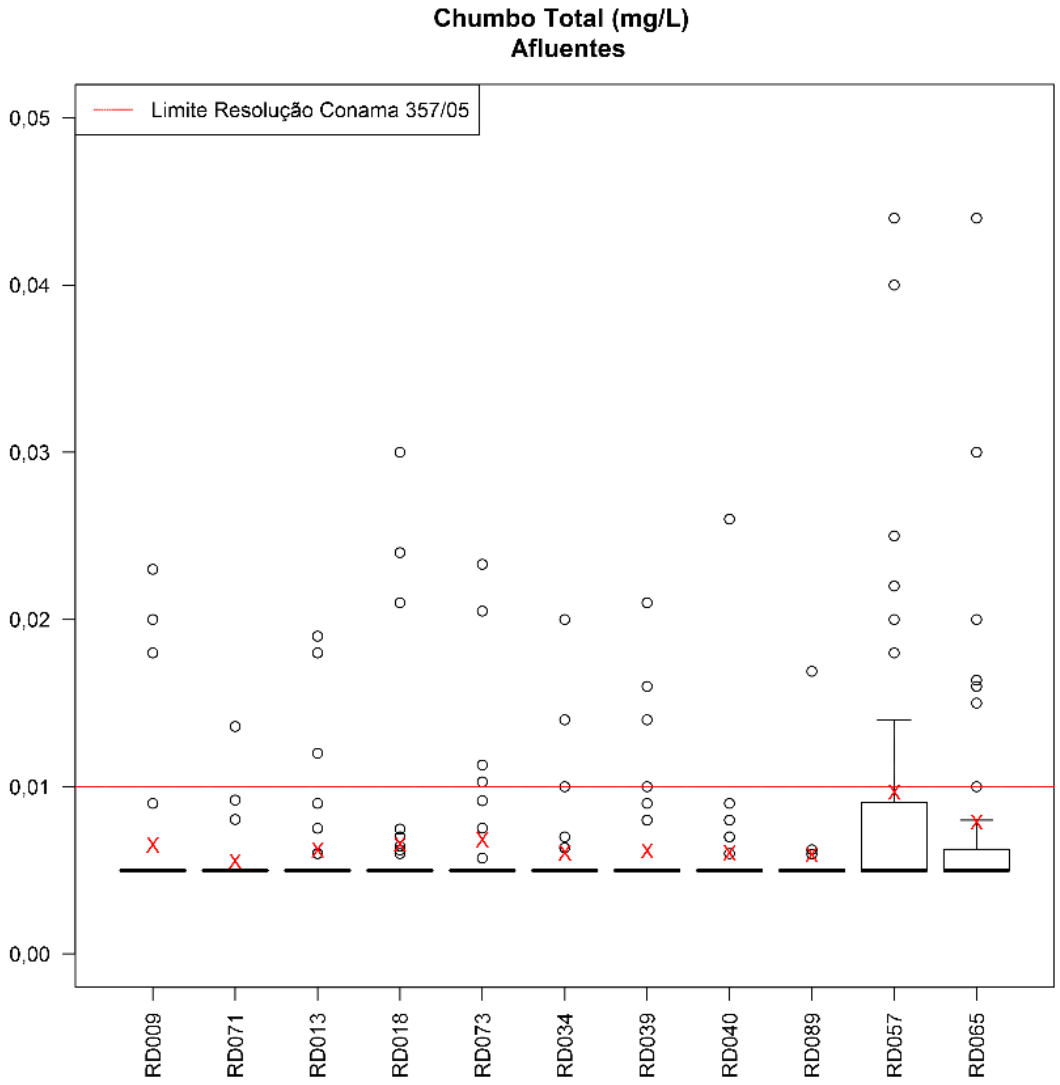


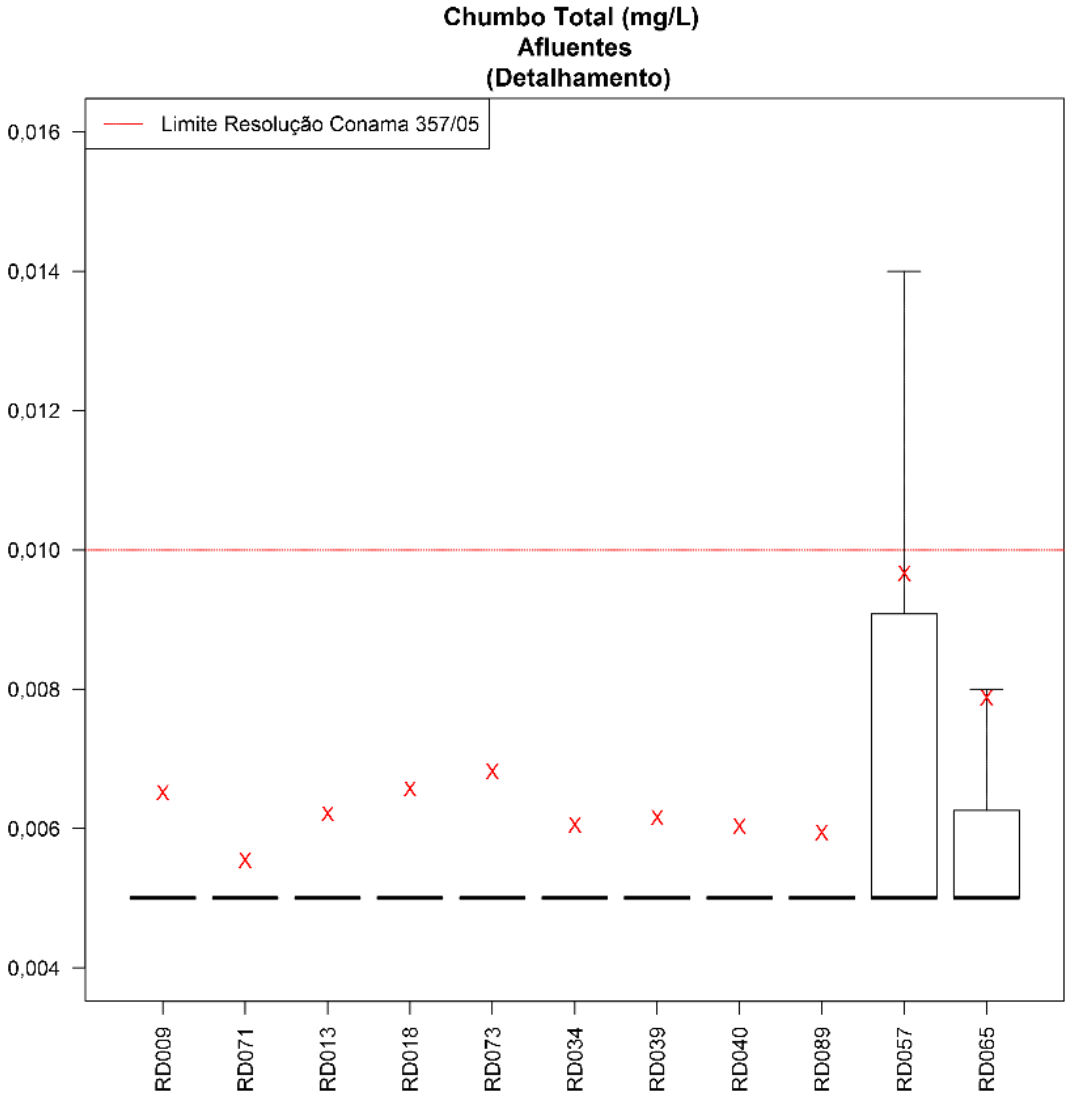
	Chumbo Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,005	0,007	0,005	0,023
RD071	29	0,005	0,006	0,005	0,014
RD013	35	0,005	0,006	0,005	0,019
RD018	46	0,005	0,007	0,005	0,030
RD073	29	0,005	0,007	0,005	0,023
RD034	32	0,005	0,006	0,005	0,020
RD039	44	0,005	0,006	0,005	0,021
RD040	32	0,005	0,006	0,005	0,026
RD089	15	0,005	0,006	0,005	0,017
RD057	35	0,005	0,010	0,005	0,044
RD065	45	0,005	0,008	0,005	0,044

	Chumbo Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,005	0,005	0,005	0,005
RD071	14	0,005	0,006	0,005	0,014
RD013	18	0,005	0,006	0,005	0,018
RD018	23	0,005	0,006	0,005	0,030
RD073	14	0,005	0,006	0,005	0,010
RD034	16	0,005	0,005	0,005	0,005
RD039	22	0,005	0,005	0,005	0,008
RD040	16	0,005	0,005	0,005	0,008
RD089	8	0,005	0,005	0,005	0,005
RD057	18	0,005	0,006	0,005	0,018
RD065	23	0,005	0,006	0,005	0,020

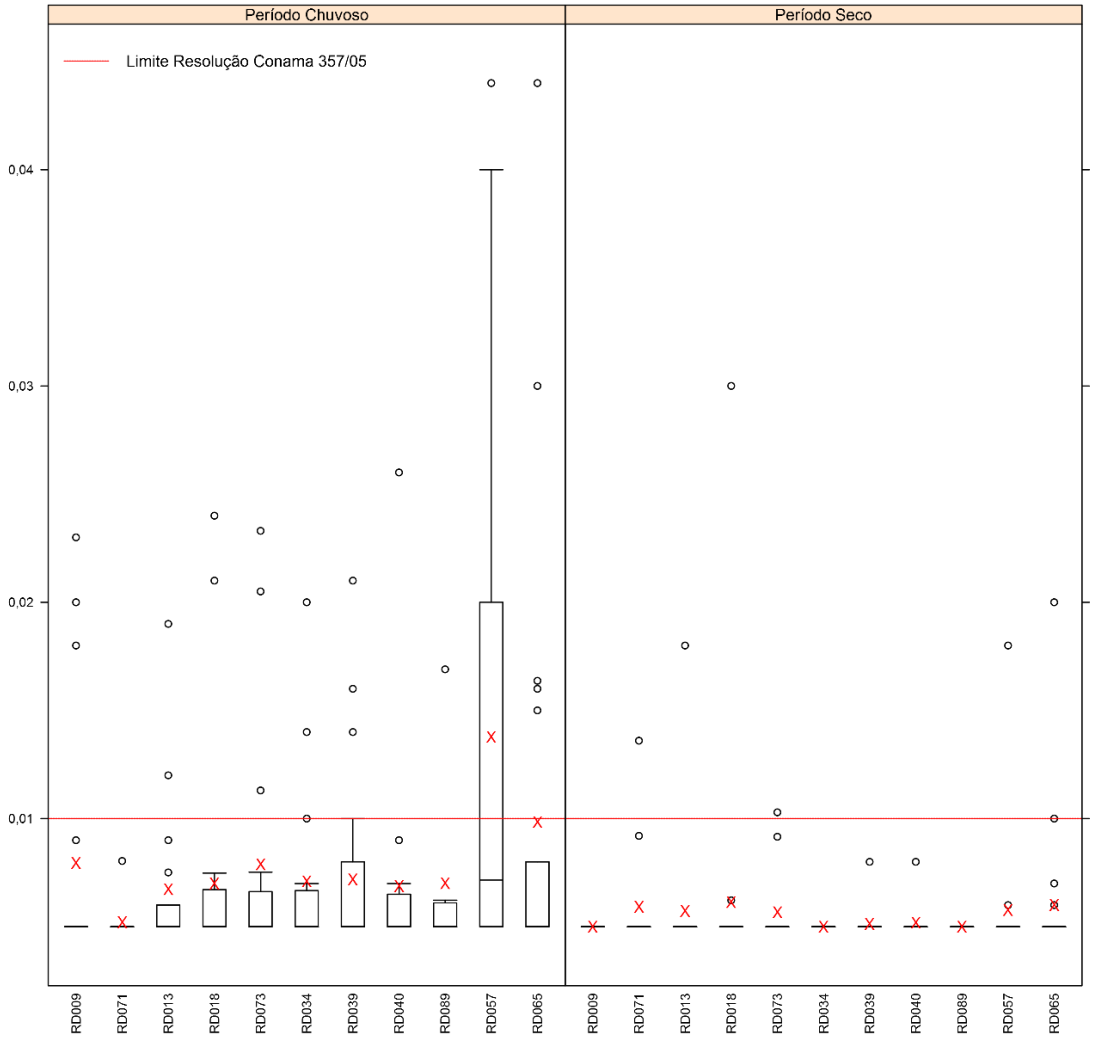
	Chumbo Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	0,005	0,008	0,005	0,023
RD071	15	0,005	0,005	0,005	0,008
RD013	17	0,005	0,007	0,005	0,019
RD018	23	0,005	0,007	0,005	0,024
RD073	15	0,005	0,008	0,005	0,023
RD034	16	0,005	0,007	0,005	0,020
RD039	22	0,005	0,007	0,005	0,021
RD040	16	0,005	0,007	0,005	0,026
RD089	7	0,005	0,007	0,005	0,017
RD057	17	0,005	0,014	0,007	0,044

	Chumbo Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	22	0,005	0,010	0,005	0,044




Chumbo Total (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,016
0,014
0,012
0,010
0,008
0,006
0,004
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Chumbo Total (mg/L)
Afluentes



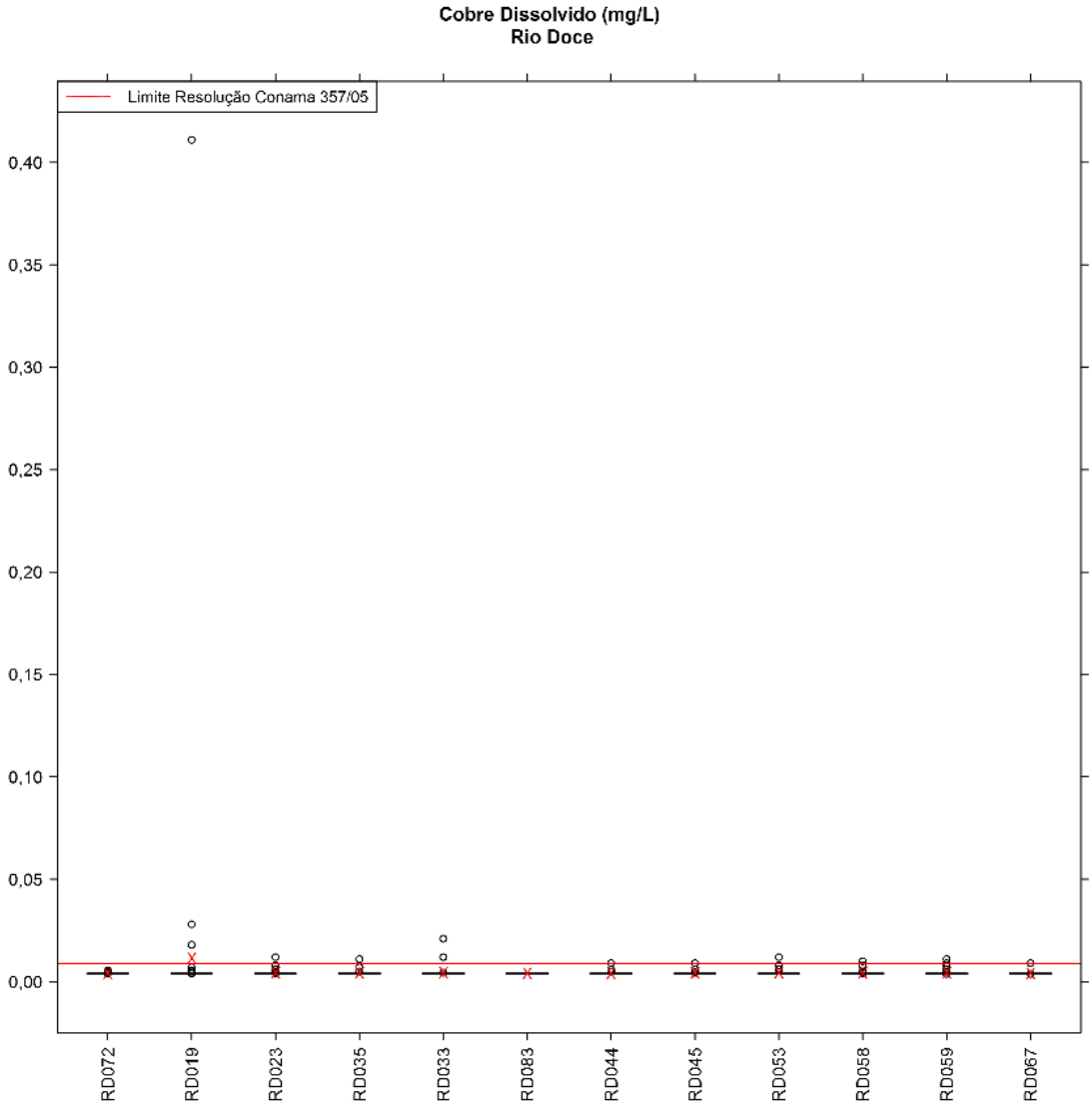
Cobre Dissolvido

	Cobre Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	48	0,004	0,004	0,004	0,005
RD019	61	0,004	0,011	0,004	0,411
RD023	61	0,004	0,004	0,004	0,012
RD035	61	0,004	0,004	0,004	0,011
RD033	61	0,004	0,004	0,004	0,021
RD083	49	0,004	0,004	0,004	0,004
RD044	61	0,004	0,004	0,004	0,009
RD045	61	0,004	0,004	0,004	0,009
RD053	61	0,004	0,004	0,004	0,012
RD058	61	0,004	0,004	0,004	0,010
RD059	61	0,004	0,004	0,004	0,011
RD067	61	0,004	0,004	0,004	0,009

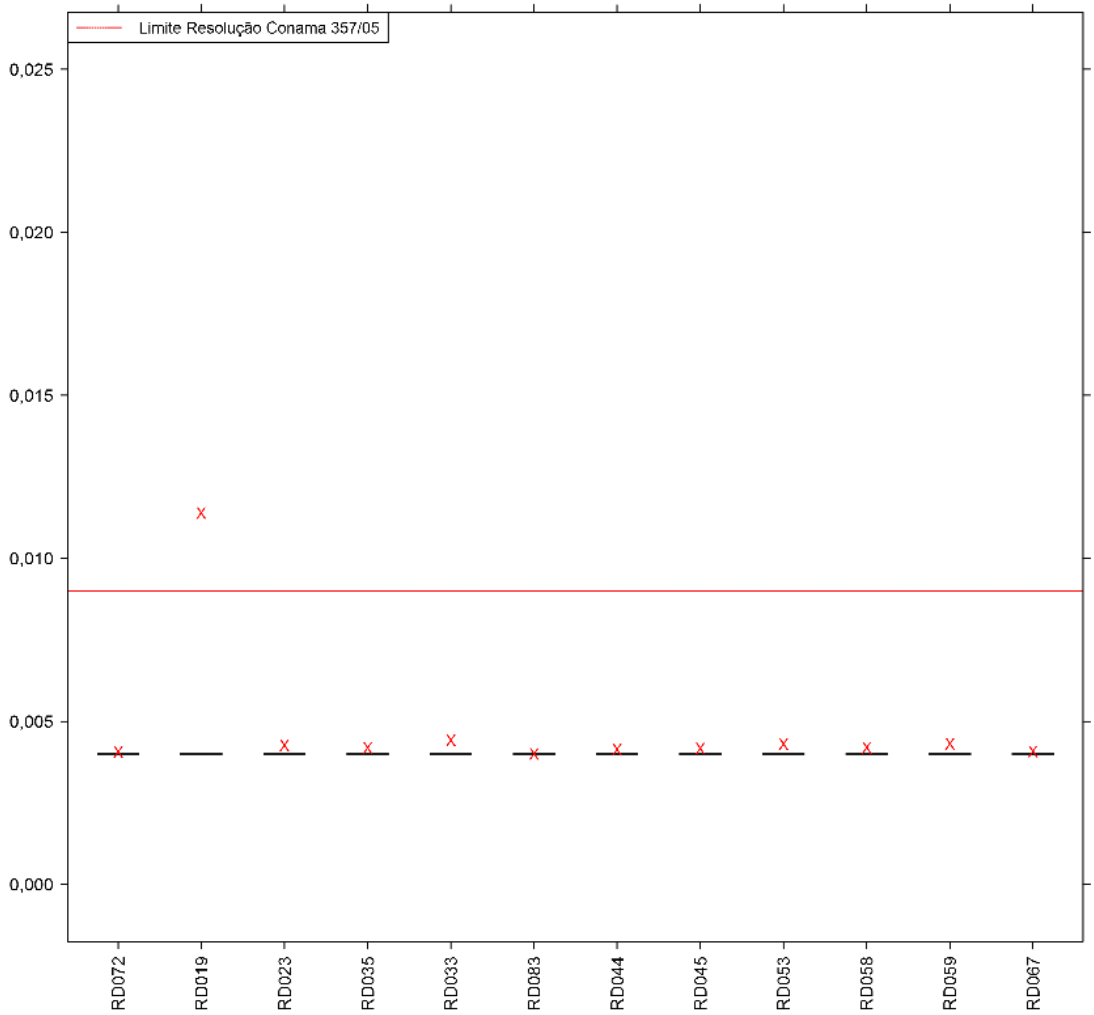
	Cobre Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	25	0,004	0,004	0,004	0,005
RD019	32	0,004	0,017	0,004	0,411
RD023	32	0,004	0,004	0,004	0,006
RD035	32	0,004	0,004	0,004	0,005
RD033	32	0,004	0,005	0,004	0,021
RD083	26	0,004	0,004	0,004	0,004
RD044	32	0,004	0,004	0,004	0,006
RD045	32	0,004	0,004	0,004	0,006
RD053	32	0,004	0,004	0,004	0,008
RD058	32	0,004	0,004	0,004	0,008
RD059	32	0,004	0,004	0,004	0,011
RD067	32	0,004	0,004	0,004	0,004

	Cobre Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	23	0,004	0,004	0,004	0,005
RD019	29	0,004	0,005	0,004	0,028
RD023	29	0,004	0,004	0,004	0,012
RD035	29	0,004	0,004	0,004	0,011
RD033	29	0,004	0,004	0,004	0,012
RD083	23	0,004	0,004	0,004	0,004
RD044	29	0,004	0,004	0,004	0,009

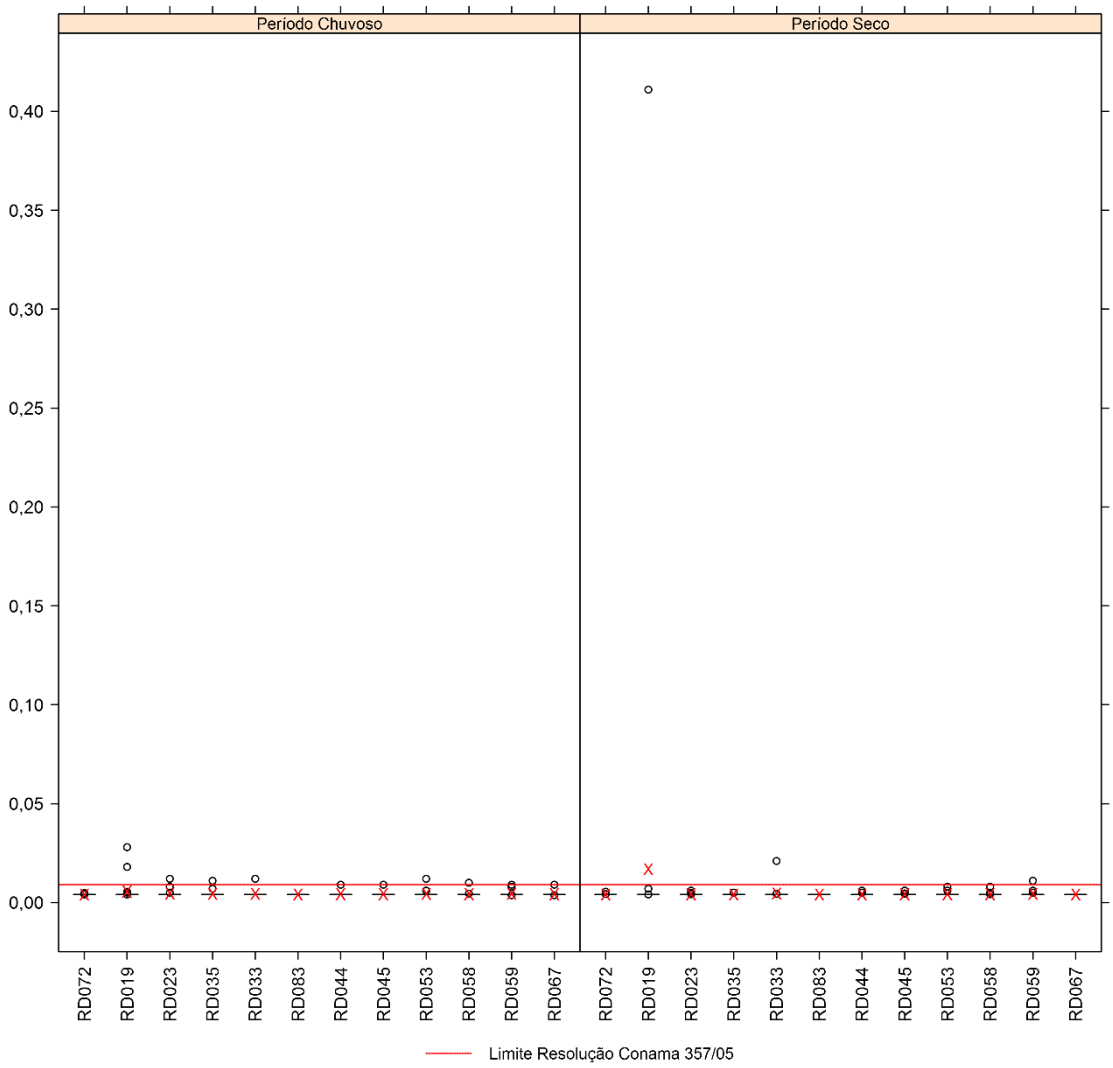
	Cobre Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	29	0,004	0,004	0,004	0,009
RD053	29	0,004	0,004	0,004	0,012
RD058	29	0,004	0,004	0,004	0,010
RD059	29	0,004	0,004	0,004	0,009
RD067	29	0,004	0,004	0,004	0,009



Cobre Dissolvido (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)



Cobre Dissolvido (mg/L)
Rio Doce

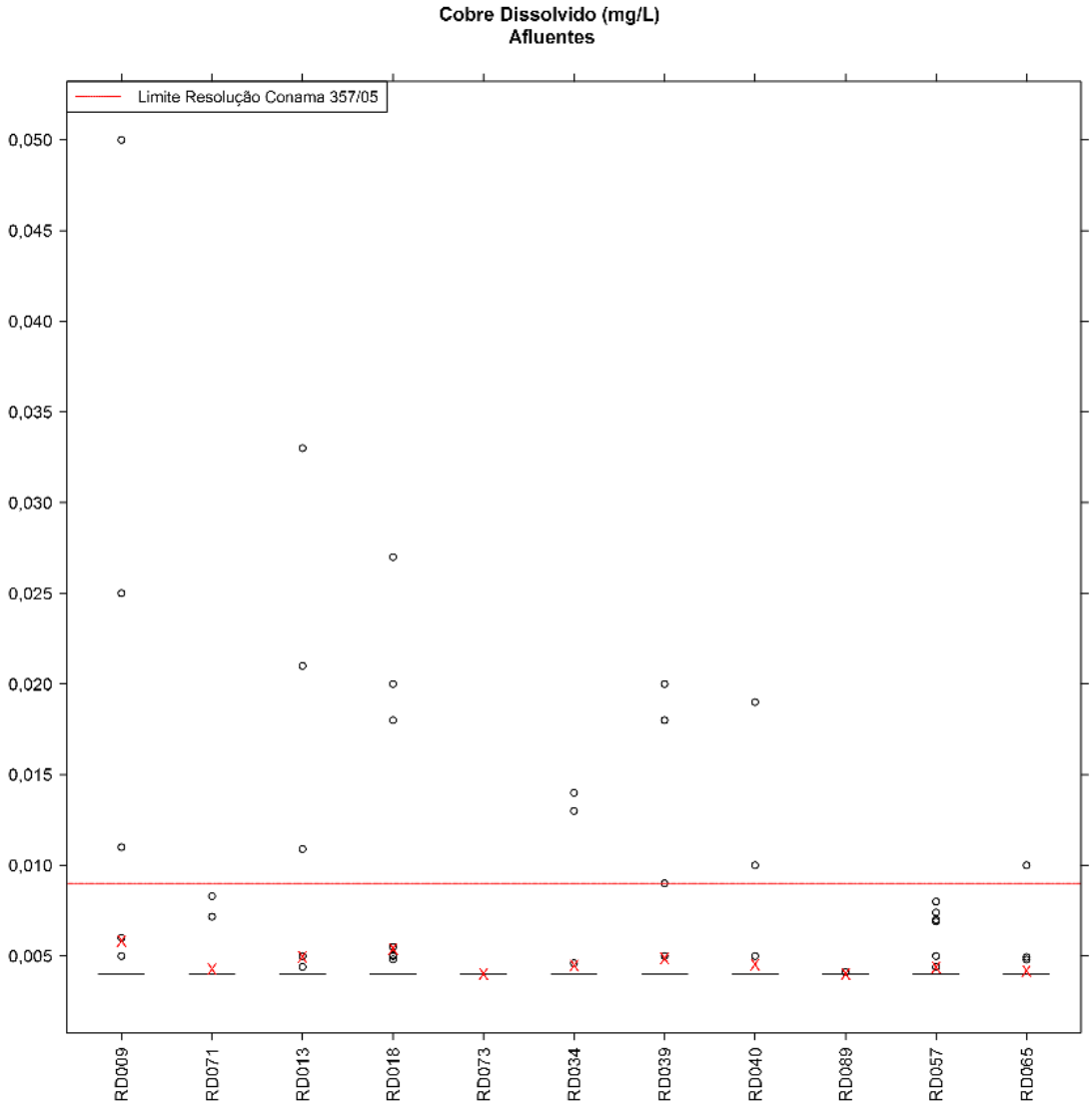


	Cobre Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	42	0,004	0,006	0,004	0,050
RD071	29	0,004	0,004	0,004	0,008
RD013	58	0,004	0,005	0,004	0,033
RD018	42	0,004	0,005	0,004	0,027
RD073	29	0,004	0,004	0,004	0,004
RD034	42	0,004	0,004	0,004	0,014
RD039	42	0,004	0,005	0,004	0,020
RD040	42	0,004	0,005	0,004	0,019
RD089	30	0,004	0,004	0,004	0,004
RD057	42	0,004	0,004	0,004	0,008
RD065	42	0,004	0,004	0,004	0,010

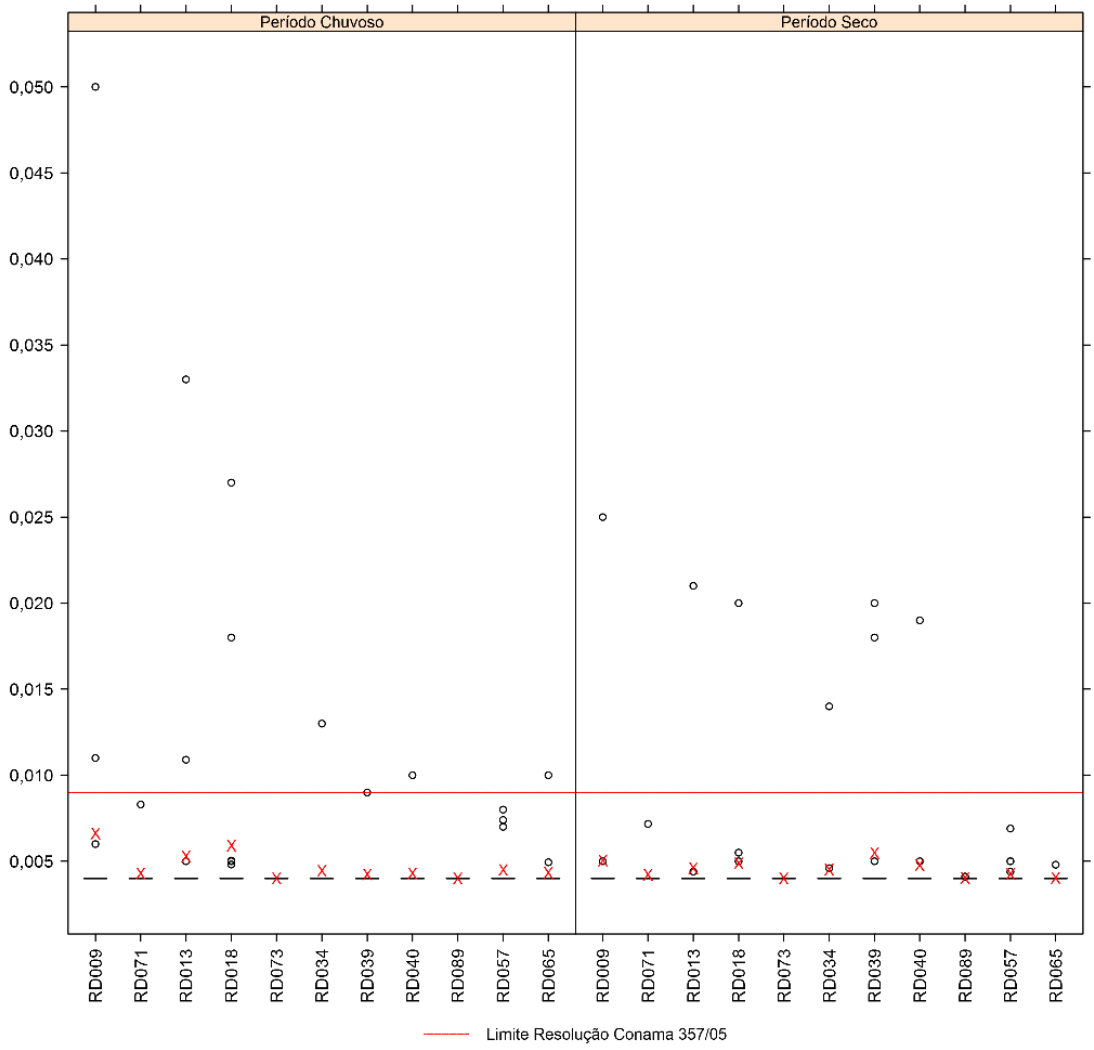
	Cobre Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	21	0,004	0,005	0,004	0,025
RD071	14	0,004	0,004	0,004	0,007
RD013	29	0,004	0,005	0,004	0,021
RD018	21	0,004	0,005	0,004	0,020
RD073	14	0,004	0,004	0,004	0,004
RD034	21	0,004	0,005	0,004	0,014
RD039	21	0,004	0,005	0,004	0,020
RD040	21	0,004	0,005	0,004	0,019
RD089	15	0,004	0,004	0,004	0,004
RD057	21	0,004	0,004	0,004	0,007
RD065	21	0,004	0,004	0,004	0,005

	Cobre Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	21	0,004	0,007	0,004	0,050
RD071	15	0,004	0,004	0,004	0,008
RD013	29	0,004	0,005	0,004	0,033
RD018	21	0,004	0,006	0,004	0,027
RD073	15	0,004	0,004	0,004	0,004
RD034	21	0,004	0,004	0,004	0,013
RD039	21	0,004	0,004	0,004	0,009
RD040	21	0,004	0,004	0,004	0,010
RD089	15	0,004	0,004	0,004	0,004
RD057	21	0,004	0,004	0,004	0,008

	Cobre Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	21	0,004	0,004	0,004	0,010



Cobre Dissolvido (mg/L)
Afluentes



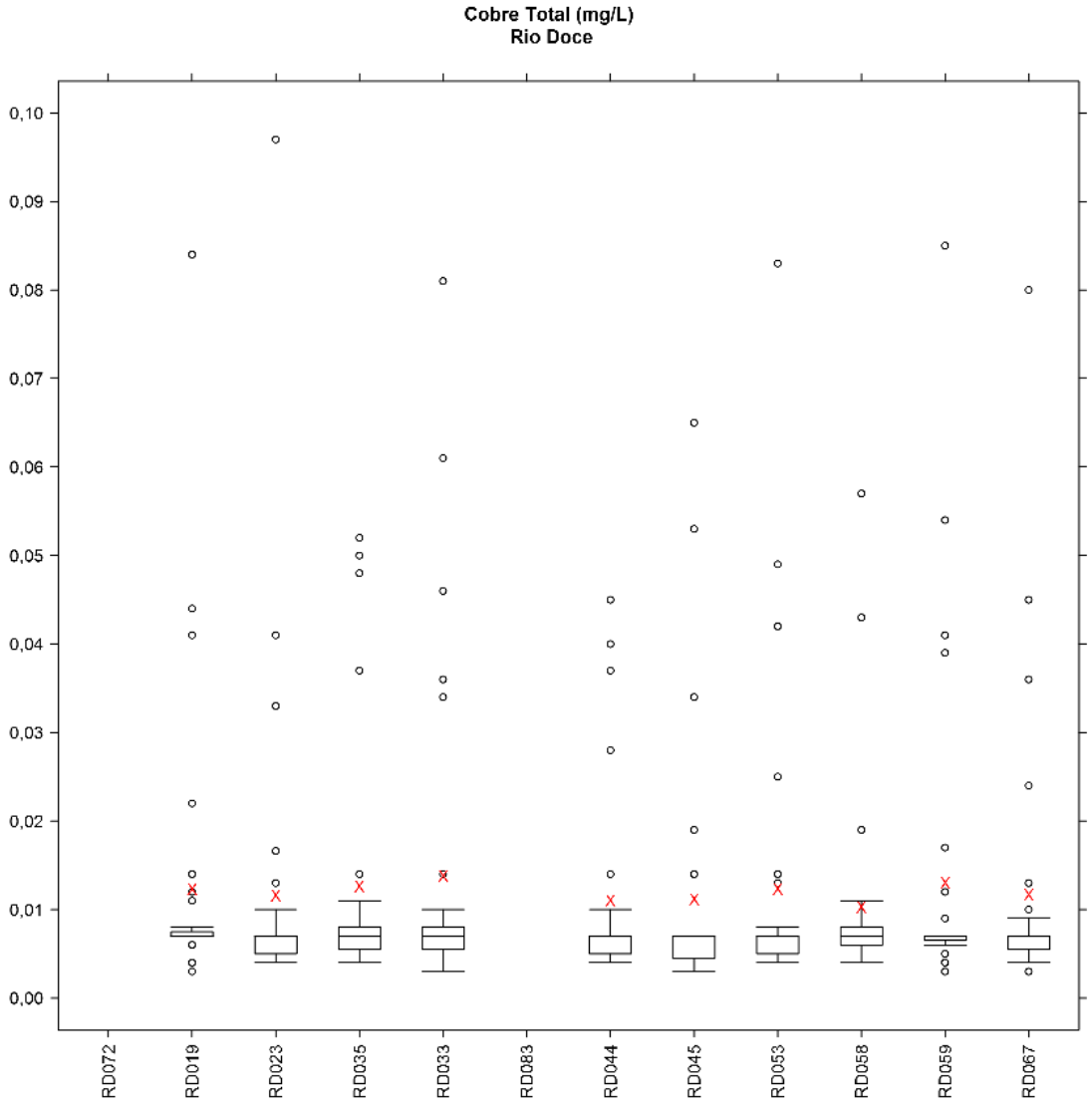
Cobre Total

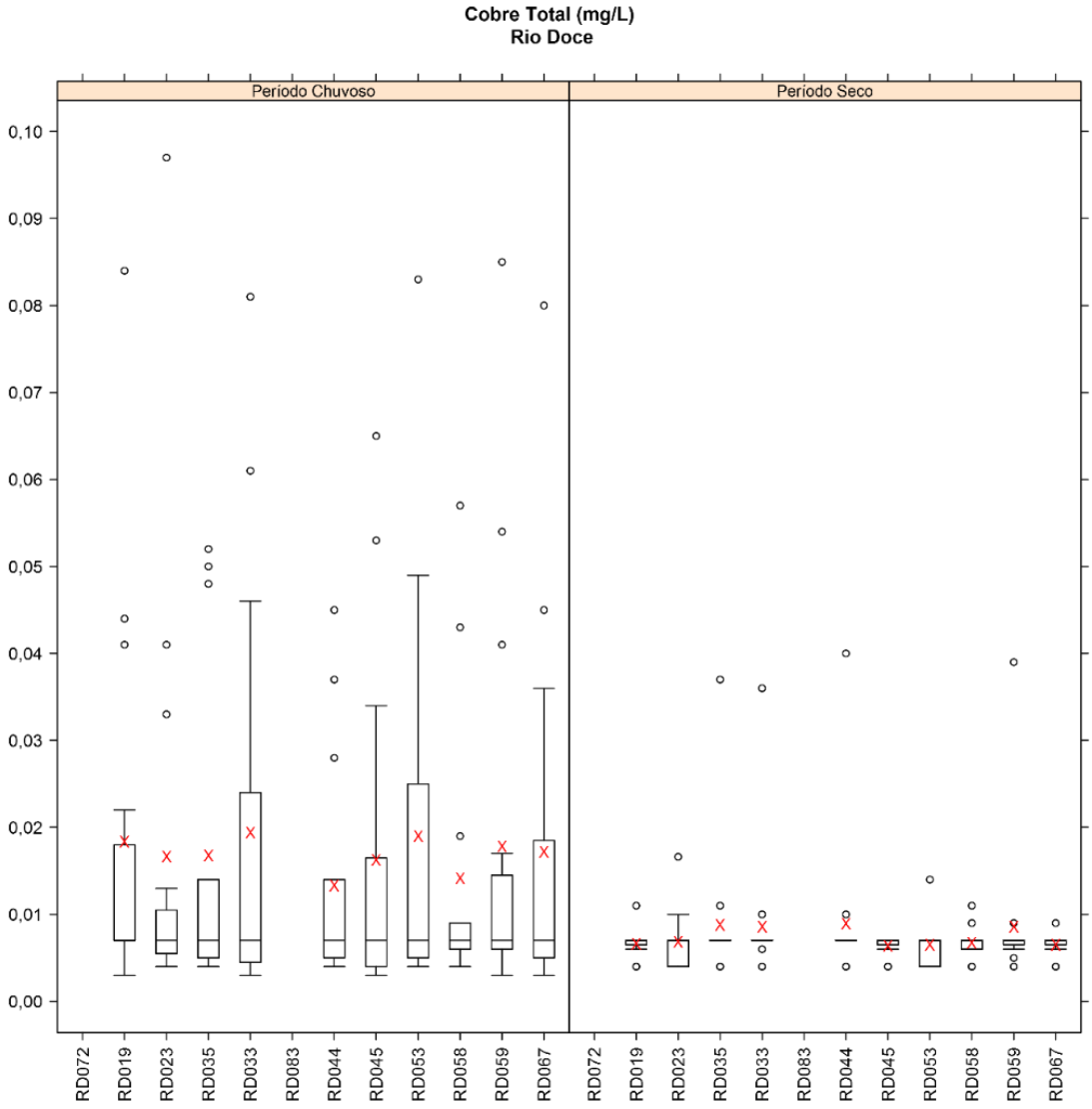
	Cobre Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	31	0,003	0,012	0,007	0,084
RD023	31	0,004	0,012	0,007	0,097
RD035	27	0,004	0,013	0,007	0,052
RD033	31	0,003	0,014	0,007	0,081
RD083	-	-	-	-	-
RD044	27	0,004	0,011	0,007	0,045
RD045	31	0,003	0,011	0,007	0,065
RD053	30	0,004	0,012	0,007	0,083
RD058	27	0,004	0,010	0,007	0,057
RD059	31	0,003	0,013	0,007	0,085
RD067	31	0,003	0,012	0,007	0,080

	Cobre Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	16	0,004	0,007	0,007	0,011
RD023	16	0,004	0,007	0,007	0,017
RD035	14	0,004	0,009	0,007	0,037
RD033	16	0,004	0,009	0,007	0,036
RD083	-	-	-	-	-
RD044	14	0,004	0,009	0,007	0,040
RD045	16	0,004	0,006	0,007	0,007
RD053	16	0,004	0,007	0,007	0,014
RD058	14	0,004	0,007	0,007	0,011
RD059	16	0,004	0,009	0,007	0,039
RD067	16	0,004	0,007	0,007	0,009

	Cobre Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	15	0,003	0,018	0,007	0,084
RD023	15	0,004	0,017	0,007	0,097
RD035	13	0,004	0,017	0,007	0,052
RD033	15	0,003	0,019	0,007	0,081
RD083	-	-	-	-	-
RD044	13	0,004	0,013	0,007	0,045

	Cobre Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	15	0,003	0,016	0,007	0,065
RD053	14	0,004	0,019	0,007	0,083
RD058	13	0,004	0,014	0,007	0,057
RD059	15	0,003	0,018	0,007	0,085
RD067	15	0,003	0,017	0,007	0,080



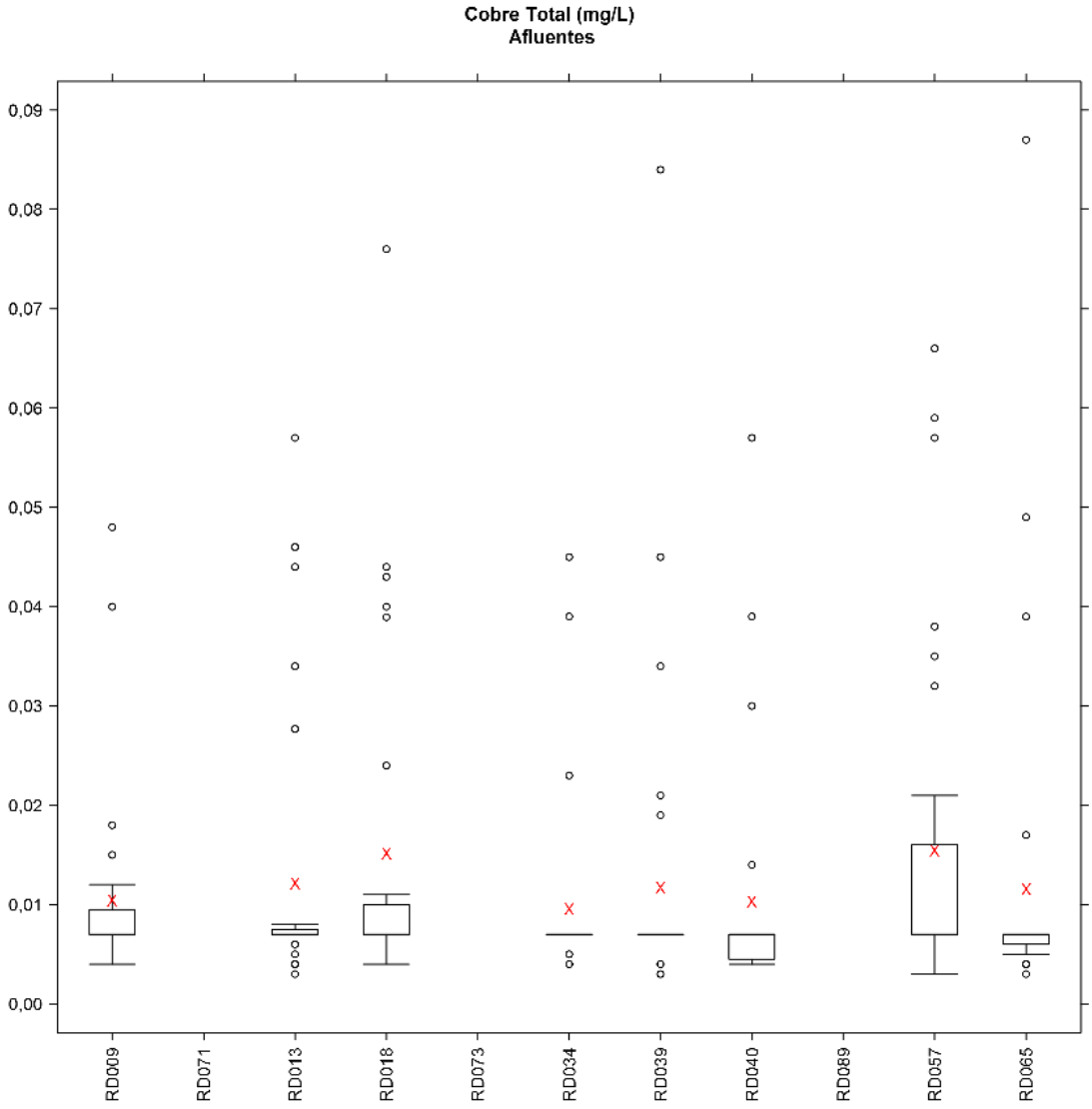

Cobre Total (mg/L)
Rio Doce
Período Chuvoso
Período Seco
0,10
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

	Cobre Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	27	0,004	0,010	0,007	0,048
RD071	-	-	-	-	-
RD013	31	0,003	0,012	0,007	0,057
RD018	27	0,004	0,015	0,007	0,076
RD073	-	-	-	-	-
RD034	27	0,004	0,010	0,007	0,045
RD039	31	0,003	0,012	0,007	0,084
RD040	27	0,004	0,010	0,007	0,057
RD089	-	-	-	-	-
RD057	31	0,003	0,015	0,007	0,066
RD065	31	0,003	0,012	0,007	0,087

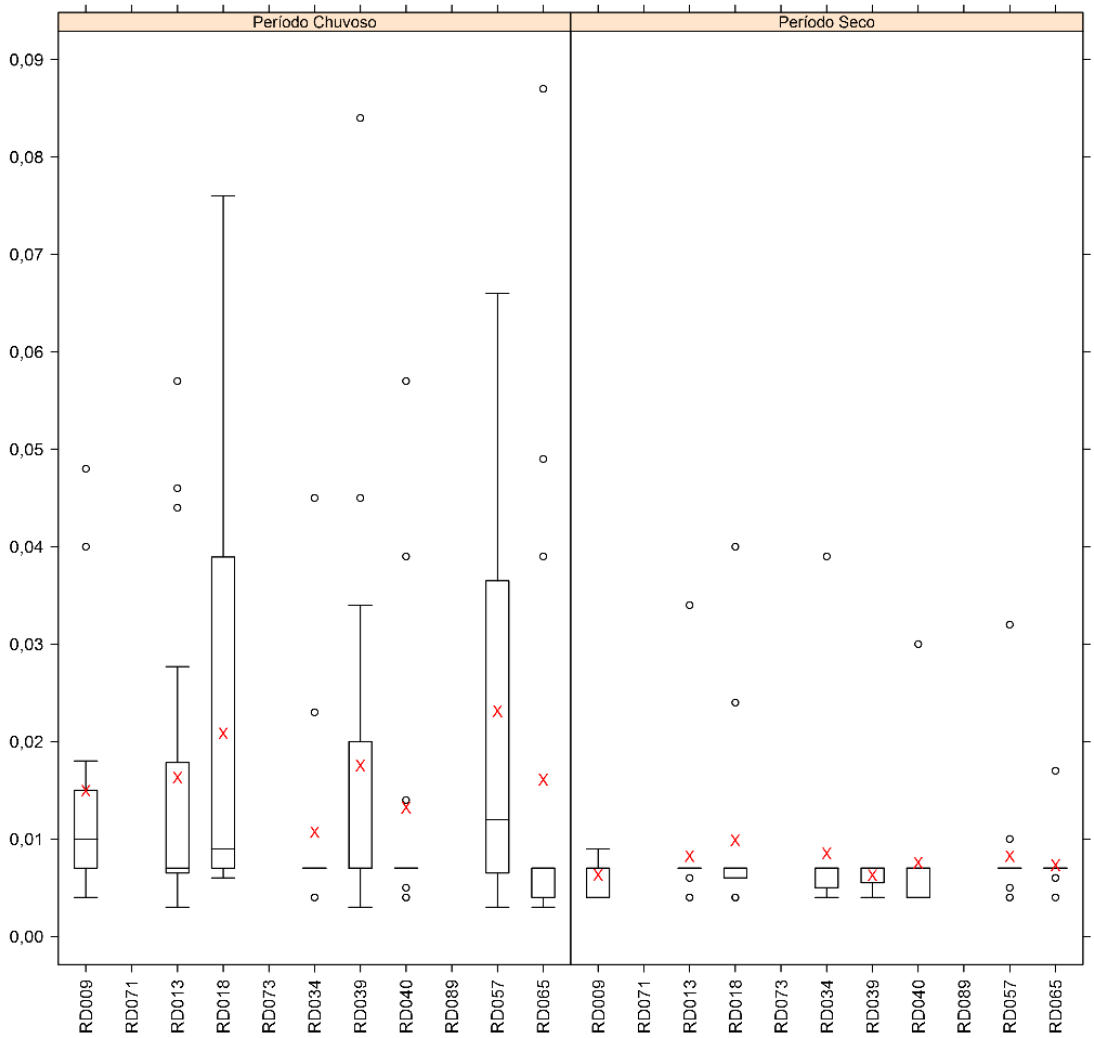
	Cobre Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	14	0,004	0,006	0,007	0,009
RD071	-	-	-	-	-
RD013	16	0,004	0,008	0,007	0,034
RD018	14	0,004	0,010	0,007	0,040
RD073	-	-	-	-	-
RD034	14	0,004	0,009	0,007	0,039
RD039	16	0,004	0,006	0,007	0,007
RD040	14	0,004	0,008	0,007	0,030
RD089	-	-	-	-	-
RD057	16	0,004	0,008	0,007	0,032
RD065	16	0,004	0,007	0,007	0,017

	Cobre Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	13	0,00	0,01	0,01	0,05
RD071	-	-	-	-	-
RD013	15	0,003	0,016	0,007	0,057
RD018	13	0,006	0,021	0,009	0,076
RD073	-	-	-	-	-
RD034	13	0,00	0,01	0,01	0,05
RD039	15	0,003	0,018	0,007	0,084
RD040	13	0,004	0,013	0,007	0,057
RD089	-	-	-	-	-
RD057	15	0,003	0,023	0,012	0,066

	Cobre Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	15	0,003	0,016	0,007	0,087



Cobre Total (mg/L)
Afluentes



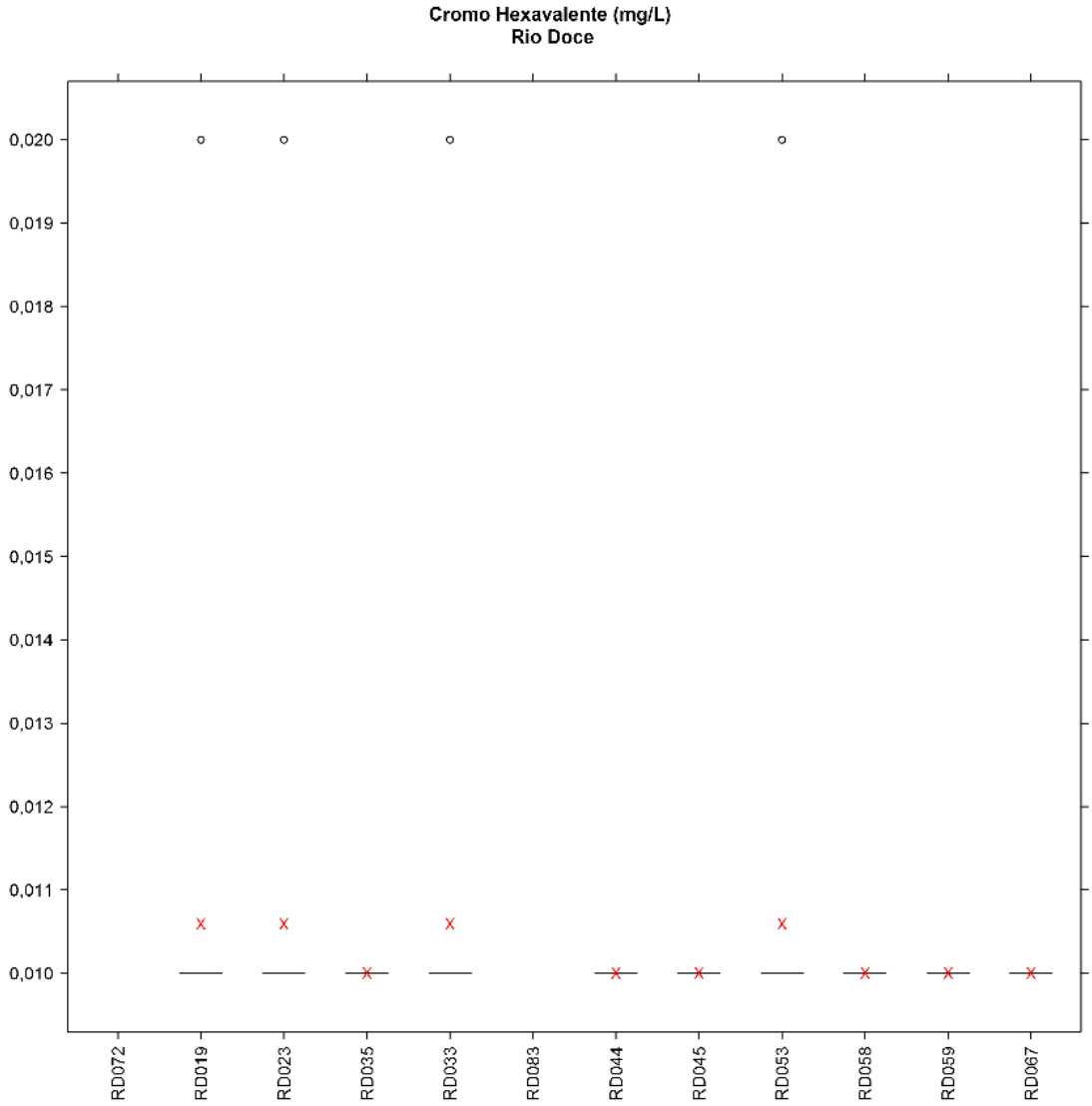
Cromo Hexavalente

	Cromo Hexavalente (mg/L)- Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	17	0,010	0,011	0,010	0,020
RD023	17	0,010	0,011	0,010	0,020
RD035	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD033	17	0,010	0,011	0,010	0,020
RD083	-	-	-	-	-
RD044	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD045	17	0,010	0,010	0,010	0,010
RD053	17	0,010	0,011	0,010	0,020
RD058	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD059	17	0,010	0,010	0,010	0,010
RD067	17	0,010	0,010	0,010	0,010

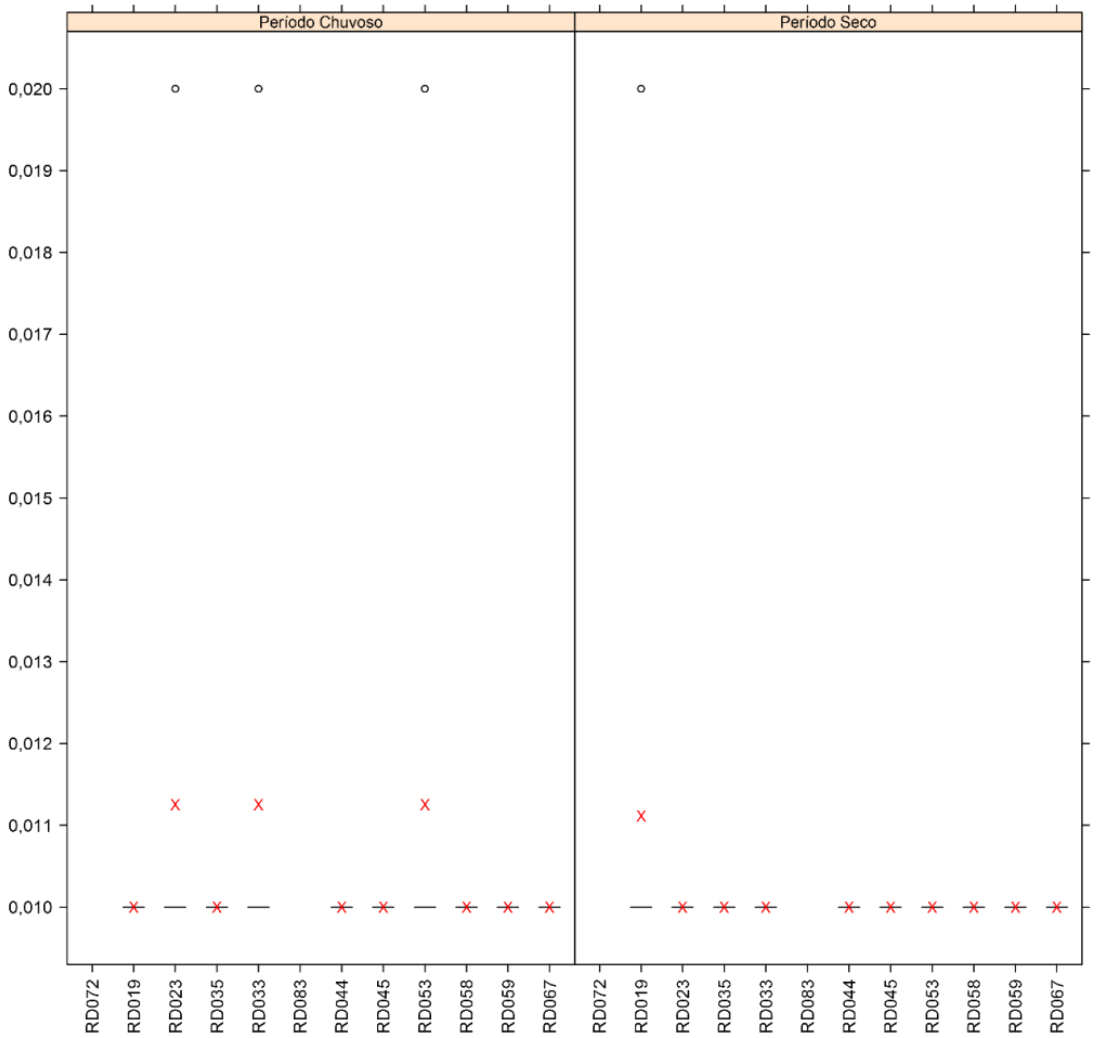
	Cromo Hexavalente (mg/L)- Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	9	0,010	0,011	0,010	0,020
RD023	9	0,010	0,010	0,010	0,010
RD035	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD033	9	0,010	0,010	0,010	0,010
RD083	-	-	-	-	-
RD044	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD045	9	0,010	0,010	0,010	0,010
RD053	9	0,010	0,010	0,010	0,010
RD058	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD059	9	0,010	0,010	0,010	0,010
RD067	9	0,010	0,010	0,010	0,010

	Cromo Hexavalente (mg/L)- Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	8	0,010	0,010	0,010	0,010
RD023	8	0,010	0,011	0,010	0,020
RD035	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD033	8	0,010	0,011	0,010	0,020
RD083	-	-	-	-	-
RD044	7	0,010	0,010	0,010	0,010

	Cromo Hexavalente (mg/L)- Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	8	0,010	0,010	0,010	0,010
RD053	8	0,010	0,011	0,010	0,020
RD058	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD059	8	0,010	0,010	0,010	0,010
RD067	8	0,010	0,010	0,010	0,010



Cromo Hexavalente (mg/L)
Rio Doce

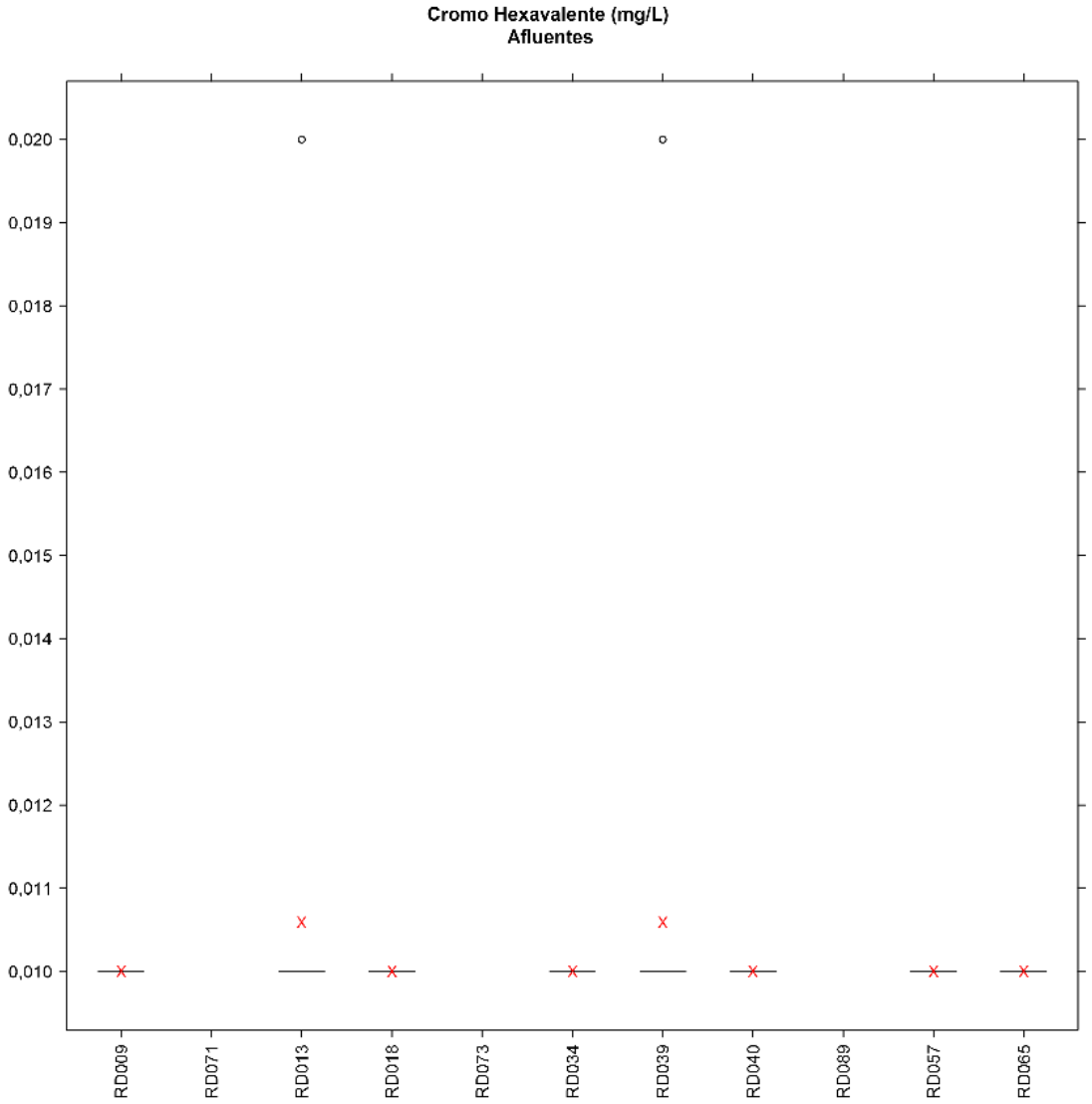


	Cromo Hexavalente (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD071	-	-	-	-	-
RD013	17	0,010	0,011	0,010	0,020
RD018	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD073	-	-	-	-	-
RD034	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD039	17	0,010	0,011	0,010	0,020
RD040	14	0,010	0,010	0,010	0,010
RD089	-	-	-	-	-
RD057	17	0,010	0,010	0,010	0,010
RD065	17	0,010	0,010	0,010	0,010

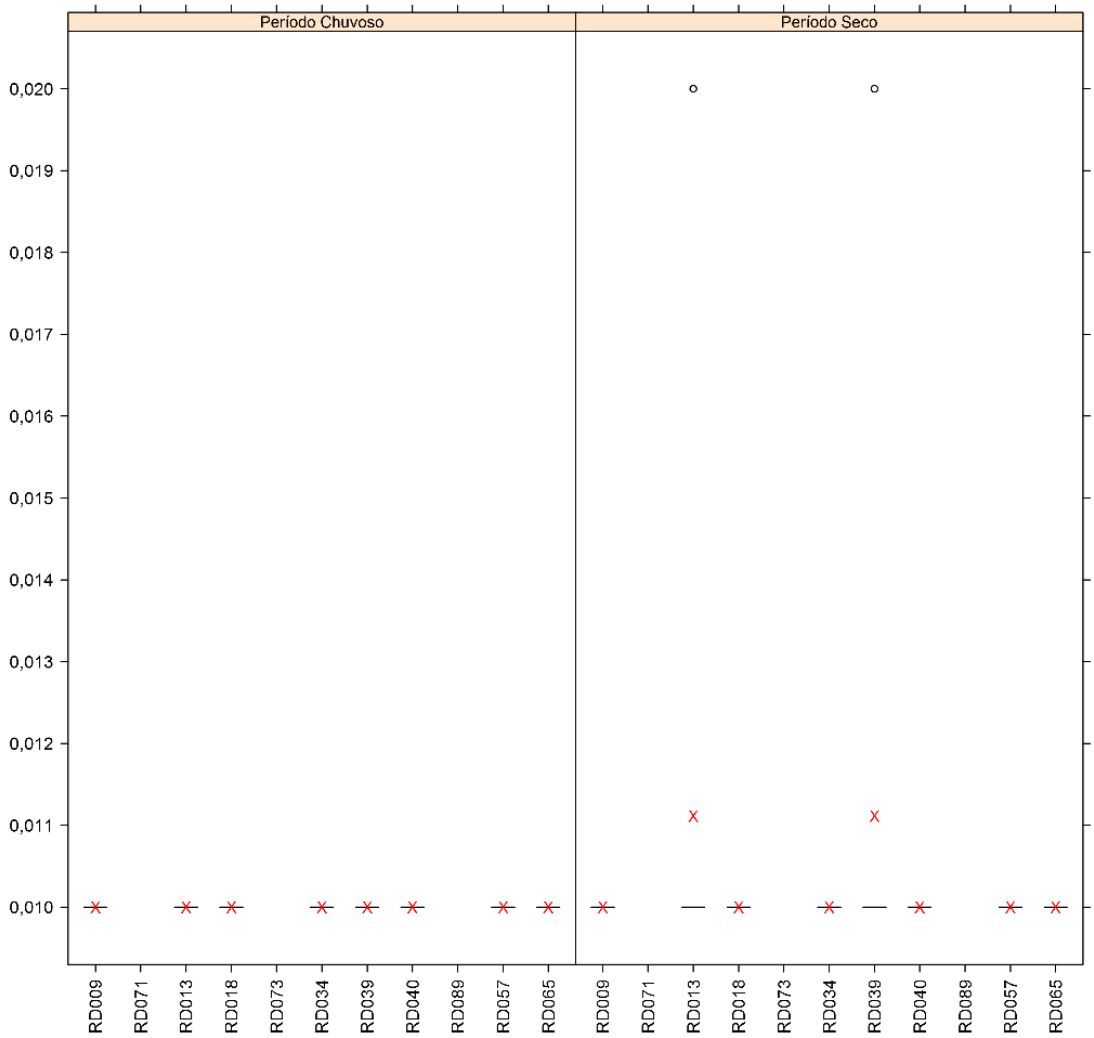
	Cromo Hexavalente (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD071	-	-	-	-	-
RD013	9	0,010	0,011	0,010	0,020
RD018	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD073	-	-	-	-	-
RD034	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD039	9	0,010	0,011	0,010	0,020
RD040	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD089	-	-	-	-	-
RD057	9	0,010	0,010	0,010	0,010
RD065	9	0,010	0,010	0,010	0,010

	Cromo Hexavalente (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD071	-	-	-	-	-
RD013	8	0,010	0,010	0,010	0,010
RD018	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD073	-	-	-	-	-
RD034	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD039	8	0,010	0,010	0,010	0,010
RD040	7	0,010	0,010	0,010	0,010
RD089	-	-	-	-	-
RD057	8	0,010	0,010	0,010	0,010

	Cromo Hexavalente (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	8	0,010	0,010	0,010	0,010



Cromo Hexavalente (mg/L)
Afluentes



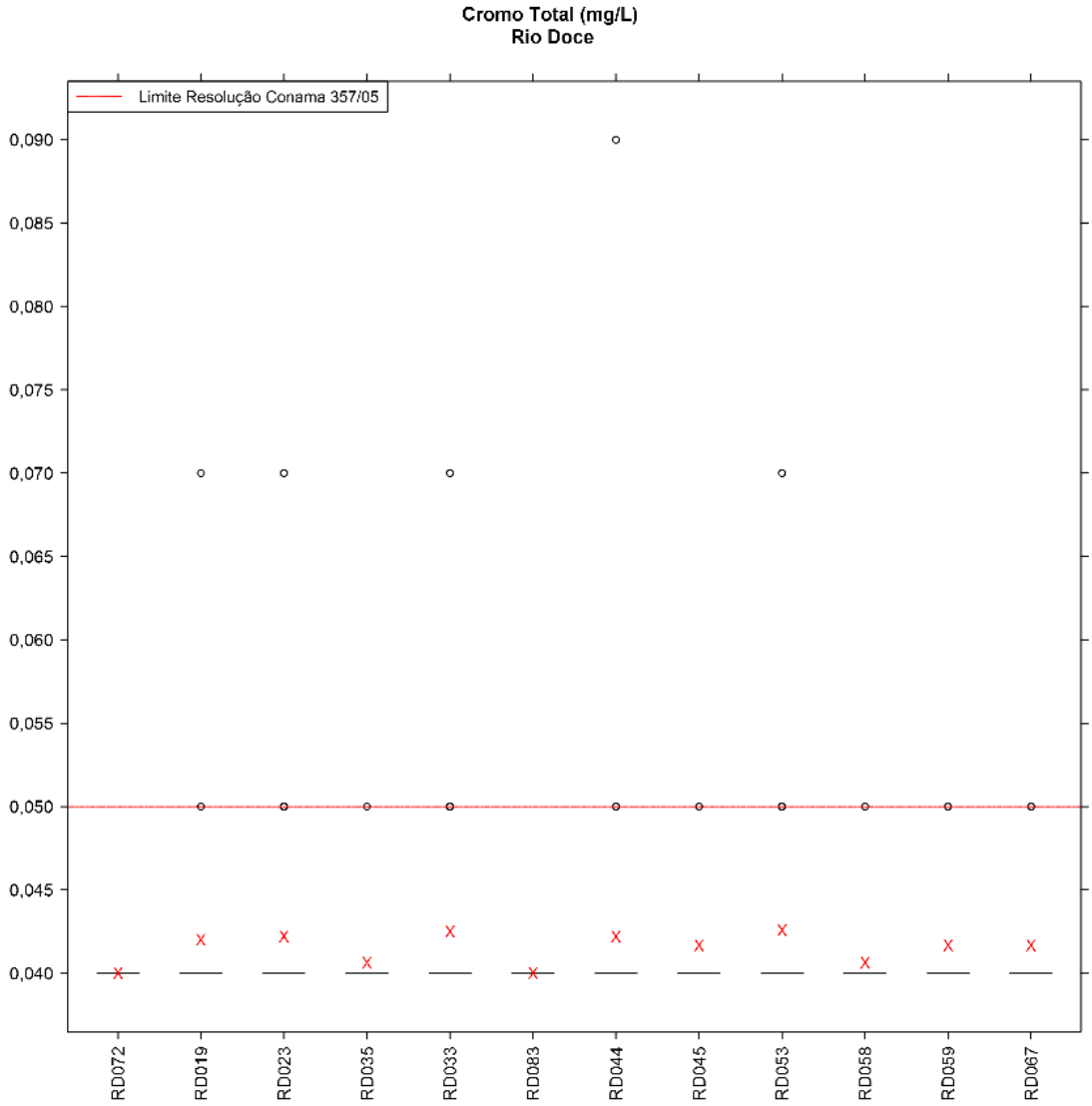
Cromo Total

	Cromo Total (mg/L)- Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,040	0,040	0,040	0,040
RD019	35	0,040	0,042	0,040	0,070
RD023	36	0,040	0,042	0,040	0,070
RD035	32	0,040	0,041	0,040	0,050
RD033	36	0,040	0,043	0,040	0,070
RD083	15	0,040	0,040	0,040	0,040
RD044	32	0,040	0,042	0,040	0,090
RD045	36	0,040	0,042	0,040	0,050
RD053	35	0,040	0,043	0,040	0,070
RD058	32	0,040	0,041	0,040	0,050
RD059	36	0,040	0,042	0,040	0,050
RD067	36	0,040	0,042	0,040	0,050

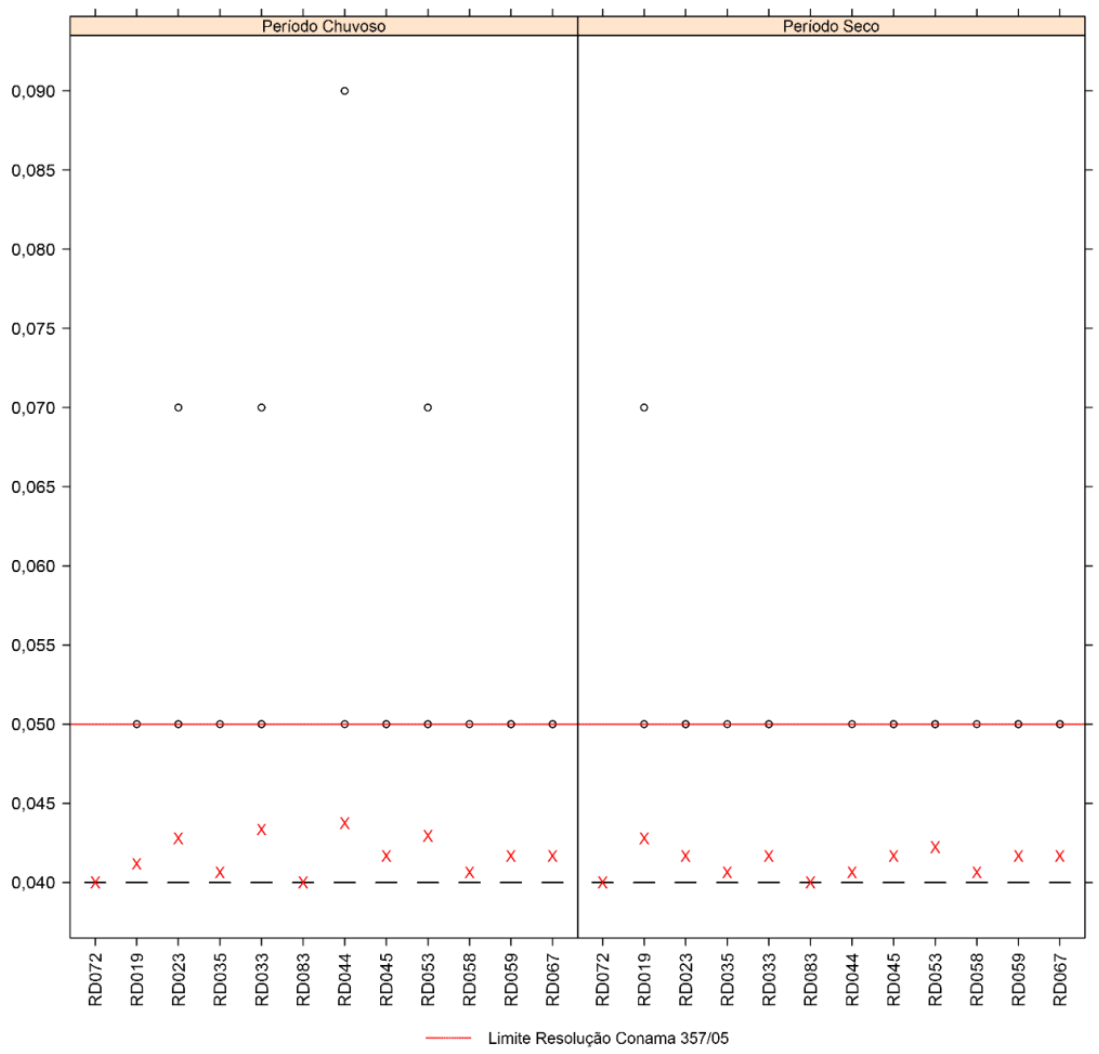
	Cromo Total (mg/L)- Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,040	0,040	0,040	0,040
RD019	18	0,040	0,043	0,040	0,070
RD023	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD035	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD033	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD083	8	0,040	0,040	0,040	0,040
RD044	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD045	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD053	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD058	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD059	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD067	18	0,040	0,042	0,040	0,050

	Cromo Total (mg/L)- Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,040	0,040	0,040	0,040
RD019	17	0,040	0,041	0,040	0,050
RD023	18	0,040	0,043	0,040	0,070
RD035	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD033	18	0,040	0,043	0,040	0,070
RD083	7	0,040	0,040	0,040	0,040
RD044	16	0,040	0,044	0,040	0,090

	Cromo Total (mg/L)- Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD053	17	0,040	0,043	0,040	0,070
RD058	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD059	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD067	18	0,040	0,042	0,040	0,050



Cromo Total (mg/L)
Rio Doce

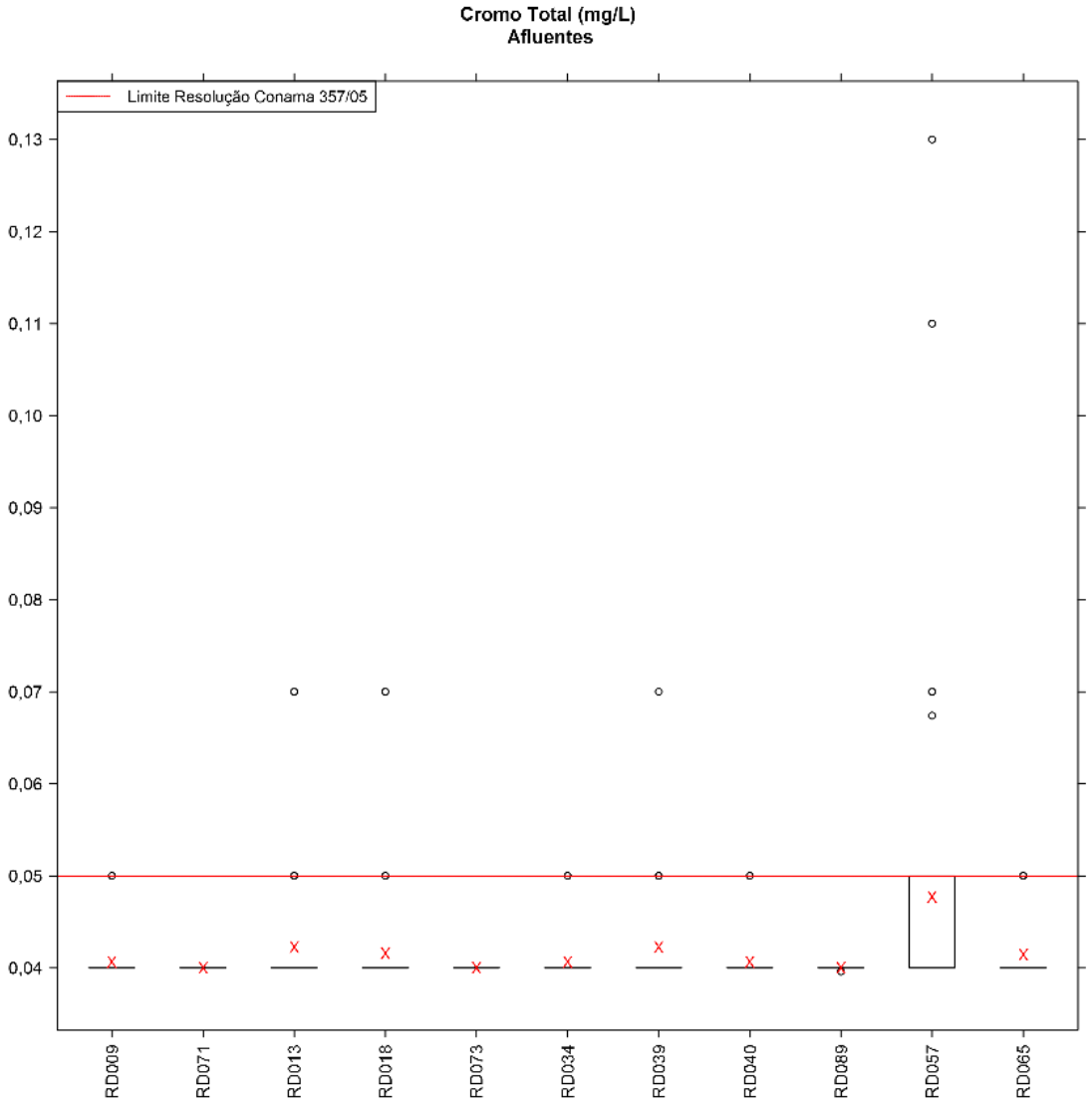


	Cromo Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,040	0,041	0,040	0,050
RD071	29	0,040	0,040	0,040	0,040
RD013	36	0,040	0,042	0,040	0,070
RD018	32	0,040	0,042	0,040	0,070
RD073	29	0,040	0,040	0,040	0,040
RD034	32	0,040	0,041	0,040	0,050
RD039	36	0,040	0,042	0,040	0,070
RD040	32	0,040	0,041	0,040	0,050
RD089	15	0,040	0,040	0,040	0,040
RD057	36	0,040	0,048	0,040	0,130
RD065	35	0,040	0,041	0,040	0,050

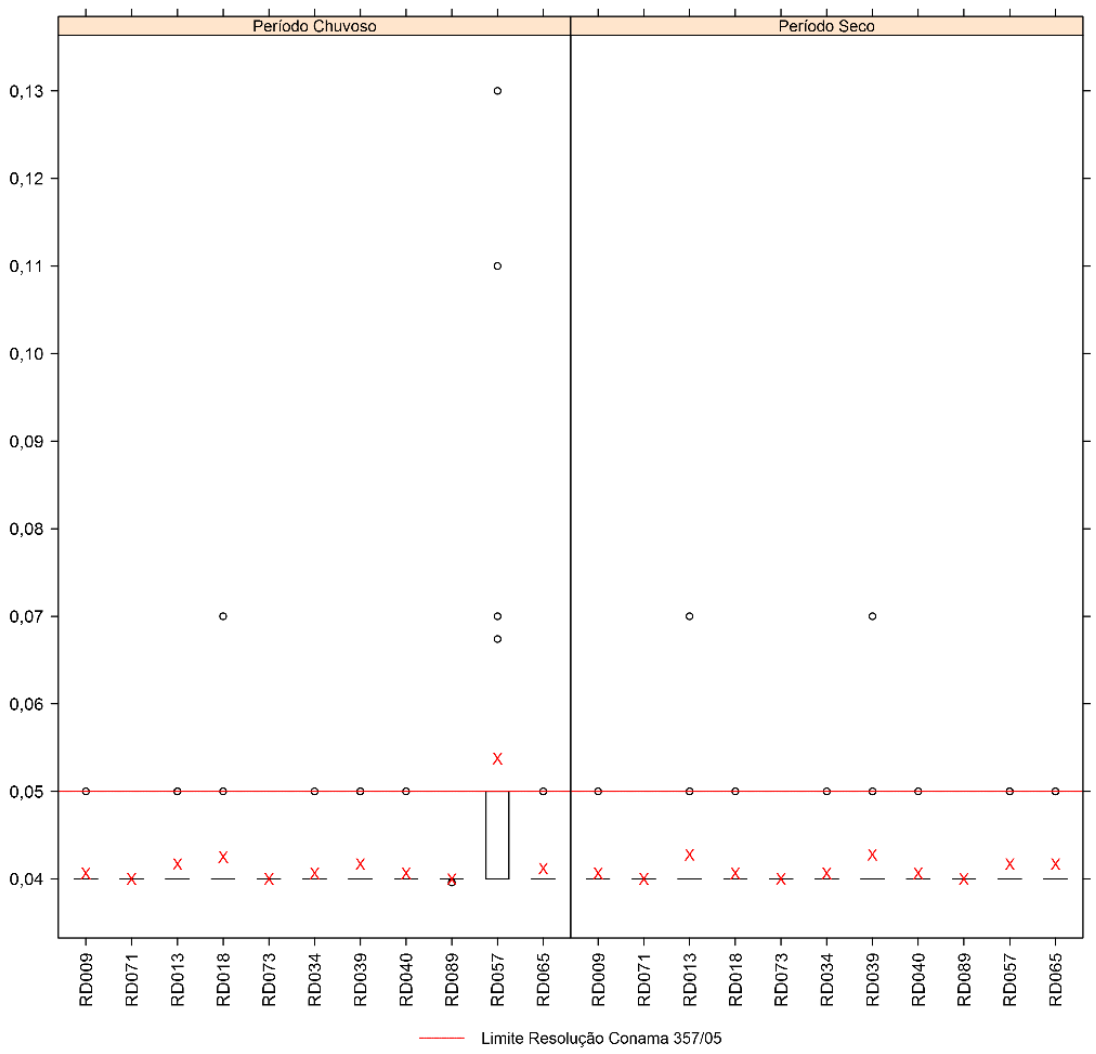
	Cromo Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD071	14	0,040	0,040	0,040	0,040
RD013	18	0,040	0,043	0,040	0,070
RD018	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD073	14	0,040	0,040	0,040	0,040
RD034	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD039	18	0,040	0,043	0,040	0,070
RD040	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD089	8	0,040	0,040	0,040	0,040
RD057	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD065	18	0,040	0,042	0,040	0,050

	Cromo Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD071	15	0,040	0,040	0,040	0,040
RD013	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD018	16	0,040	0,043	0,040	0,070
RD073	15	0,040	0,040	0,040	0,040
RD034	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD039	18	0,040	0,042	0,040	0,050
RD040	16	0,040	0,041	0,040	0,050
RD089	7	0,040	0,040	0,040	0,040
RD057	18	0,040	0,054	0,040	0,130

	Cromo Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	17	0,040	0,041	0,040	0,050



Cromo Total (mg/L)
Afluentes



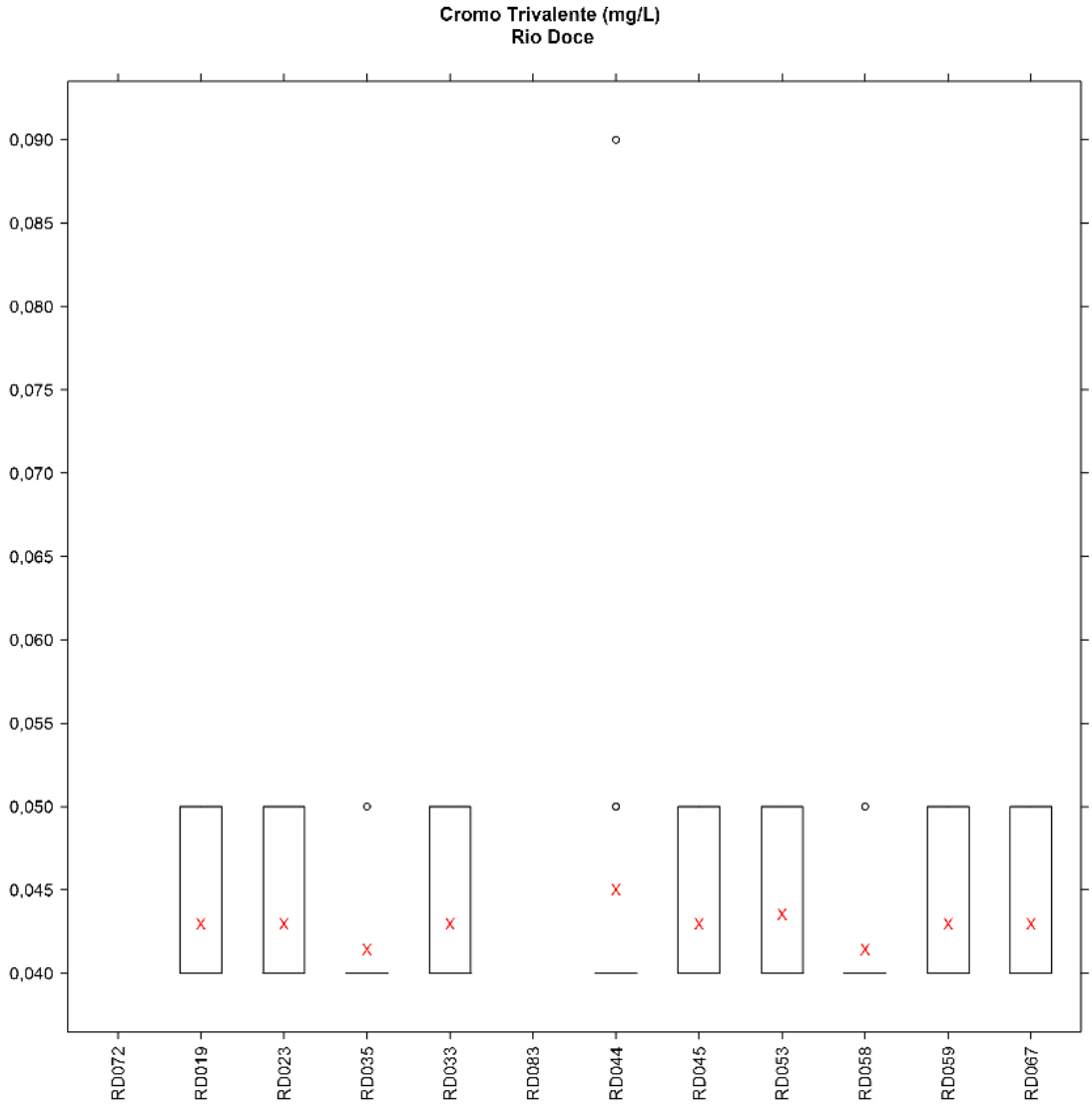
Cromo Trivalente

	Cromo Trivalente (mg/L)- Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD023	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD035	14	0,040	0,041	0,040	0,050
RD033	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD083	-	-	-	-	-
RD044	14	0,040	0,045	0,040	0,090
RD045	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD053	17	0,040	0,044	0,040	0,050
RD058	14	0,040	0,041	0,040	0,050
RD059	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD067	17	0,040	0,043	0,040	0,050

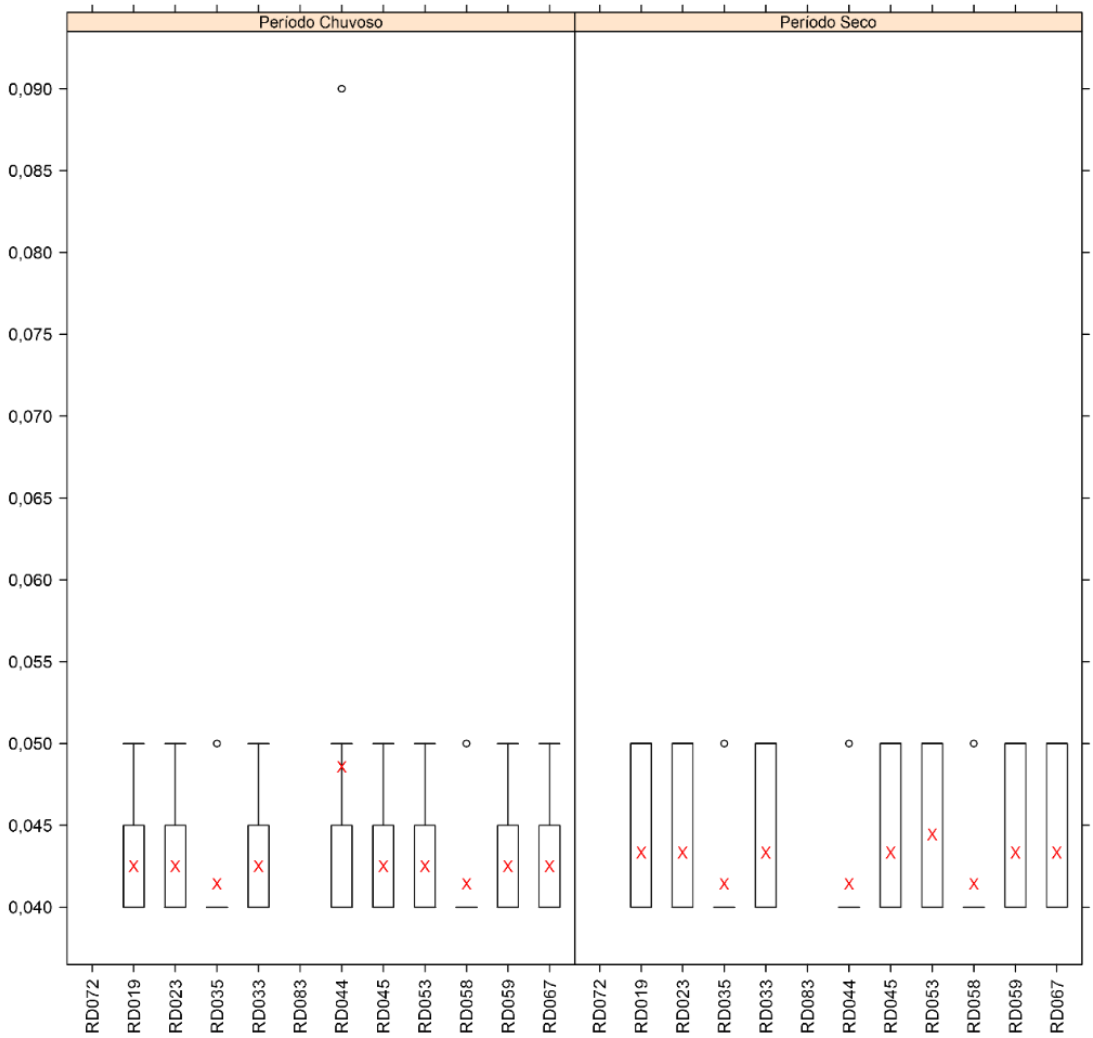
	Cromo Trivalente (mg/L)- Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD023	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD035	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD033	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD083	-	-	-	-	-
RD044	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD045	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD053	9	0,040	0,044	0,040	0,050
RD058	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD059	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD067	9	0,040	0,043	0,040	0,050

	Cromo Trivalente (mg/L)- Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	-	-	-	-	-
RD019	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD023	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD035	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD033	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD083	-	-	-	-	-
RD044	7	0,040	0,049	0,040	0,090

	Cromo Trivalente (mg/L)- Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD053	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD058	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD059	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD067	8	0,040	0,043	0,040	0,050



Cromo Trivalente (mg/L)
Rio Doce

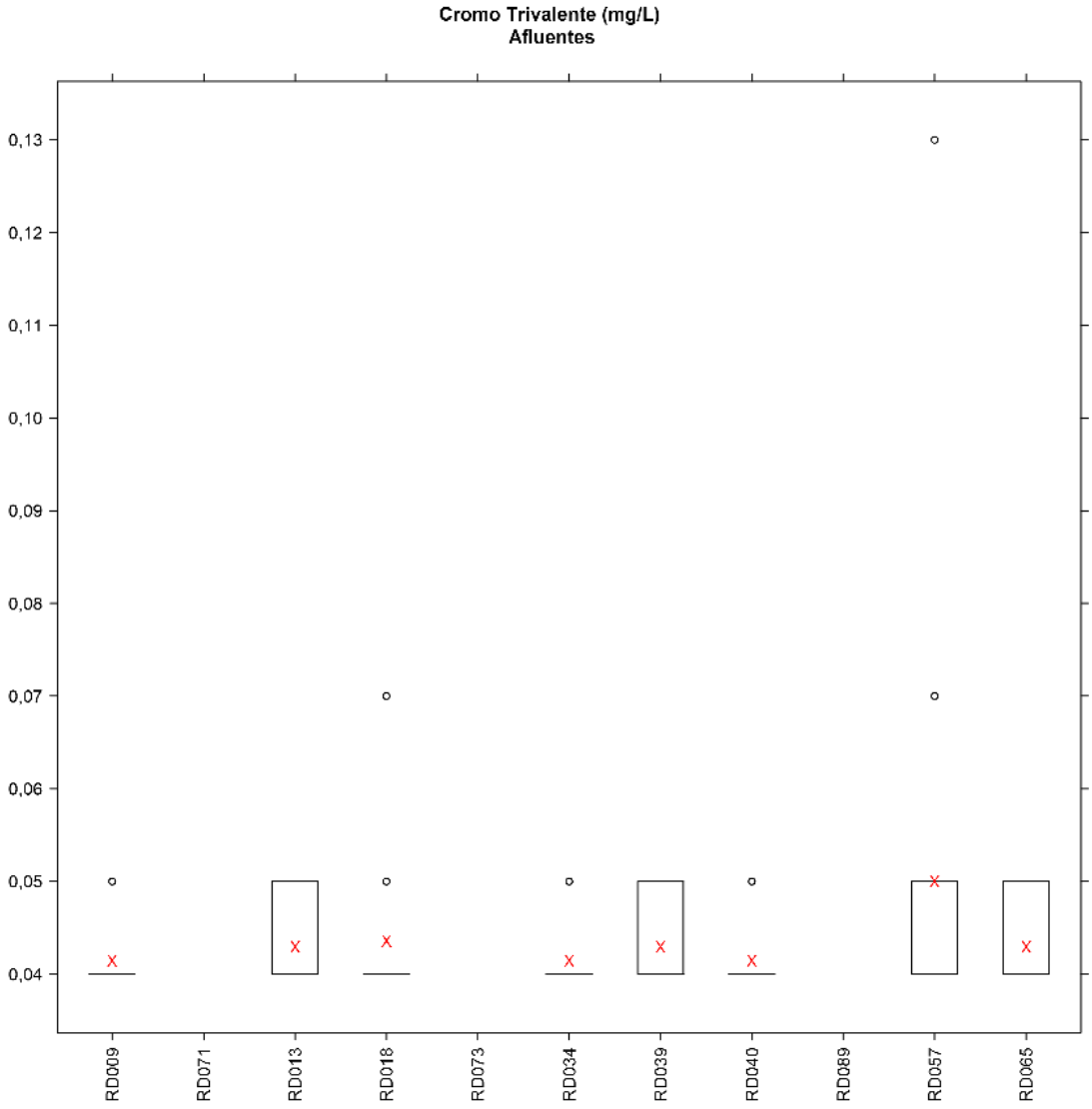


	Cromo Trivalente (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	14	0,040	0,041	0,040	0,050
RD071	-	-	-	-	-
RD013	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD018	14	0,040	0,044	0,040	0,070
RD073	-	-	-	-	-
RD034	14	0,040	0,041	0,040	0,050
RD039	17	0,040	0,043	0,040	0,050
RD040	14	0,040	0,041	0,040	0,050
RD089	-	-	-	-	-
RD057	17	0,040	0,050	0,040	0,130
RD065	17	0,040	0,043	0,040	0,050

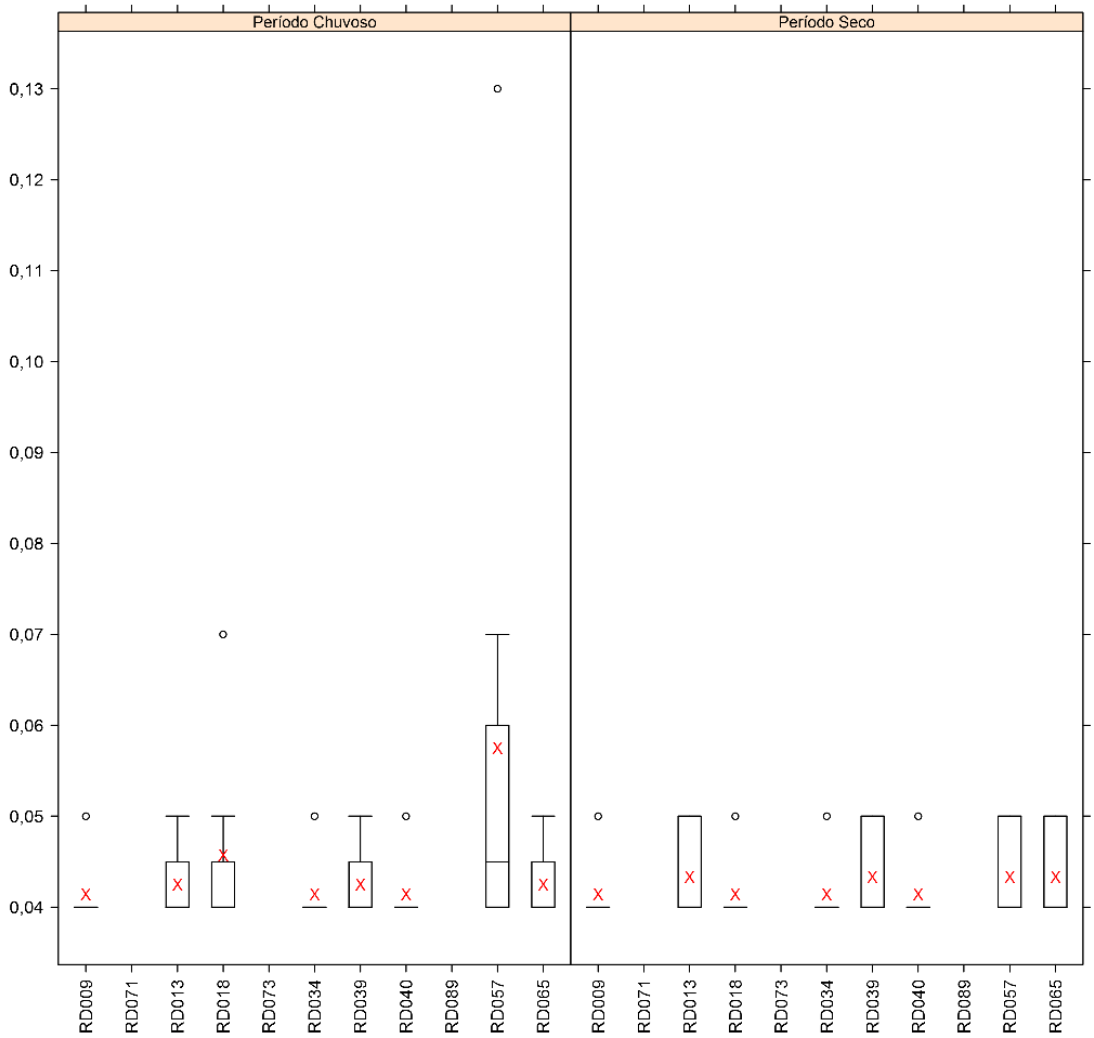
	Cromo Trivalente (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD071	-	-	-	-	-
RD013	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD018	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD073	-	-	-	-	-
RD034	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD039	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD040	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD089	-	-	-	-	-
RD057	9	0,040	0,043	0,040	0,050
RD065	9	0,040	0,043	0,040	0,050

	Cromo Trivalente (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	7	0,04	0,04	0,04	0,05
RD071	-	-	-	-	-
RD013	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD018	7	0,040	0,046	0,040	0,070
RD073	-	-	-	-	-
RD034	7	0,04	0,04	0,04	0,05
RD039	8	0,040	0,043	0,040	0,050
RD040	7	0,040	0,041	0,040	0,050
RD089	-	-	-	-	-
RD057	8	0,040	0,058	0,045	0,130

	Cromo Trivalente (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	8	0,040	0,043	0,040	0,050



Cromo Trivalente (mg/L)
Afluentes



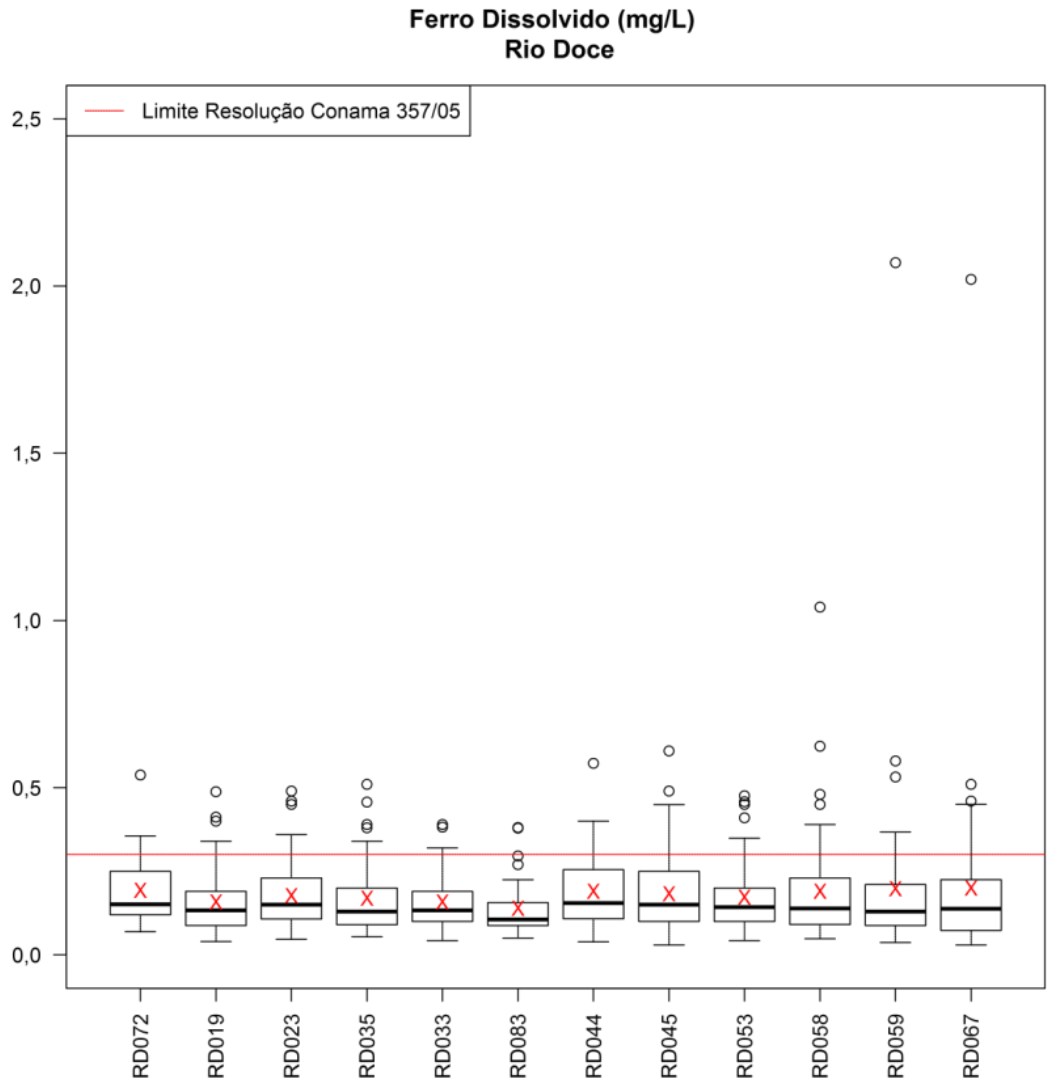
Ferro Dissolvido

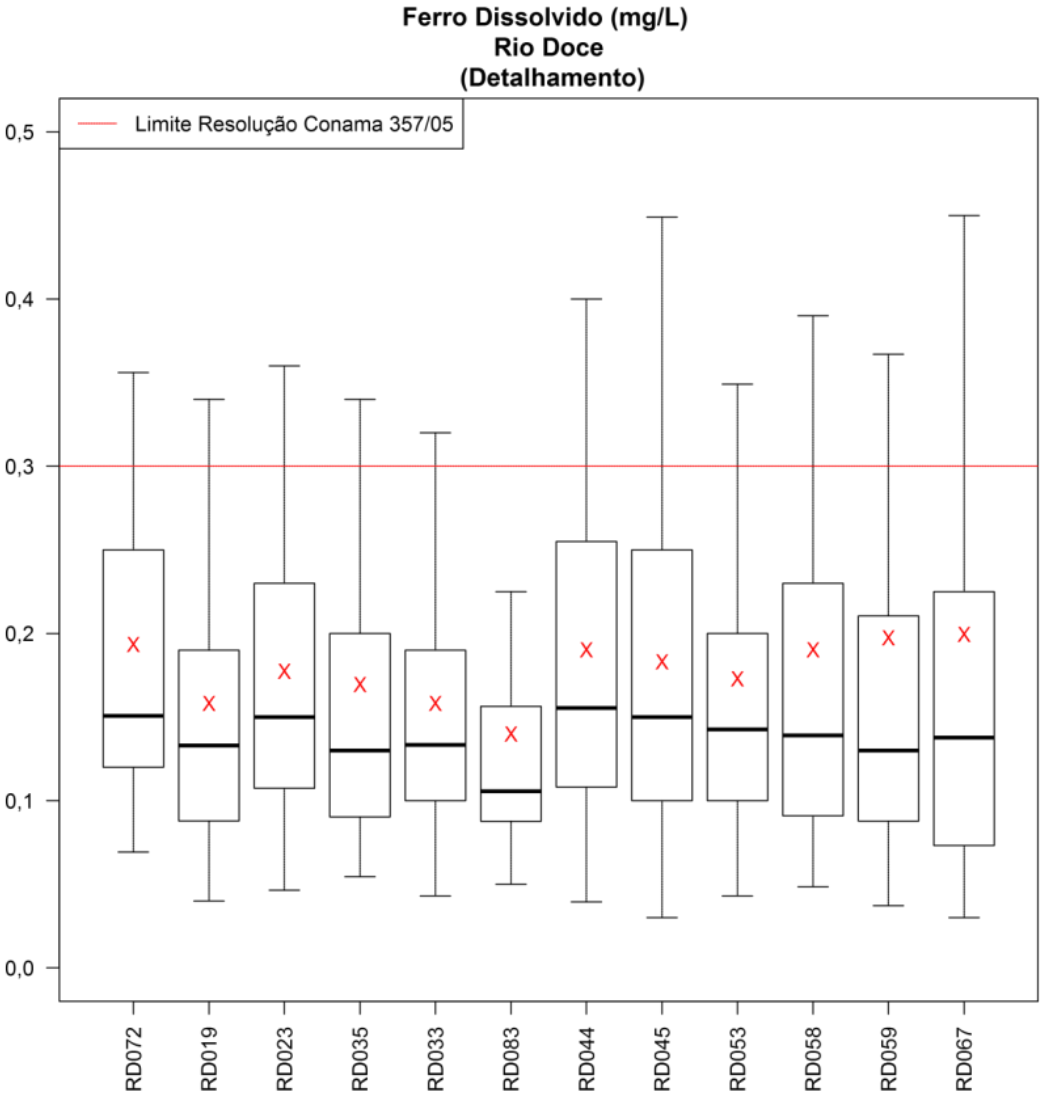
	Ferro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,069	0,193	0,151	0,538
RD019	54	0,040	0,158	0,133	0,488
RD023	68	0,047	0,177	0,150	0,490
RD035	41	0,055	0,170	0,130	0,510
RD033	38	0,043	0,158	0,133	0,390
RD083	30	0,050	0,140	0,106	0,381
RD044	32	0,040	0,190	0,155	0,573
RD045	54	0,030	0,183	0,150	0,610
RD053	53	0,043	0,173	0,143	0,476
RD058	50	0,049	0,190	0,139	1,040
RD059	54	0,037	0,197	0,130	2,070
RD067	54	0,030	0,199	0,138	2,020

	Ferro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,069	0,167	0,147	0,298
RD019	27	0,049	0,119	0,117	0,260
RD023	34	0,047	0,144	0,139	0,290
RD035	20	0,055	0,130	0,113	0,340
RD033	19	0,050	0,118	0,110	0,190
RD083	15	0,070	0,117	0,101	0,296
RD044	16	0,040	0,127	0,124	0,270
RD045	27	0,030	0,144	0,140	0,260
RD053	27	0,057	0,148	0,127	0,458
RD058	25	0,054	0,134	0,120	0,334
RD059	27	0,037	0,148	0,120	0,580
RD067	27	0,030	0,116	0,098	0,311

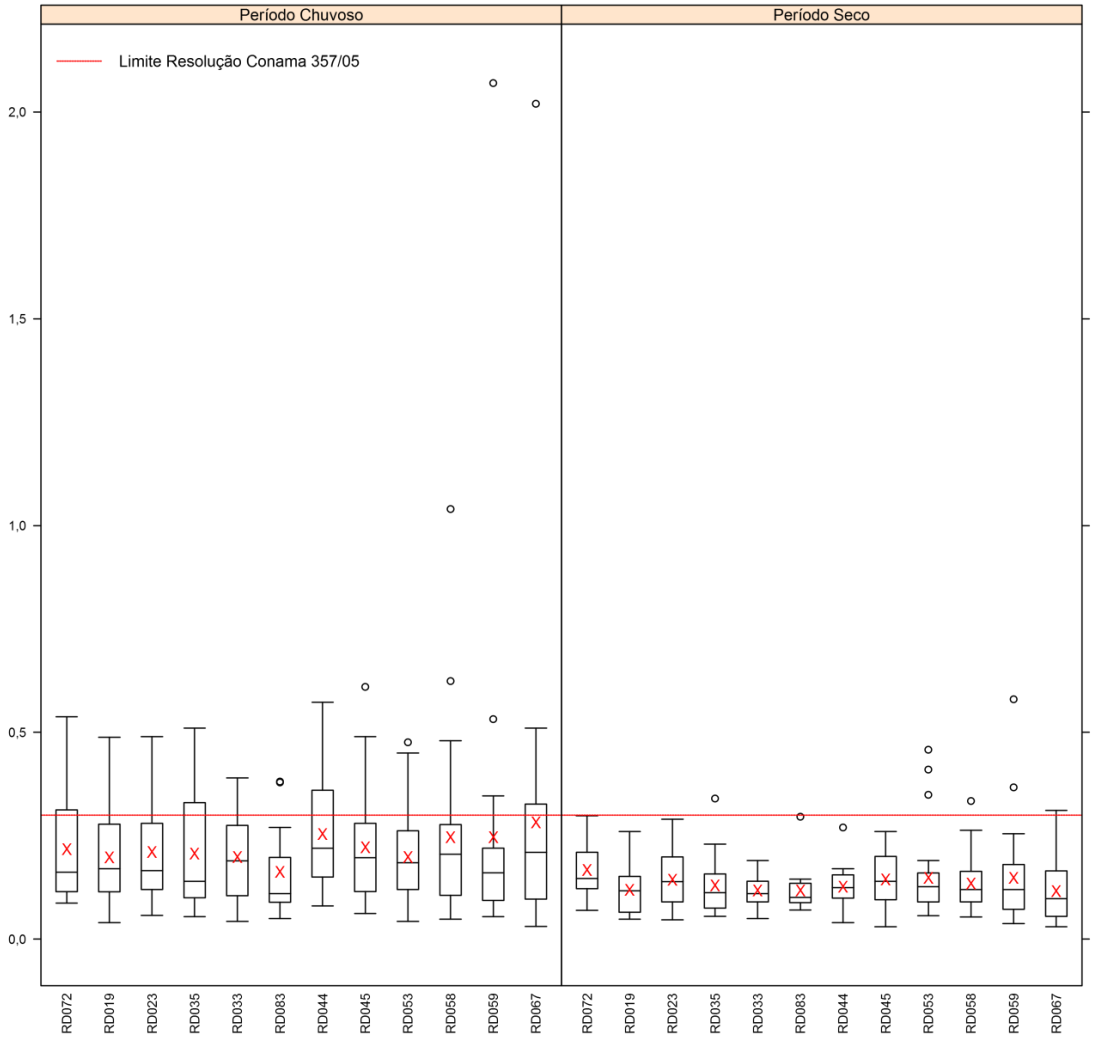
	Ferro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,088	0,218	0,162	0,538
RD019	27	0,040	0,197	0,170	0,488
RD023	34	0,057	0,211	0,166	0,490
RD035	21	0,055	0,207	0,140	0,510
RD033	19	0,043	0,198	0,189	0,390
RD083	15	0,050	0,162	0,110	0,381
RD044	16	0,080	0,254	0,220	0,573

	Ferro Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	27	0,062	0,222	0,197	0,610
RD053	26	0,043	0,198	0,185	0,476
RD058	25	0,049	0,246	0,205	1,040
RD059	27	0,054	0,247	0,160	2,070
RD067	27	0,031	0,283	0,210	2,020


Ferro Dissolvido (mg/L)
Rio Doce
Limite Resolução Conama 357/05
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067


Ferro Dissolvido (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

Ferro Dissolvido (mg/L)
Rio Doce

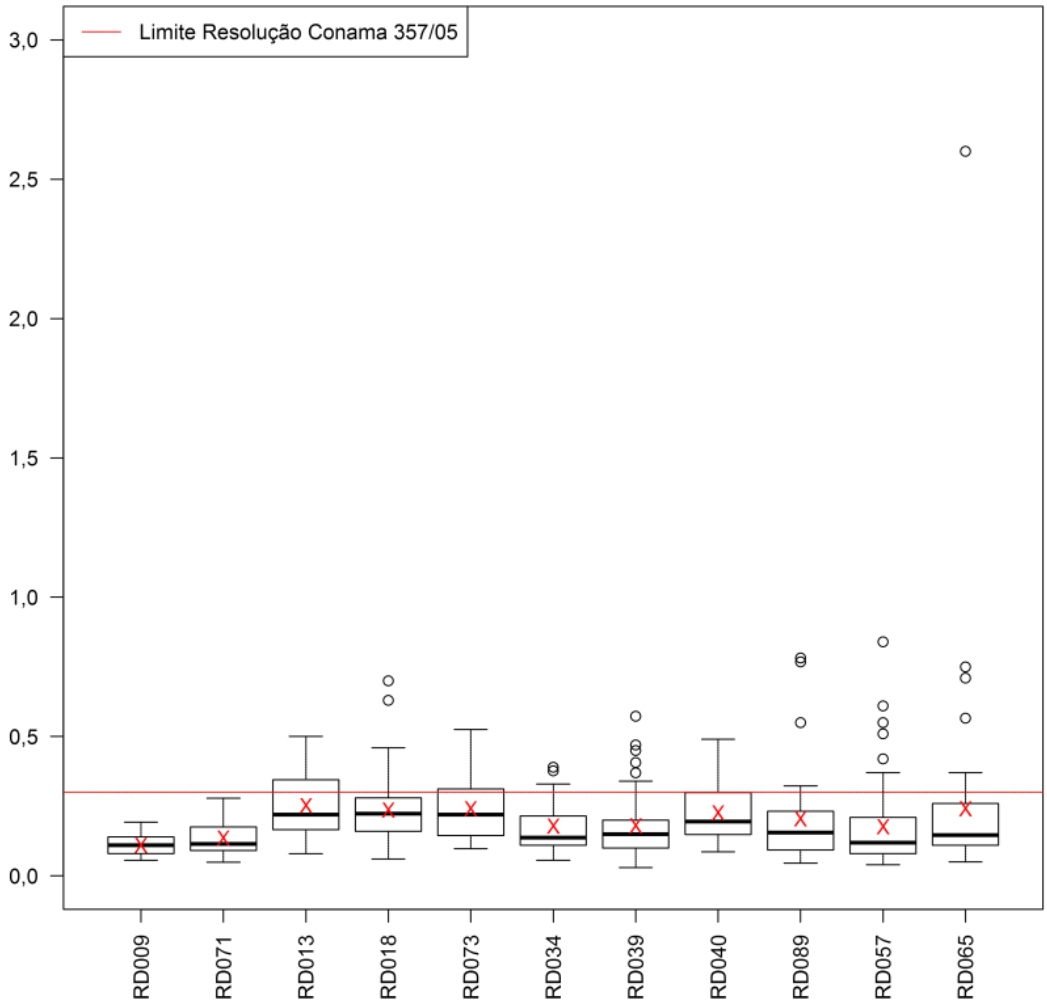


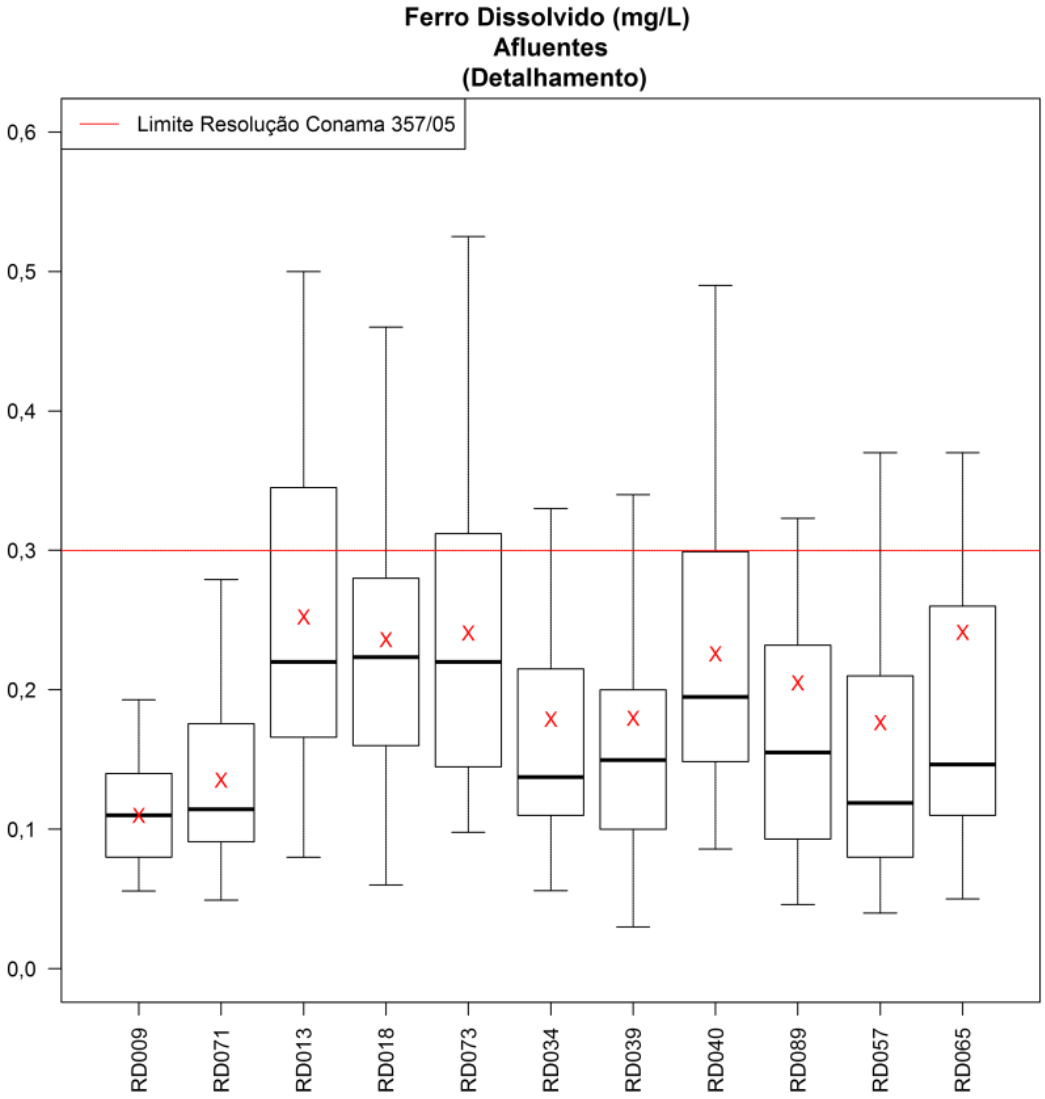
	Ferro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	33	0,056	0,110	0,110	0,193
RD071	29	0,049	0,135	0,114	0,279
RD013	36	0,080	0,252	0,220	0,500
RD018	61	0,060	0,236	0,223	0,700
RD073	29	0,098	0,241	0,220	0,525
RD034	32	0,056	0,179	0,137	0,390
RD039	45	0,030	0,180	0,150	0,573
RD040	32	0,086	0,226	0,195	0,490
RD089	30	0,046	0,205	0,155	0,782
RD057	54	0,040	0,176	0,119	0,840
RD065	54	0,050	0,241	0,146	2,600

	Ferro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	17	0,060	0,109	0,110	0,193
RD071	14	0,049	0,138	0,119	0,279
RD013	18	0,100	0,208	0,188	0,391
RD018	30	0,060	0,205	0,204	0,340
RD073	14	0,098	0,212	0,198	0,362
RD034	16	0,056	0,135	0,126	0,330
RD039	22	0,030	0,121	0,124	0,180
RD040	16	0,086	0,167	0,150	0,340
RD089	15	0,065	0,191	0,150	0,768
RD057	27	0,040	0,120	0,117	0,241
RD065	27	0,050	0,149	0,130	0,370

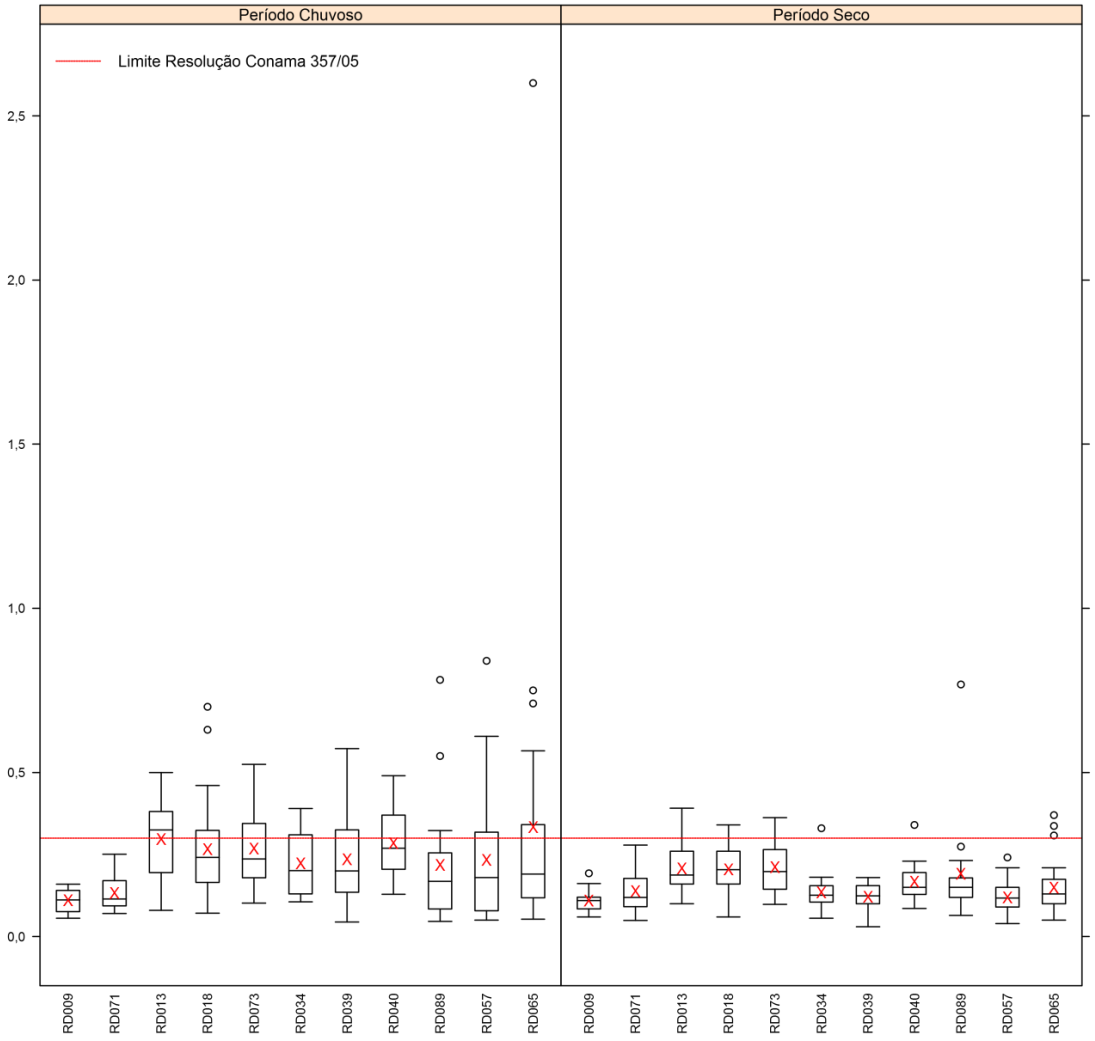
	Ferro Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,056	0,111	0,112	0,160
RD071	15	0,070	0,133	0,114	0,251
RD013	18	0,080	0,297	0,325	0,500
RD018	31	0,072	0,266	0,241	0,700
RD073	15	0,102	0,268	0,236	0,525
RD034	16	0,105	0,223	0,201	0,390
RD039	23	0,045	0,236	0,200	0,573
RD040	16	0,129	0,285	0,269	0,490
RD089	15	0,046	0,219	0,169	0,782
RD057	27	0,050	0,233	0,180	0,840
RD065	27	0,053	0,334	0,190	2,600

Ferro Dissolvido (mg/L)
Afluentes




Ferro Dissolvido (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Ferro Dissolvido (mg/L)
Afluentes



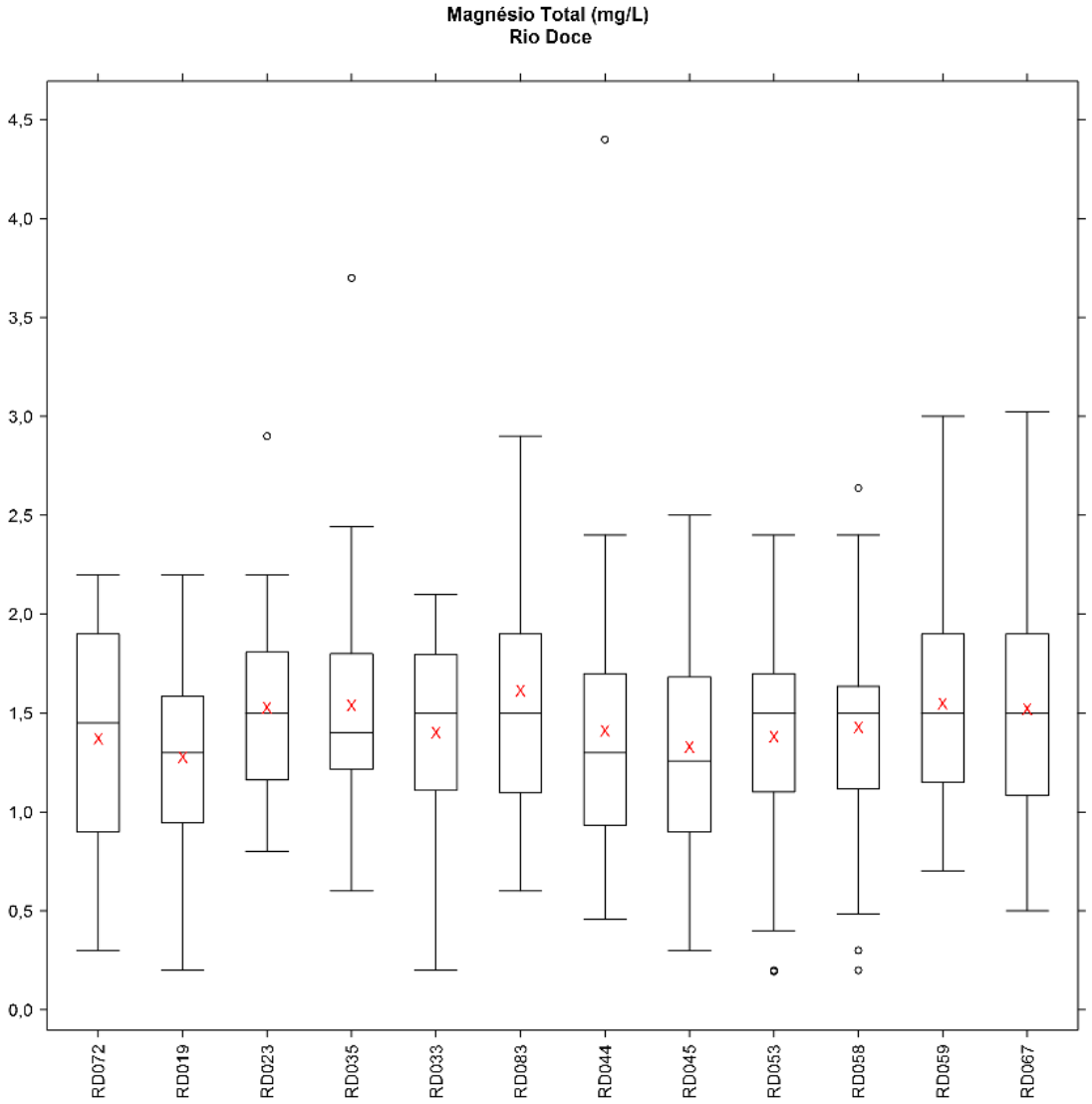
Magnésio Total

	Magnésio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,30	1,37	1,45	2,20
RD019	35	0,20	1,28	1,30	2,20
RD023	35	0,80	1,53	1,50	2,90
RD035	32	0,60	1,54	1,40	3,70
RD033	35	0,20	1,40	1,50	2,10
RD083	15	0,60	1,61	1,50	2,90
RD044	32	0,46	1,41	1,30	4,40
RD045	35	0,30	1,33	1,26	2,50
RD053	35	0,19	1,38	1,50	2,40
RD058	32	0,20	1,43	1,50	2,64
RD059	35	0,70	1,55	1,50	3,00
RD067	35	0,50	1,52	1,50	3,03

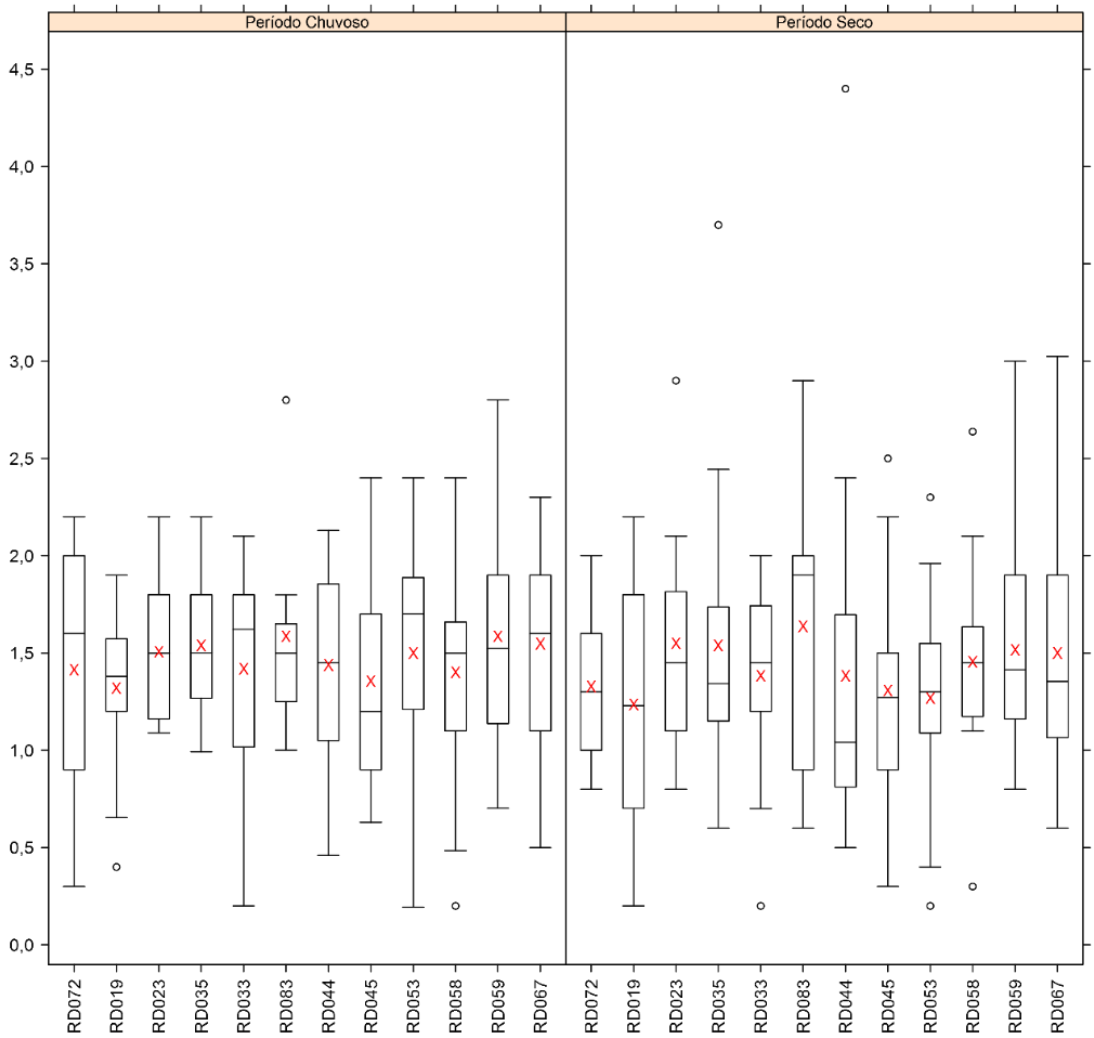
	Magnésio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,80	1,33	1,30	2,00
RD019	18	0,20	1,24	1,23	2,20
RD023	18	0,80	1,55	1,45	2,90
RD035	16	0,60	1,54	1,34	3,70
RD033	18	0,20	1,38	1,45	2,00
RD083	8	0,60	1,64	1,90	2,90
RD044	16	0,50	1,38	1,04	4,40
RD045	18	0,30	1,31	1,27	2,50
RD053	18	0,20	1,27	1,30	2,30
RD058	16	0,30	1,45	1,45	2,64
RD059	18	0,80	1,52	1,41	3,00
RD067	18	0,60	1,50	1,35	3,03

	Magnésio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,30	1,41	1,60	2,20
RD019	17	0,40	1,32	1,38	1,90
RD023	17	1,09	1,51	1,50	2,20
RD035	16	0,99	1,54	1,50	2,20
RD033	17	0,20	1,42	1,62	2,10
RD083	7	1,00	1,59	1,50	2,80
RD044	16	0,46	1,44	1,45	2,13

	Magnésio Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	0,63	1,35	1,20	2,40
RD053	17	0,19	1,50	1,70	2,40
RD058	16	0,20	1,40	1,50	2,40
RD059	17	0,70	1,58	1,52	2,80
RD067	17	0,50	1,55	1,60	2,30



Magnésio Total (mg/L)
Rio Doce

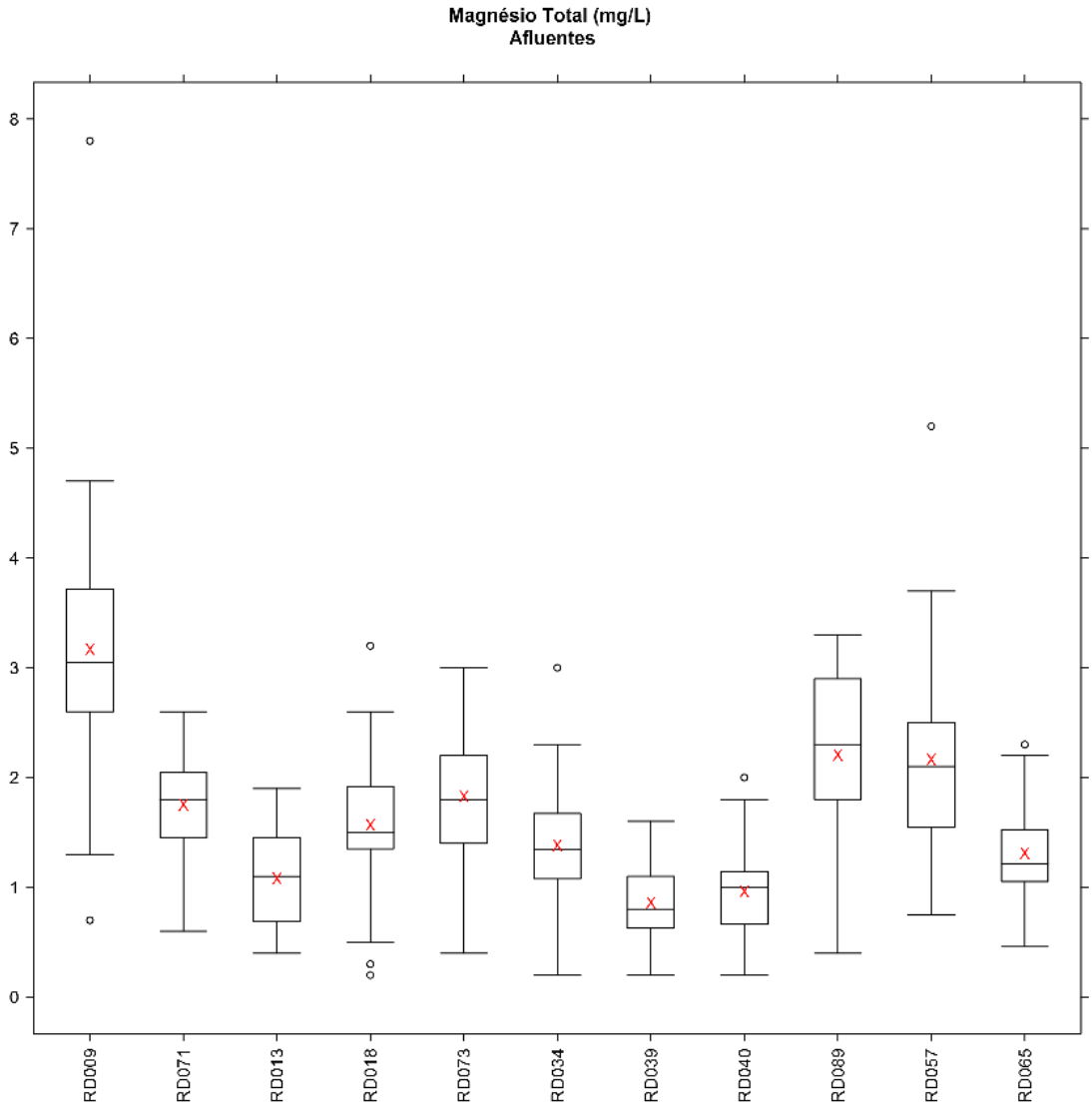


	Magnésio Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,70	3,17	3,05	7,80
RD071	15	0,60	1,75	1,80	2,60
RD013	35	0,40	1,08	1,10	1,90
RD018	32	0,20	1,57	1,50	3,20
RD073	14	0,40	1,83	1,80	3,00
RD034	32	0,20	1,38	1,34	3,00
RD039	35	0,20	0,86	0,80	1,60
RD040	32	0,20	0,96	1,00	2,00
RD089	15	0,40	2,21	2,30	3,30
RD057	35	0,75	2,16	2,10	5,20
RD065	36	0,46	1,31	1,22	2,30

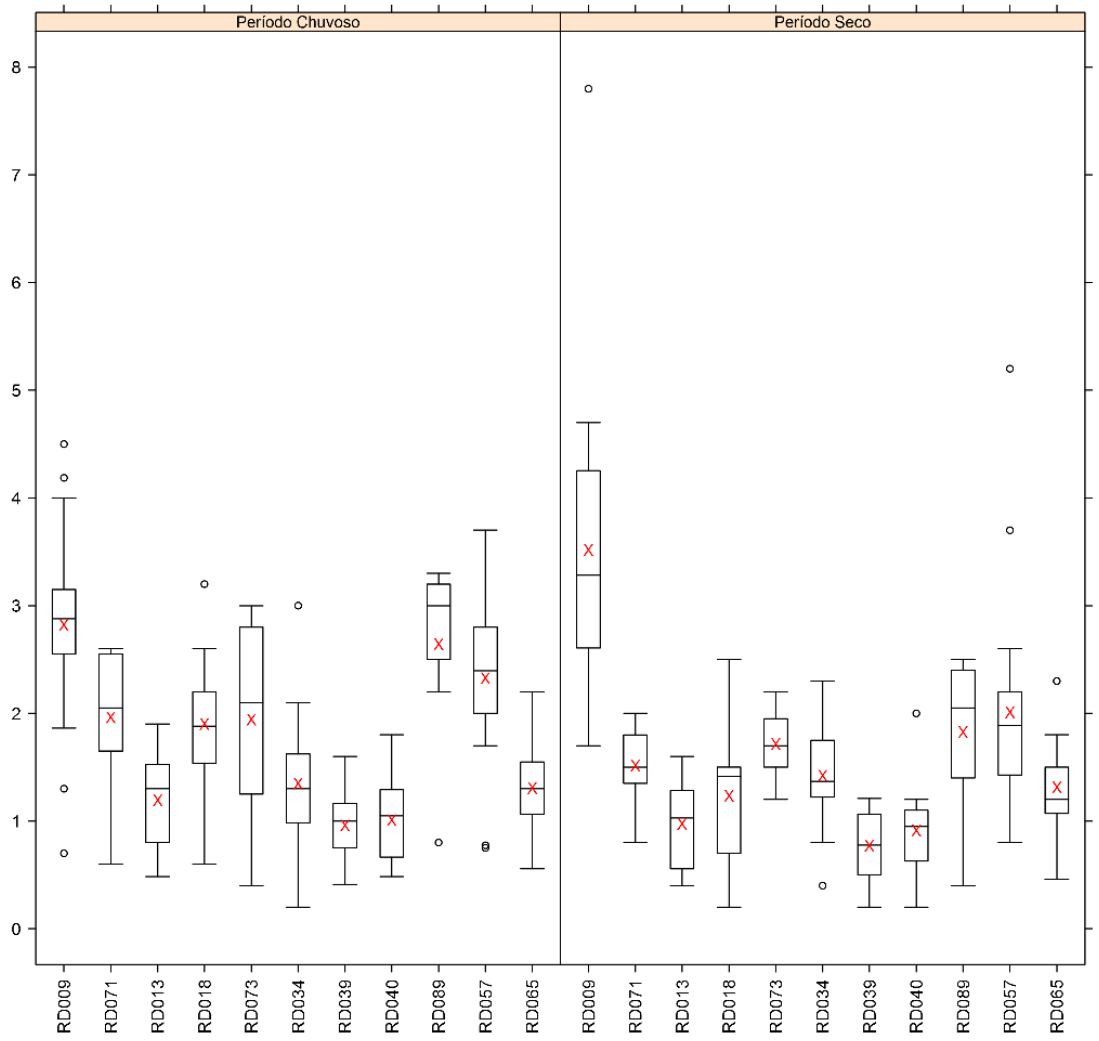
	Magnésio Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	1,70	3,52	3,28	7,80
RD071	7	0,80	1,51	1,50	2,00
RD013	18	0,40	0,97	1,03	1,60
RD018	16	0,20	1,23	1,41	2,50
RD073	7	1,20	1,71	1,70	2,20
RD034	16	0,40	1,42	1,37	2,30
RD039	18	0,20	0,77	0,78	1,21
RD040	16	0,20	0,91	0,95	2,00
RD089	8	0,40	1,83	2,05	2,50
RD057	18	0,80	2,01	1,89	5,20
RD065	19	0,46	1,31	1,20	2,30

	Magnésio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,70	2,82	2,88	4,50
RD071	8	0,60	1,96	2,05	2,60
RD013	17	0,48	1,19	1,30	1,90
RD018	16	0,60	1,90	1,88	3,20
RD073	7	0,40	1,94	2,10	3,00
RD034	16	0,20	1,35	1,30	3,00
RD039	17	0,41	0,96	1,00	1,60
RD040	16	0,48	1,01	1,05	1,80
RD089	7	0,80	2,64	3,00	3,30
RD057	17	0,75	2,33	2,40	3,70

	Magnésio Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	17	0,56	1,31	1,30	2,20



Magnésio Total (mg/L)
Afluentes



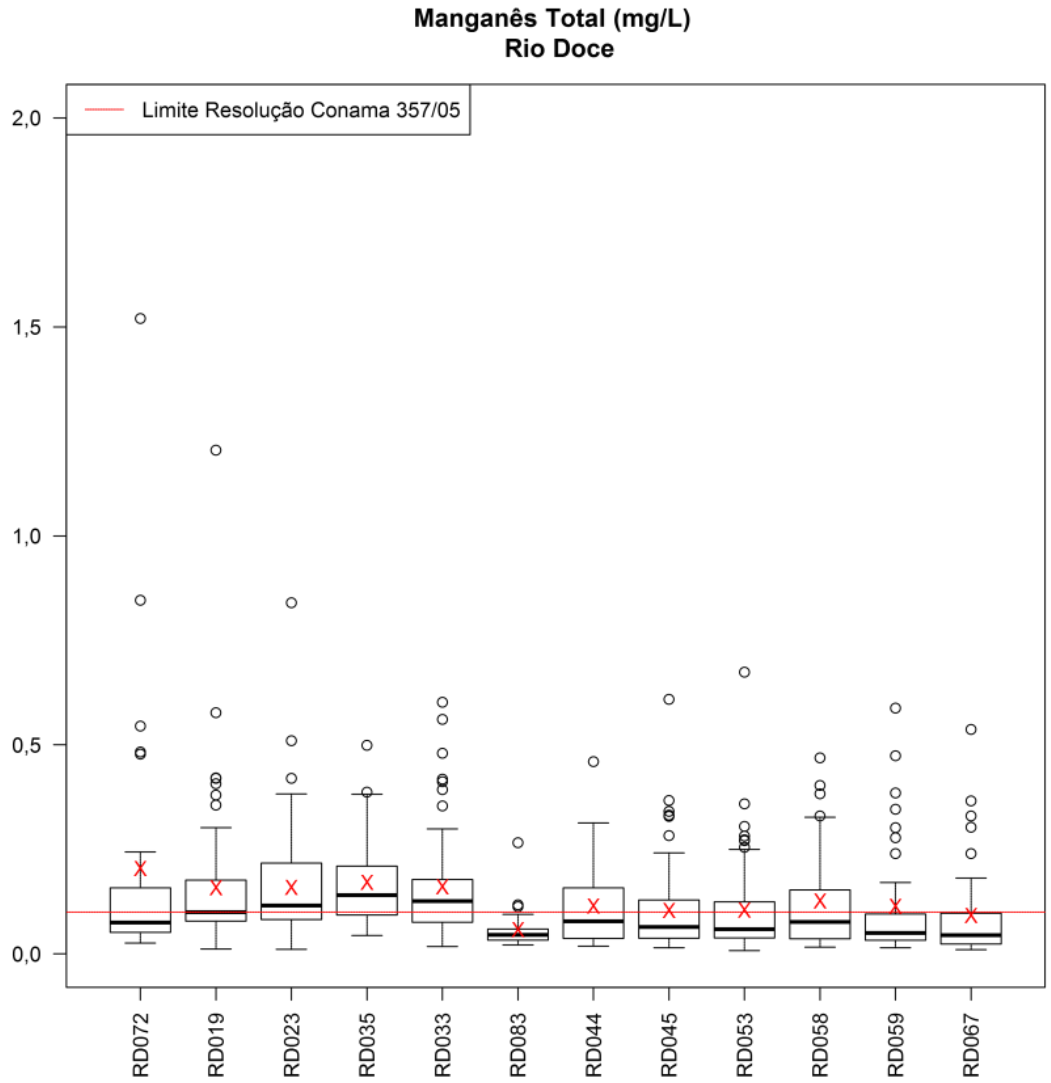
Manganês Total

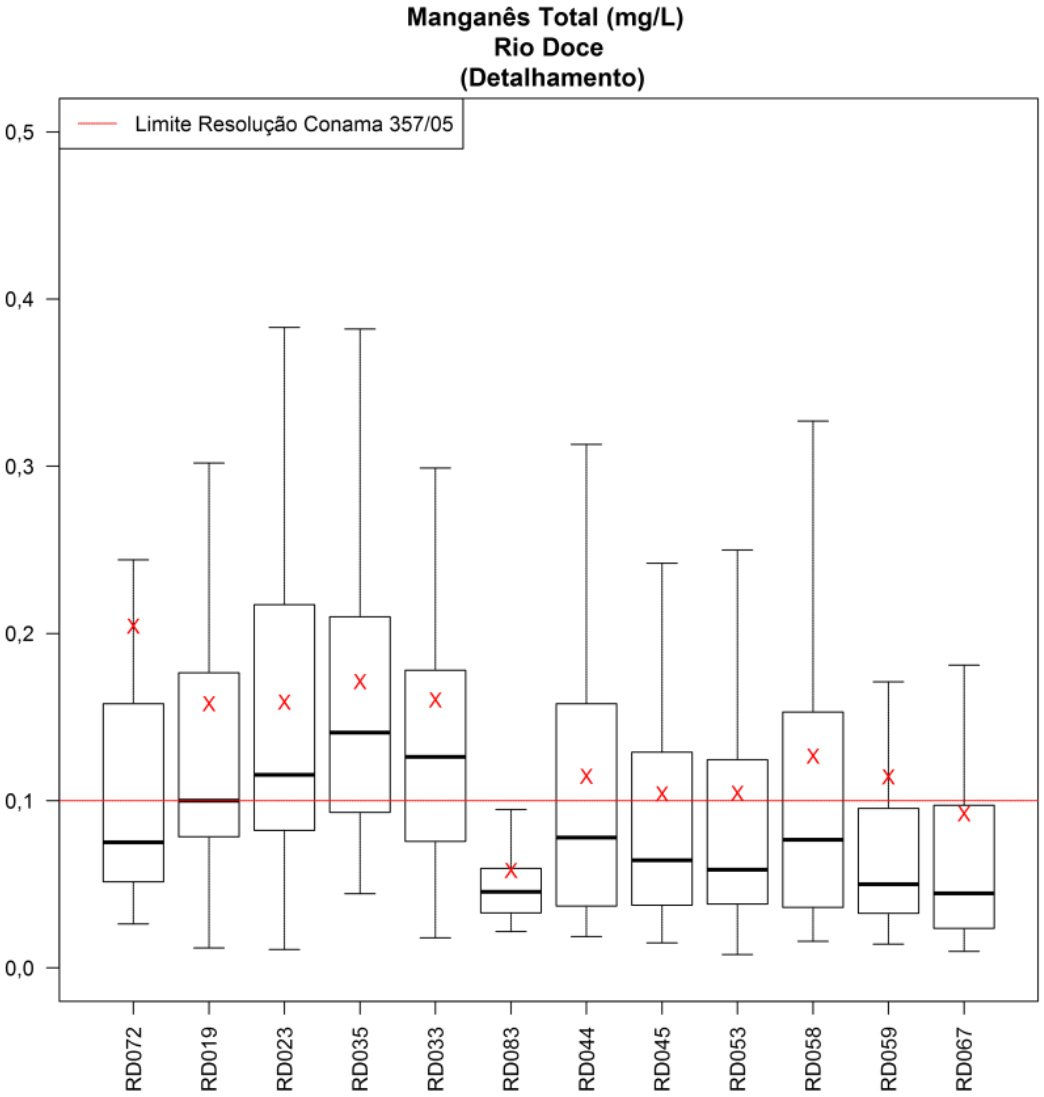
	Manganês Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,026	0,204	0,075	1,520
RD019	68	0,012	0,158	0,100	1,205
RD023	68	0,011	0,159	0,116	0,840
RD035	45	0,044	0,171	0,141	0,499
RD033	68	0,018	0,160	0,126	0,602
RD083	30	0,022	0,058	0,045	0,266
RD044	45	0,019	0,115	0,078	0,460
RD045	68	0,015	0,104	0,064	0,609
RD053	67	0,008	0,105	0,059	0,674
RD058	32	0,016	0,127	0,077	0,469
RD059	36	0,014	0,114	0,050	0,588
RD067	36	0,010	0,092	0,045	0,537

	Manganês Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,026	0,266	0,071	1,520
RD019	34	0,040	0,136	0,104	0,420
RD023	34	0,051	0,126	0,108	0,304
RD035	23	0,044	0,136	0,100	0,336
RD033	34	0,027	0,123	0,115	0,299
RD083	15	0,022	0,054	0,048	0,118
RD044	23	0,019	0,073	0,050	0,234
RD045	34	0,018	0,087	0,058	0,341
RD053	34	0,015	0,085	0,054	0,271
RD058	16	0,016	0,053	0,041	0,152
RD059	18	0,014	0,048	0,037	0,171
RD067	18	0,010	0,038	0,030	0,167

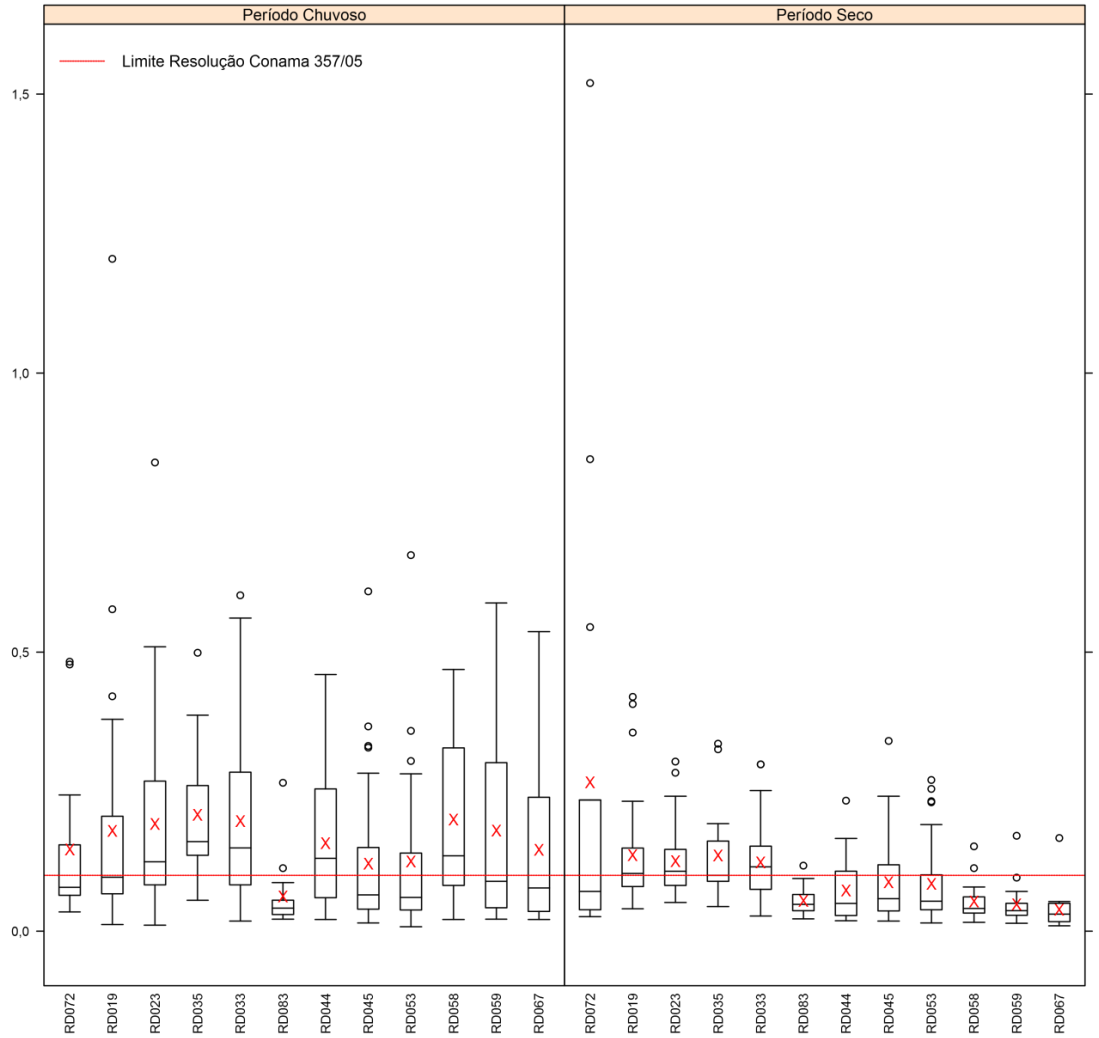
	Manganês Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,034	0,146	0,079	0,483
RD019	34	0,012	0,180	0,097	1,205
RD023	34	0,011	0,192	0,125	0,840
RD035	22	0,056	0,209	0,161	0,499
RD033	34	0,018	0,197	0,150	0,602
RD083	15	0,022	0,062	0,041	0,266
RD044	22	0,021	0,158	0,131	0,460

	Manganês Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	34	0,015	0,121	0,065	0,609
RD053	33	0,008	0,125	0,061	0,674
RD058	16	0,021	0,200	0,135	0,469
RD059	18	0,022	0,181	0,090	0,588
RD067	18	0,021	0,146	0,078	0,537




Manganês Total (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

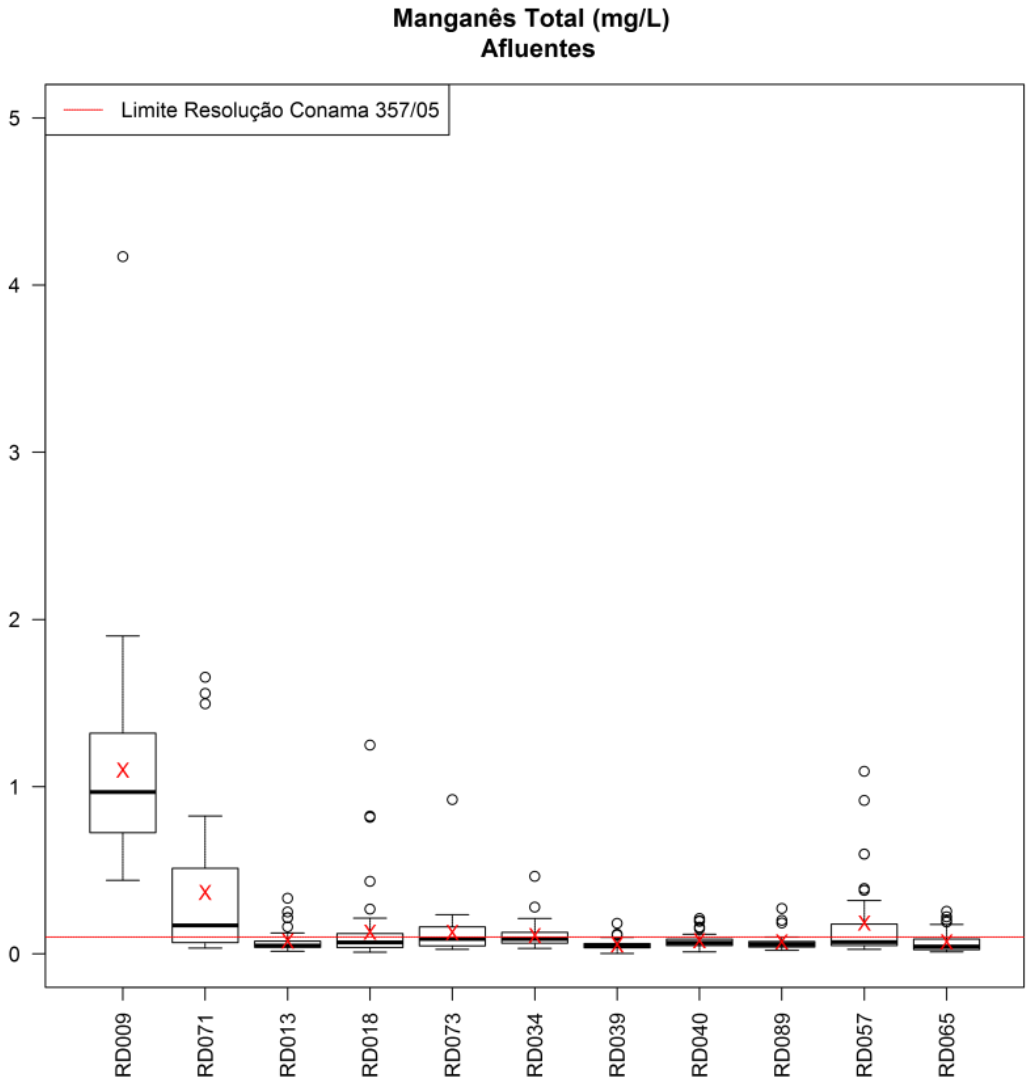
Manganês Total (mg/L)
Rio Doce

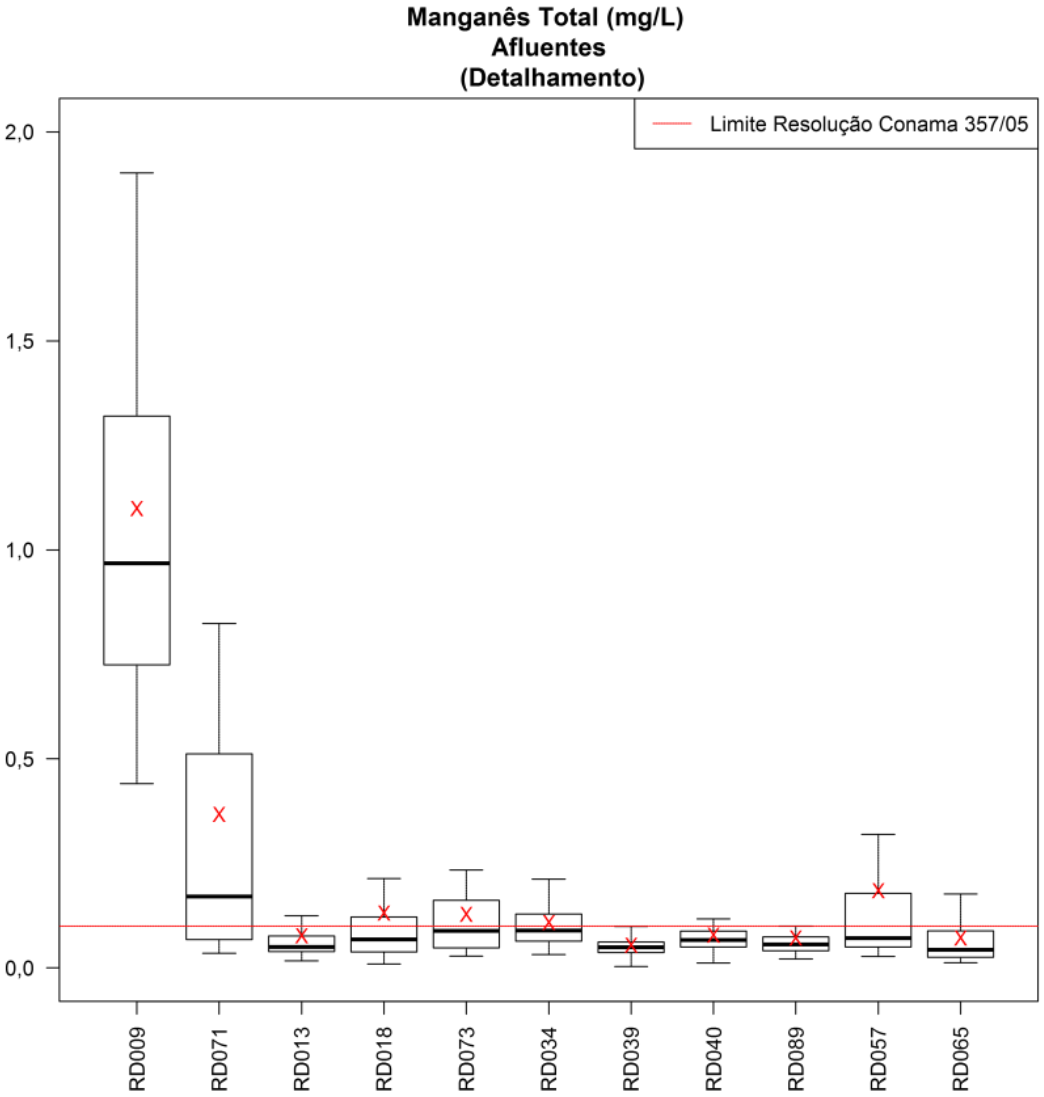


	Manganês Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	45	0,441	1,099	0,968	4,170
RD071	29	0,035	0,368	0,171	1,655
RD013	37	0,017	0,077	0,050	0,333
RD018	62	0,010	0,131	0,069	1,249
RD073	29	0,028	0,128	0,089	0,923
RD034	45	0,032	0,109	0,089	0,464
RD039	56	0,003	0,054	0,049	0,183
RD040	45	0,012	0,079	0,067	0,212
RD089	30	0,022	0,072	0,057	0,272
RD057	36	0,028	0,184	0,071	1,092
RD065	36	0,013	0,071	0,043	0,255

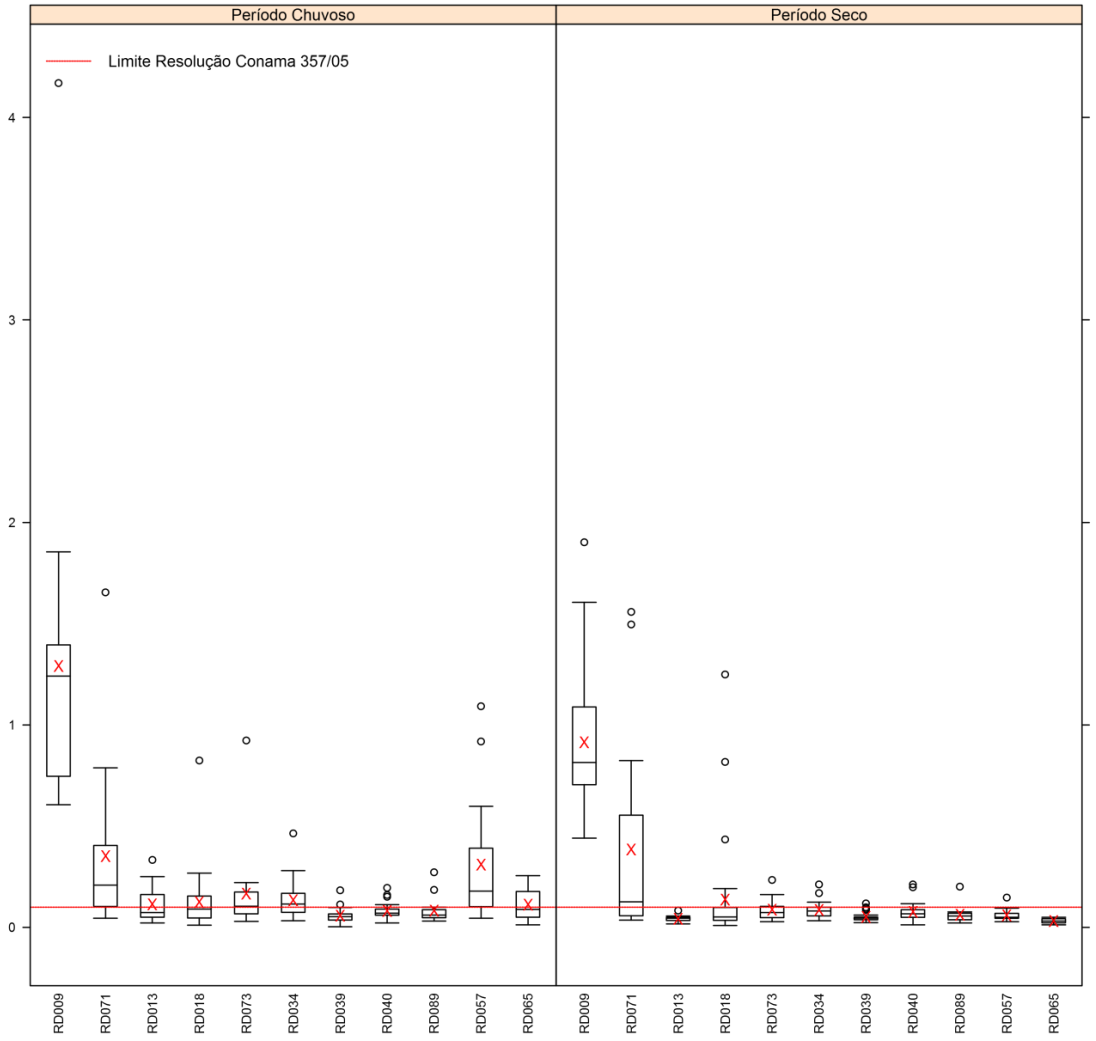
	Manganês Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	23	0,441	0,915	0,815	1,902
RD071	14	0,035	0,385	0,126	1,558
RD013	19	0,017	0,042	0,045	0,083
RD018	31	0,010	0,137	0,052	1,249
RD073	14	0,028	0,086	0,074	0,234
RD034	23	0,032	0,085	0,080	0,212
RD039	28	0,023	0,051	0,045	0,118
RD040	23	0,012	0,076	0,067	0,212
RD089	15	0,022	0,062	0,056	0,201
RD057	18	0,028	0,060	0,050	0,147
RD065	18	0,013	0,032	0,031	0,050

	Manganês Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	22	0,606	1,291	1,242	4,170
RD071	15	0,044	0,351	0,209	1,655
RD013	18	0,021	0,114	0,073	0,333
RD018	31	0,011	0,125	0,090	0,824
RD073	15	0,030	0,167	0,104	0,923
RD034	22	0,032	0,133	0,115	0,464
RD039	28	0,003	0,057	0,053	0,183
RD040	22	0,021	0,082	0,070	0,195
RD089	15	0,030	0,082	0,060	0,272
RD057	18	0,045	0,309	0,178	1,092
RD065	18	0,013	0,111	0,089	0,255


Manganês Total (mg/L)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
5
4
3
2
1
0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065


Manganês Total (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Manganês Total (mg/L)
Afluentes



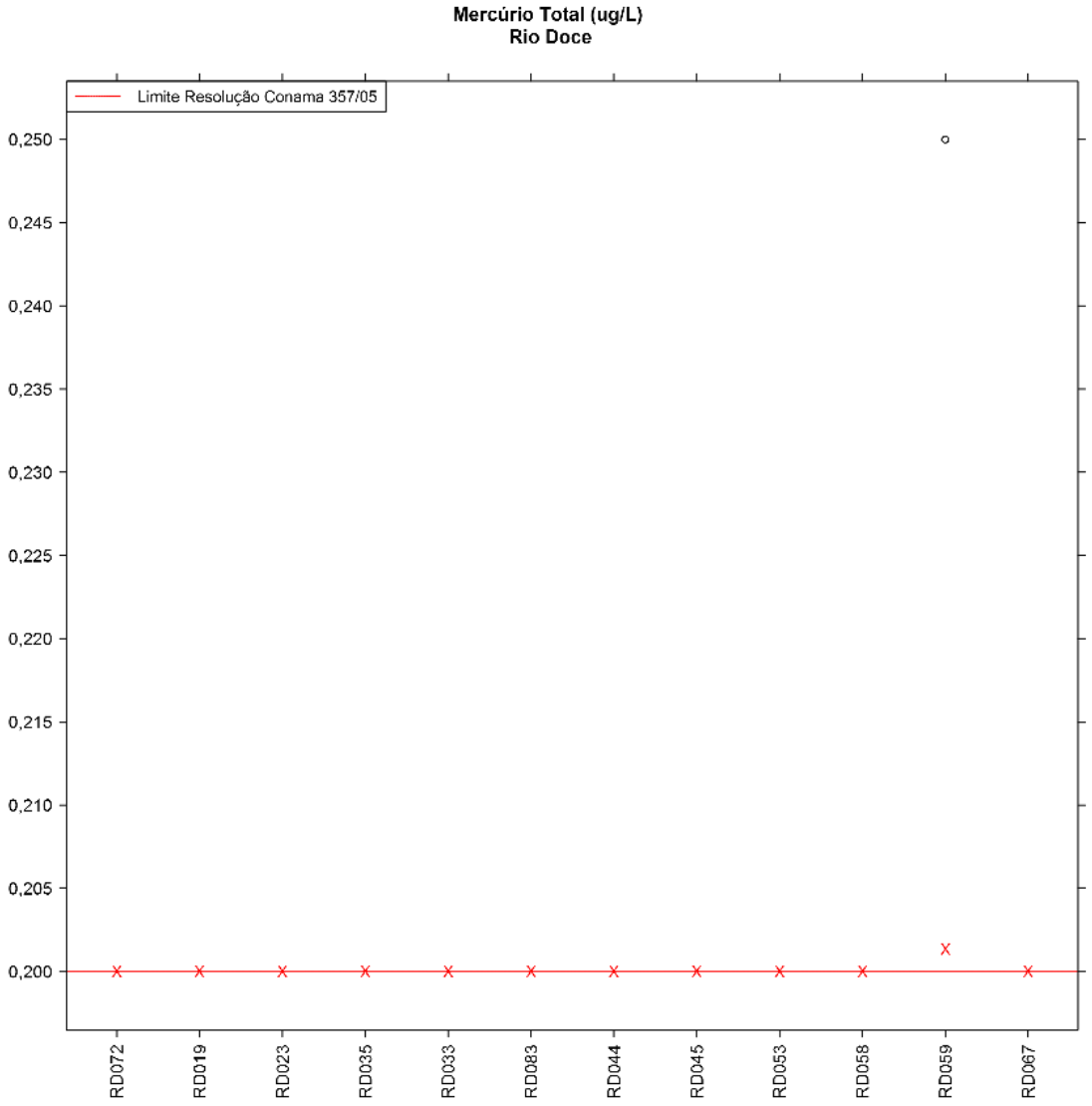
Mercúrio Total

	Mercúrio Total (µg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,2	0,2	0,2	0,2
RD019	36	0,2	0,2	0,2	0,2
RD023	36	0,2	0,2	0,2	0,2
RD035	33	0,2	0,2	0,2	0,2
RD033	37	0,2	0,2	0,2	0,2
RD083	15	0,2	0,2	0,2	0,2
RD044	32	0,2	0,2	0,2	0,2
RD045	37	0,2	0,2	0,2	0,2
RD053	36	0,2	0,2	0,2	0,2
RD058	32	0,2	0,2	0,2	0,2
RD059	37	0,2	0,2	0,2	0,3
RD067	35	0,2	0,2	0,2	0,2

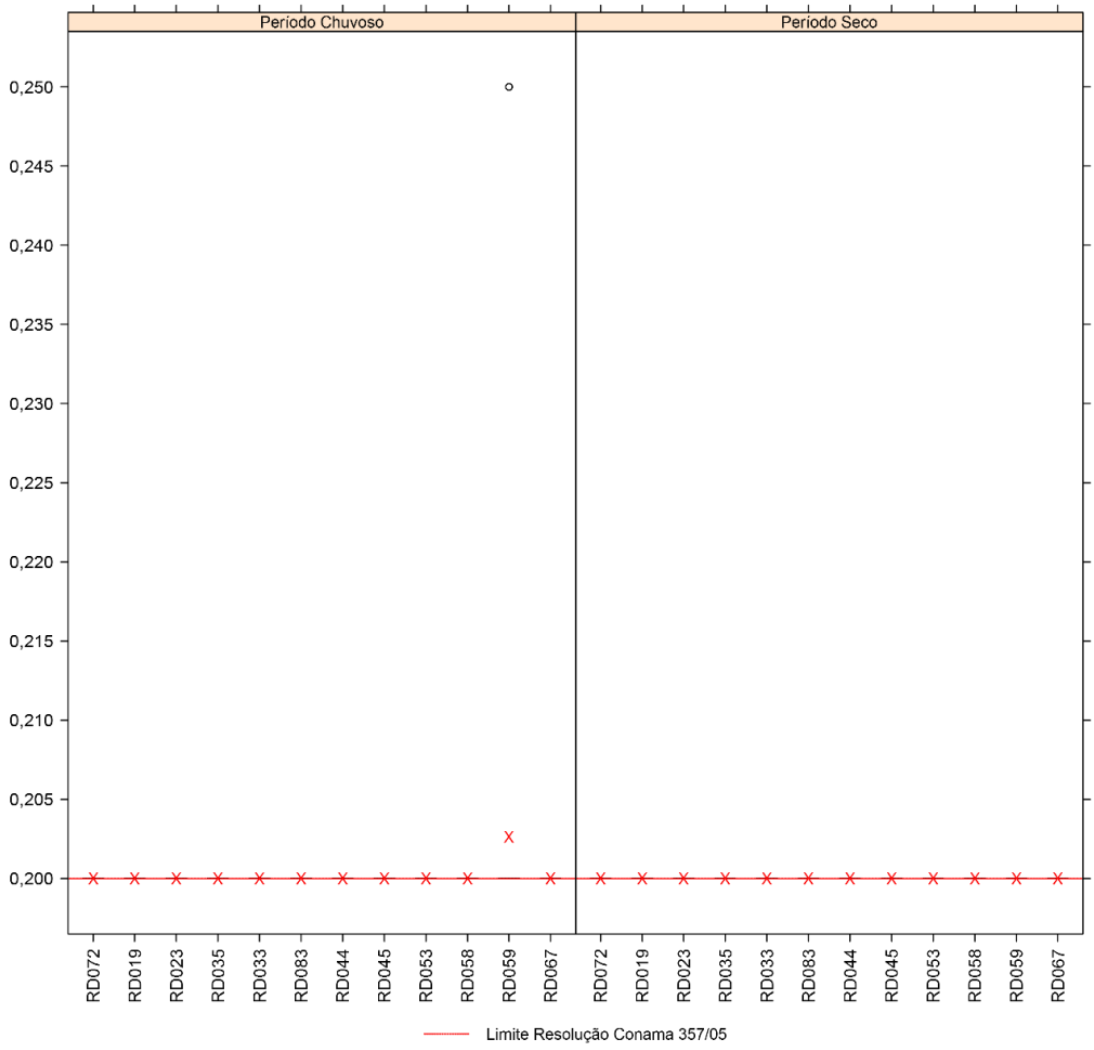
	Mercúrio Total (µg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,2	0,2	0,2	0,2
RD019	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD023	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD035	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD033	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD083	8	0,2	0,2	0,2	0,2
RD044	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD045	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD053	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD058	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD059	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD067	18	0,2	0,2	0,2	0,2

	Mercúrio Total (µg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,2	0,2	0,2	0,2
RD019	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD023	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD035	17	0,2	0,2	0,2	0,2
RD033	19	0,2	0,2	0,2	0,2
RD083	7	0,2	0,2	0,2	0,2
RD044	16	0,2	0,2	0,2	0,2

	Mercúrio Total (µg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	19	0,2	0,2	0,2	0,2
RD053	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD058	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD059	19	0,2	0,2	0,2	0,3
RD067	17	0,2	0,2	0,2	0,2



Mercúrio Total (ug/L)
Rio Doce

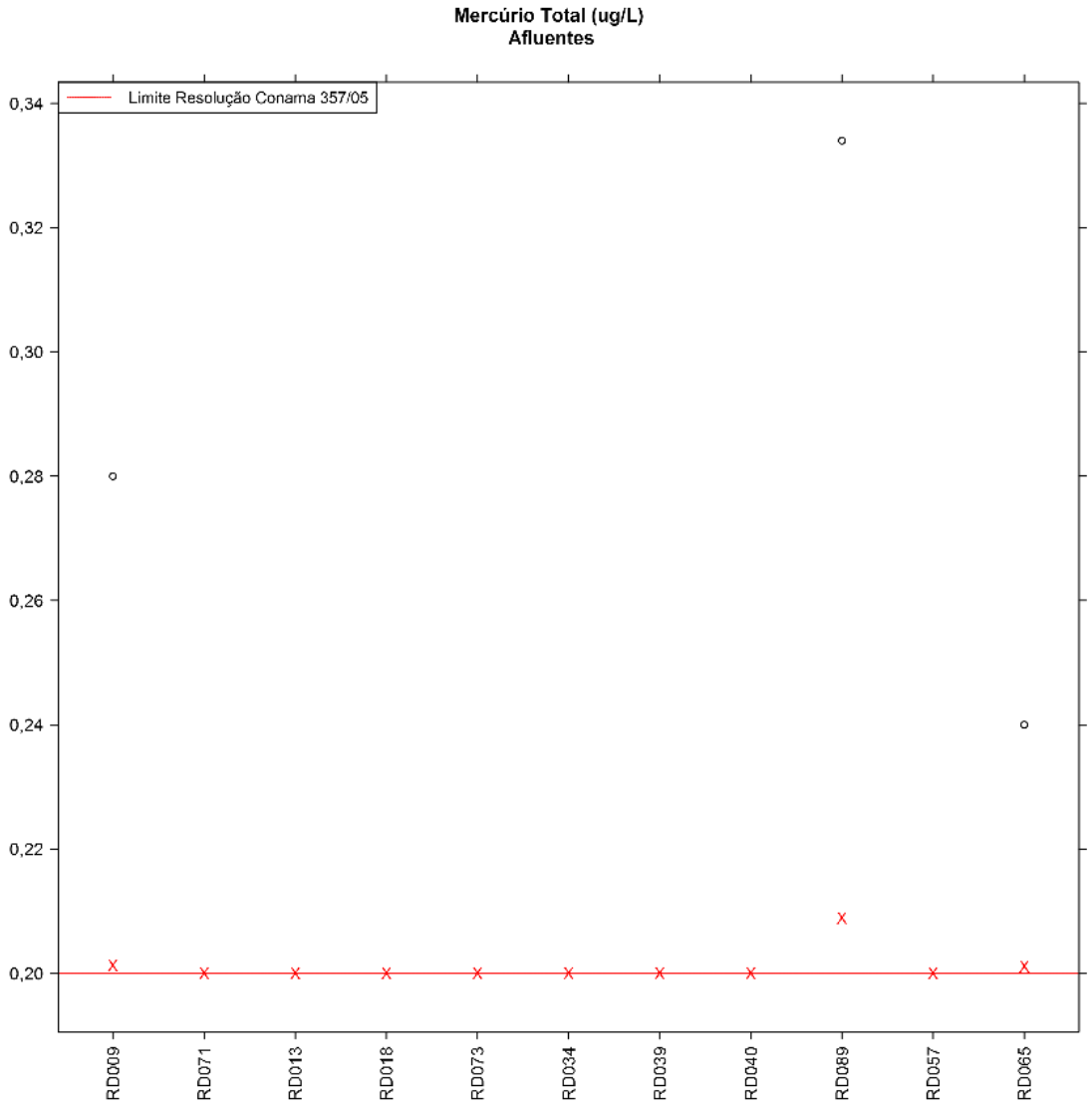


	Mercúrio Total (µg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	63	0,2	0,2	0,2	0,3
RD071	29	0,2	0,2	0,2	0,2
RD013	36	0,2	0,2	0,2	0,2
RD018	32	0,2	0,2	0,2	0,2
RD073	29	0,2	0,2	0,2	0,2
RD034	32	0,2	0,2	0,2	0,2
RD039	35	0,2	0,2	0,2	0,2
RD040	32	0,2	0,2	0,2	0,2
RD089	15	0,2	0,2	0,2	0,3
RD057	37	0,2	0,2	0,2	0,2
RD065	36	0,2	0,2	0,2	0,2

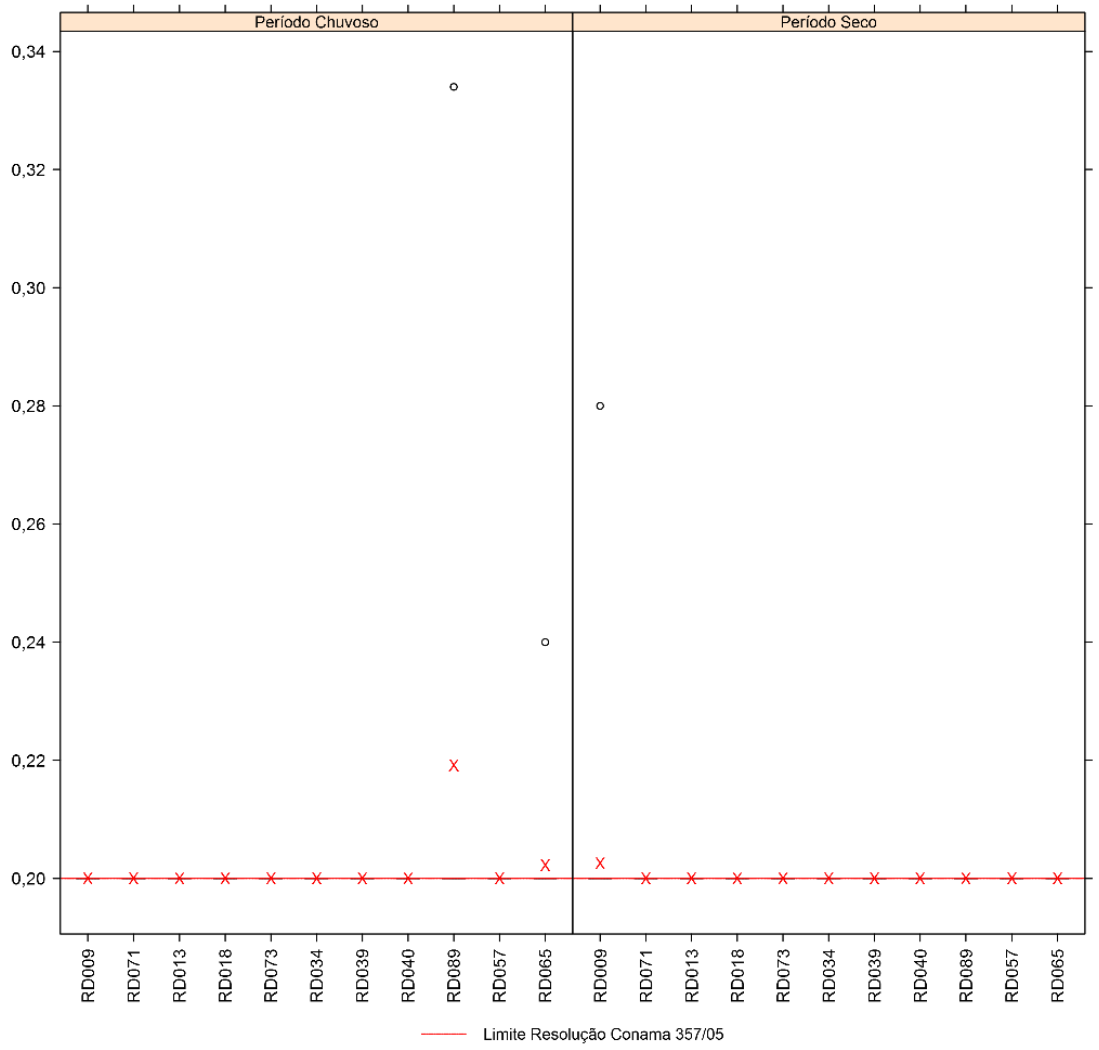
	Mercúrio Total (µg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	31	0,2	0,2	0,2	0,3
RD071	14	0,2	0,2	0,2	0,2
RD013	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD018	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD073	14	0,2	0,2	0,2	0,2
RD034	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD039	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD040	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD089	8	0,2	0,2	0,2	0,2
RD057	19	0,2	0,2	0,2	0,2
RD065	18	0,2	0,2	0,2	0,2

	Mercúrio Total (µg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,2	0,2	0,2	0,2
RD071	15	0,2	0,2	0,2	0,2
RD013	18	0,2	0,2	0,2	0,2
RD018	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD073	15	0,2	0,2	0,2	0,2
RD034	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD039	17	0,2	0,2	0,2	0,2
RD040	16	0,2	0,2	0,2	0,2
RD089	7	0,2	0,2	0,2	0,3
RD057	18	0,2	0,2	0,2	0,2

	Mercúrio Total (µg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	18	0,2	0,2	0,2	0,2



Mercúrio Total (ug/L)
Afluentes



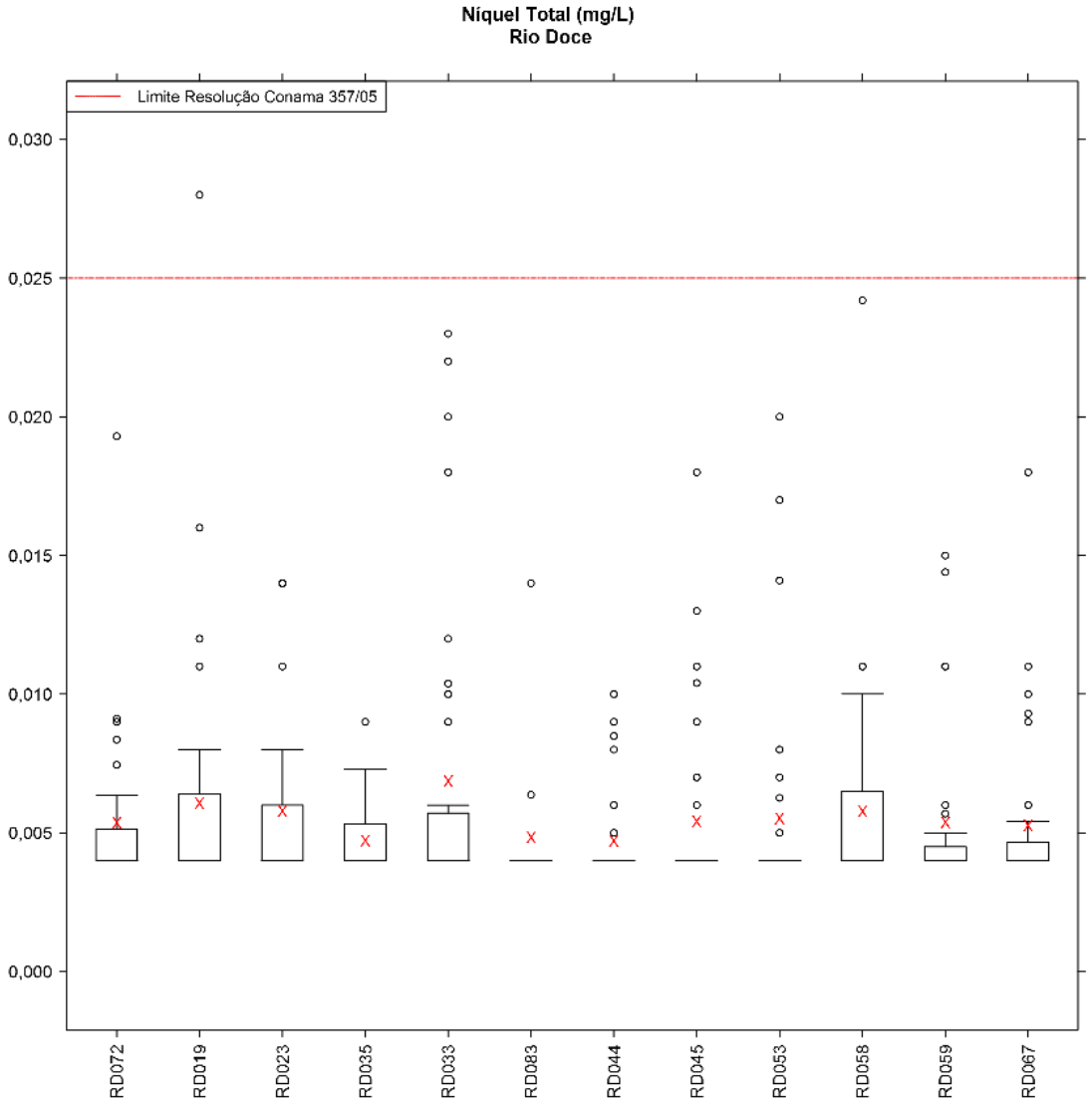
Níquel Total

	Níquel Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,004	0,005	0,004	0,019
RD019	36	0,004	0,006	0,004	0,028
RD023	36	0,004	0,006	0,004	0,014
RD035	32	0,004	0,005	0,004	0,009
RD033	35	0,004	0,007	0,004	0,023
RD083	15	0,004	0,005	0,004	0,014
RD044	32	0,004	0,005	0,004	0,010
RD045	35	0,004	0,005	0,004	0,018
RD053	35	0,004	0,006	0,004	0,020
RD058	32	0,004	0,006	0,004	0,024
RD059	35	0,004	0,005	0,004	0,015
RD067	35	0,004	0,005	0,004	0,018

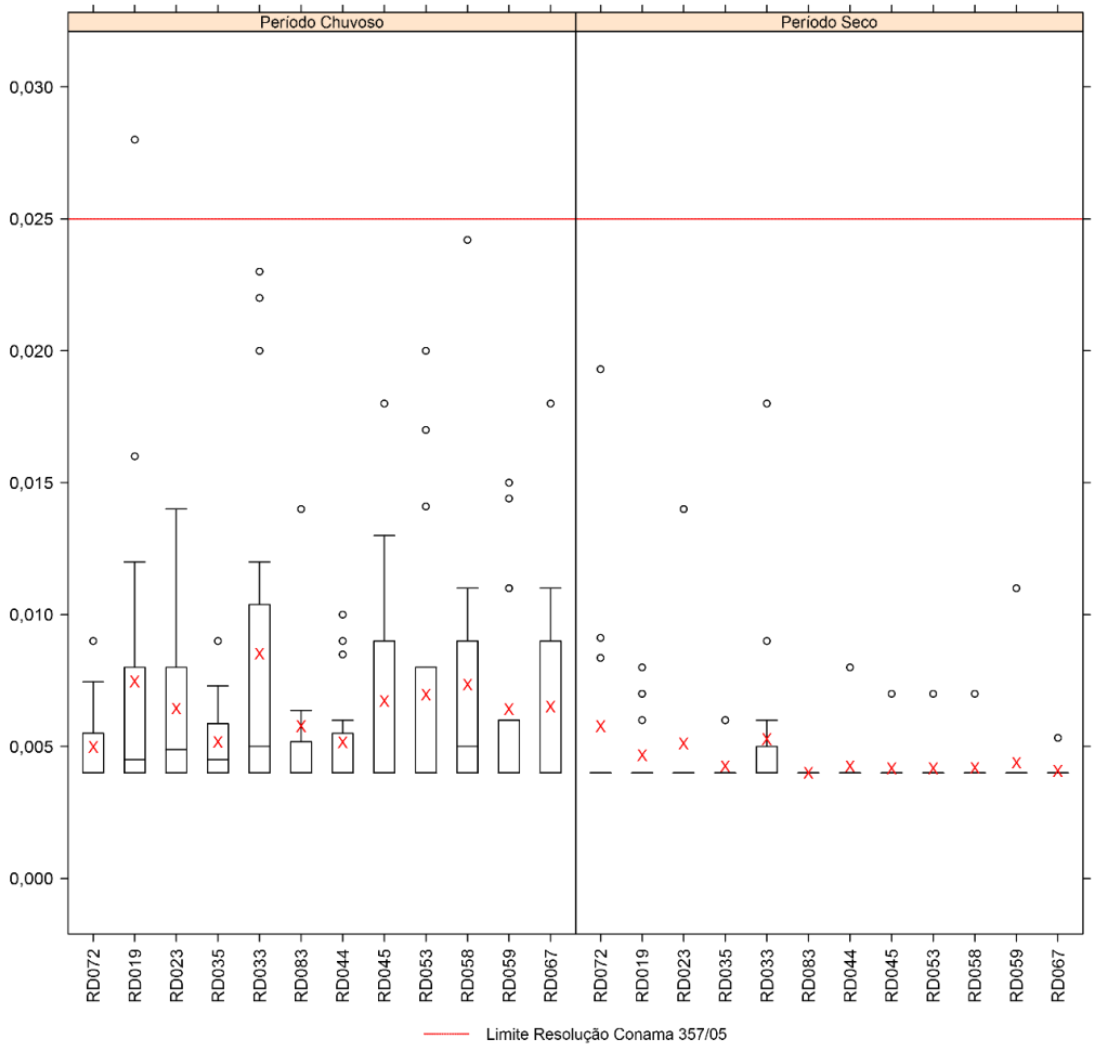
	Níquel Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,004	0,006	0,004	0,019
RD019	18	0,004	0,005	0,004	0,008
RD023	18	0,004	0,005	0,004	0,014
RD035	16	0,004	0,004	0,004	0,006
RD033	18	0,004	0,005	0,004	0,018
RD083	8	0,004	0,004	0,004	0,004
RD044	16	0,004	0,004	0,004	0,008
RD045	18	0,004	0,004	0,004	0,007
RD053	18	0,004	0,004	0,004	0,007
RD058	16	0,004	0,004	0,004	0,007
RD059	18	0,004	0,004	0,004	0,011
RD067	18	0,004	0,004	0,004	0,005

	Níquel Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,004	0,005	0,004	0,009
RD019	18	0,004	0,007	0,005	0,028
RD023	18	0,004	0,006	0,005	0,014
RD035	16	0,004	0,005	0,005	0,009
RD033	17	0,004	0,009	0,005	0,023
RD083	7	0,004	0,006	0,004	0,014
RD044	16	0,004	0,005	0,004	0,010

	Níquel Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	0,004	0,007	0,004	0,018
RD053	17	0,004	0,007	0,004	0,020
RD058	16	0,004	0,007	0,005	0,024
RD059	17	0,004	0,006	0,004	0,015
RD067	17	0,004	0,007	0,004	0,018



Níquel Total (mg/L)
Rio Doce

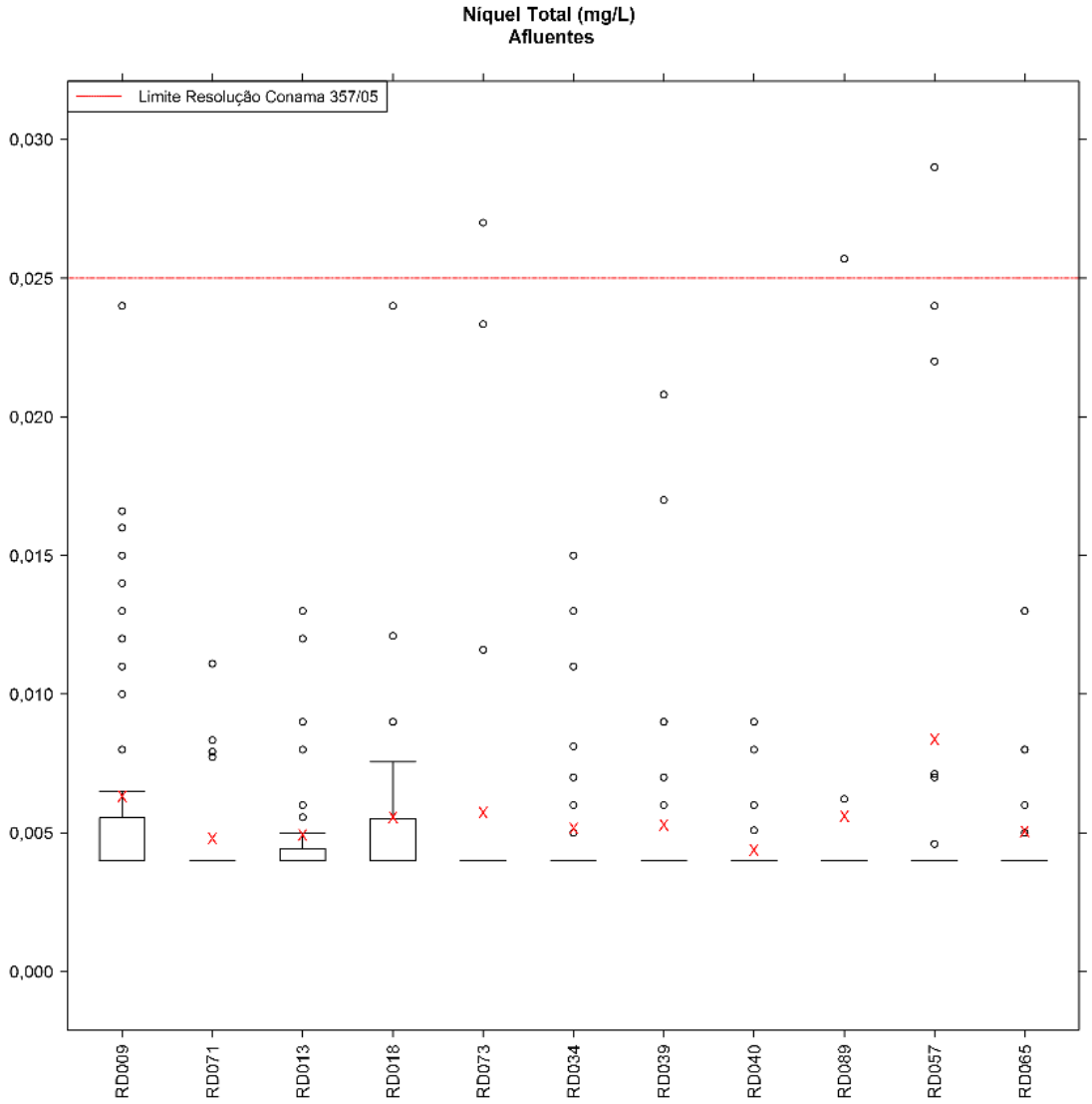


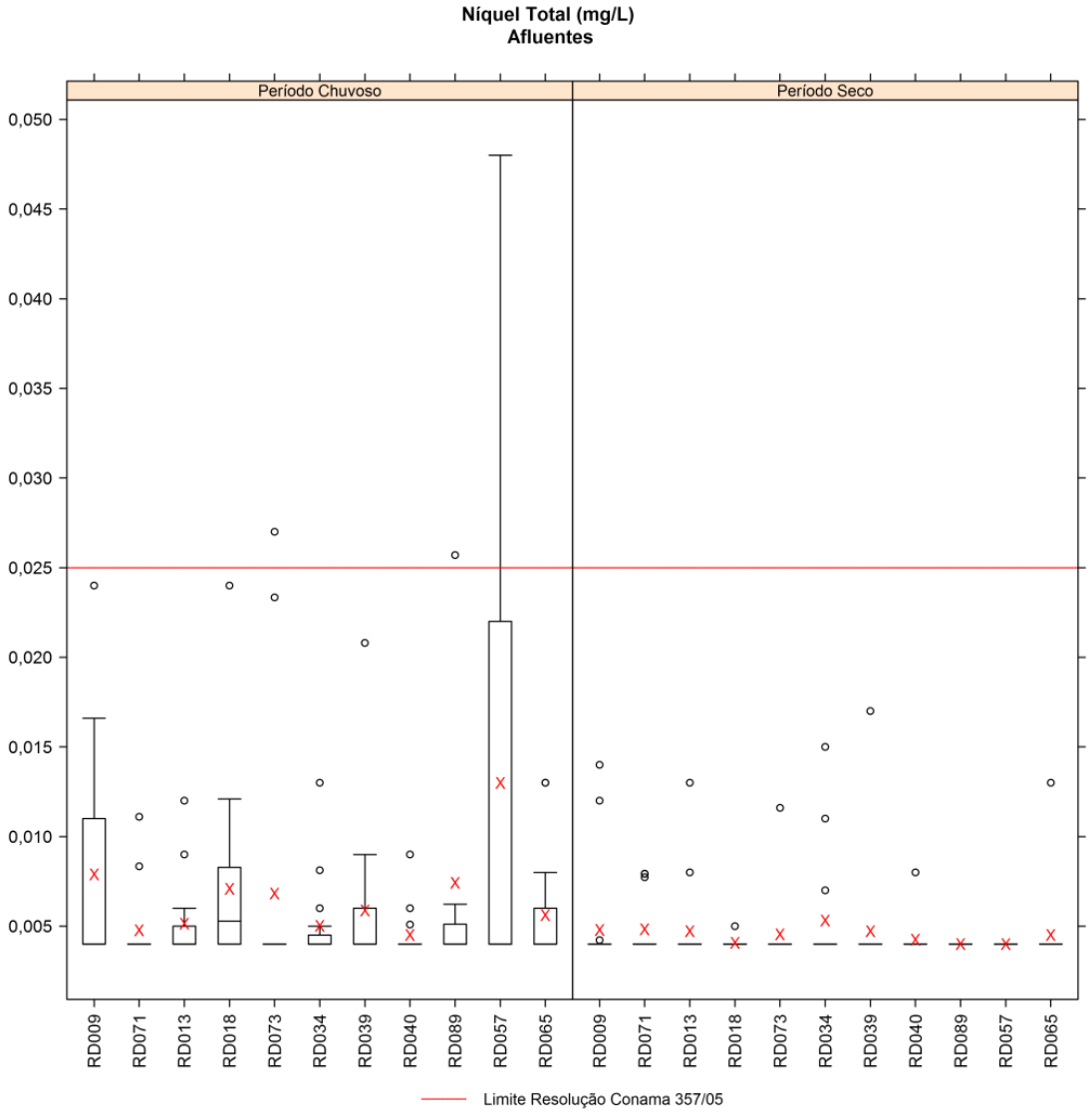
	Níquel Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	45	0,004	0,006	0,004	0,024
RD071	29	0,004	0,005	0,004	0,011
RD013	35	0,004	0,005	0,004	0,013
RD018	32	0,004	0,006	0,004	0,024
RD073	29	0,004	0,006	0,004	0,027
RD034	32	0,004	0,005	0,004	0,015
RD039	35	0,004	0,005	0,004	0,021
RD040	32	0,004	0,004	0,004	0,009
RD089	15	0,004	0,006	0,004	0,026
RD057	35	0,004	0,008	0,004	0,048
RD065	36	0,004	0,005	0,004	0,013

	Níquel Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	23	0,004	0,005	0,004	0,014
RD071	14	0,004	0,005	0,004	0,008
RD013	18	0,004	0,005	0,004	0,013
RD018	16	0,004	0,004	0,004	0,005
RD073	14	0,004	0,005	0,004	0,012
RD034	16	0,004	0,005	0,004	0,015
RD039	18	0,004	0,005	0,004	0,017
RD040	16	0,004	0,004	0,004	0,008
RD089	8	0,004	0,004	0,004	0,004
RD057	18	0,004	0,004	0,004	0,004
RD065	18	0,004	0,005	0,004	0,013

	Níquel Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	22	0,004	0,008	0,004	0,024
RD071	15	0,004	0,005	0,004	0,011
RD013	17	0,004	0,005	0,004	0,012
RD018	16	0,004	0,007	0,005	0,024
RD073	15	0,004	0,007	0,004	0,027
RD034	16	0,004	0,005	0,004	0,013
RD039	17	0,004	0,006	0,004	0,021
RD040	16	0,004	0,005	0,004	0,009
RD089	7	0,004	0,007	0,004	0,026
RD057	17	0,004	0,013	0,004	0,048

	Níquel Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	18	0,004	0,006	0,004	0,013




Níquel Total (mg/L)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
0,050
0,045
0,040
0,035
0,030
0,025
0,020
0,015
0,010
0,005
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
Limite Resolução Conama 357/05

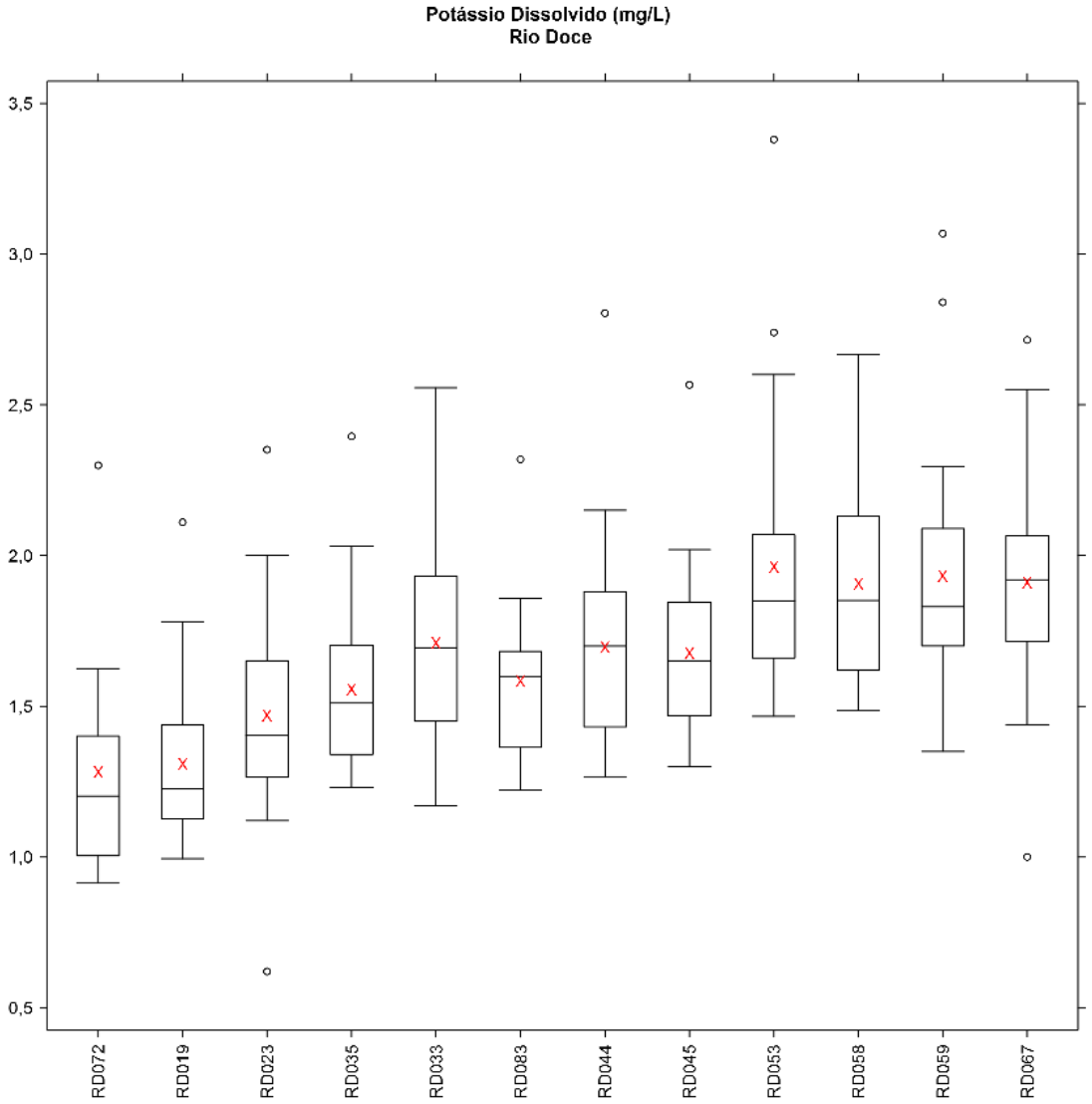
Potássio Dissolvido

	Potássio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,91	1,28	1,20	2,30
RD019	35	0,99	1,31	1,23	2,11
RD023	35	0,62	1,47	1,40	2,35
RD035	32	1,23	1,56	1,51	2,40
RD033	35	1,17	1,71	1,69	2,56
RD083	15	1,22	1,58	1,60	2,32
RD044	32	1,27	1,70	1,70	2,80
RD045	35	1,30	1,68	1,65	2,57
RD053	35	1,47	1,96	1,85	3,38
RD058	32	1,49	1,91	1,85	2,67
RD059	35	1,35	1,93	1,83	3,07
RD067	35	1,00	1,91	1,92	2,72

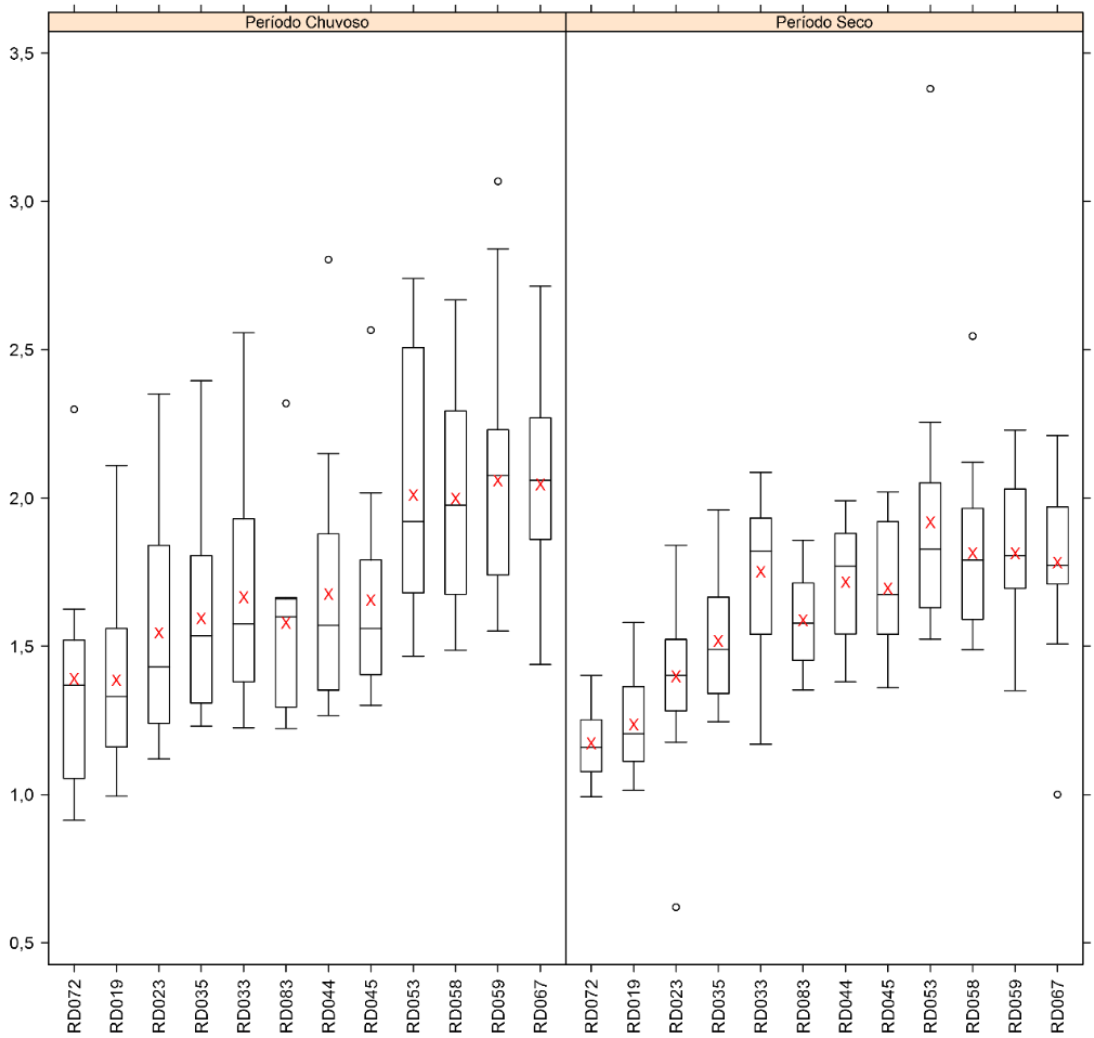
	Potássio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,99	1,17	1,16	1,40
RD019	18	1,01	1,24	1,21	1,58
RD023	18	0,62	1,40	1,40	1,84
RD035	16	1,25	1,52	1,49	1,96
RD033	18	1,17	1,75	1,82	2,09
RD083	8	1,35	1,59	1,58	1,86
RD044	16	1,38	1,72	1,77	1,99
RD045	18	1,36	1,69	1,68	2,02
RD053	18	1,52	1,92	1,83	3,38
RD058	16	1,49	1,81	1,79	2,55
RD059	18	1,35	1,81	1,81	2,23
RD067	18	1,00	1,78	1,77	2,21

	Potássio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	0,91	1,39	1,37	2,30
RD019	17	0,99	1,39	1,33	2,11
RD023	17	1,12	1,54	1,43	2,35
RD035	16	1,23	1,59	1,54	2,40
RD033	17	1,23	1,66	1,58	2,56
RD083	7	1,22	1,58	1,60	2,32
RD044	16	1,27	1,68	1,57	2,80

	Potássio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	17	1,30	1,66	1,56	2,57
RD053	17	1,47	2,01	1,92	2,74
RD058	16	1,49	2,00	1,98	2,67
RD059	17	1,55	2,06	2,08	3,07
RD067	17	1,44	2,05	2,06	2,72



Potássio Dissolvido (mg/L)
Rio Doce

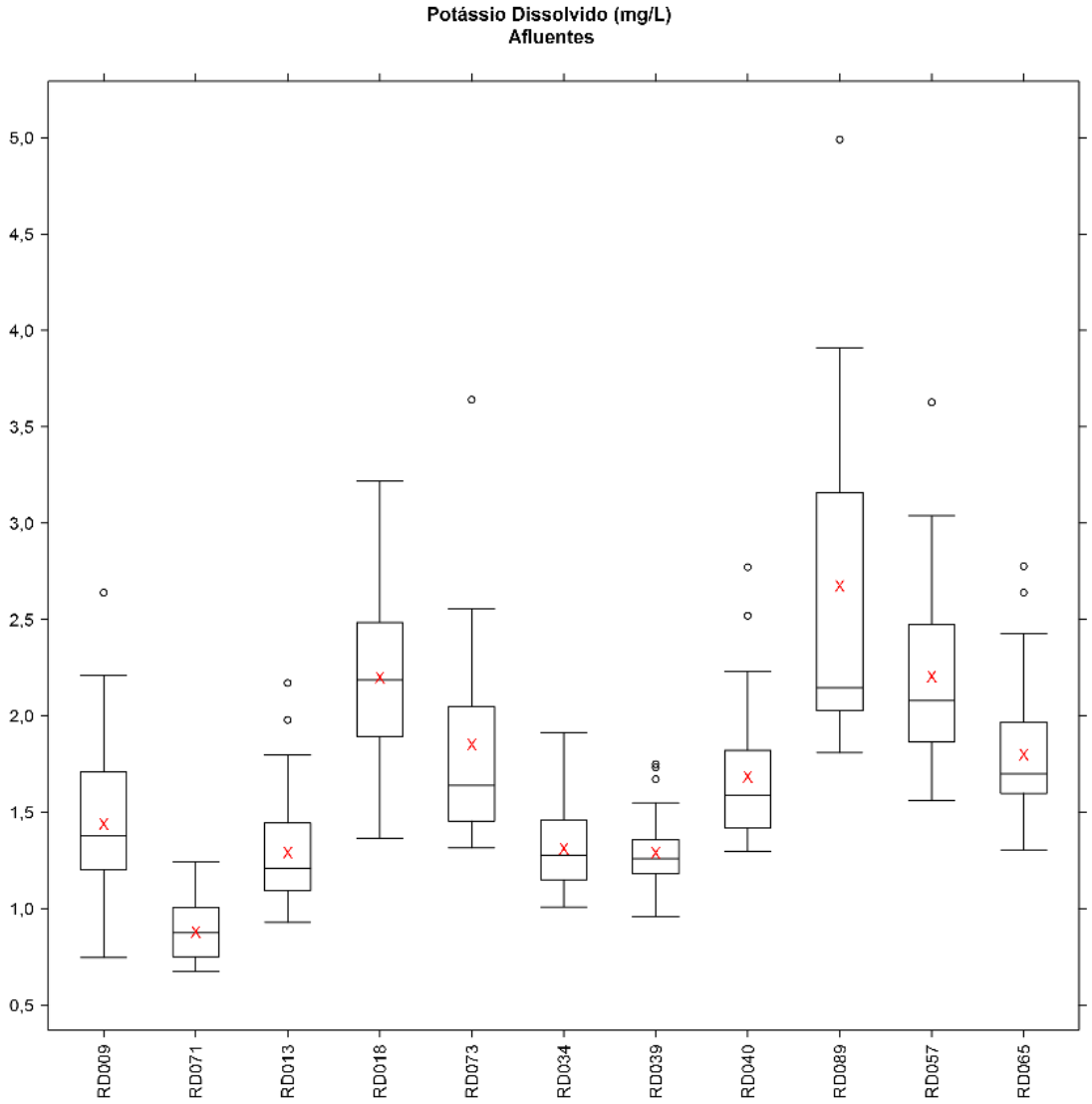


	Potássio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,75	1,44	1,38	2,64
RD071	14	0,68	0,88	0,88	1,24
RD013	35	0,93	1,29	1,21	2,17
RD018	32	1,37	2,20	2,19	3,22
RD073	14	1,32	1,85	1,64	3,64
RD034	32	1,01	1,31	1,28	1,92
RD039	35	0,96	1,29	1,26	1,75
RD040	32	1,30	1,69	1,59	2,77
RD089	15	1,81	2,67	2,15	4,99
RD057	35	1,56	2,21	2,08	3,63
RD065	35	1,30	1,80	1,70	2,78

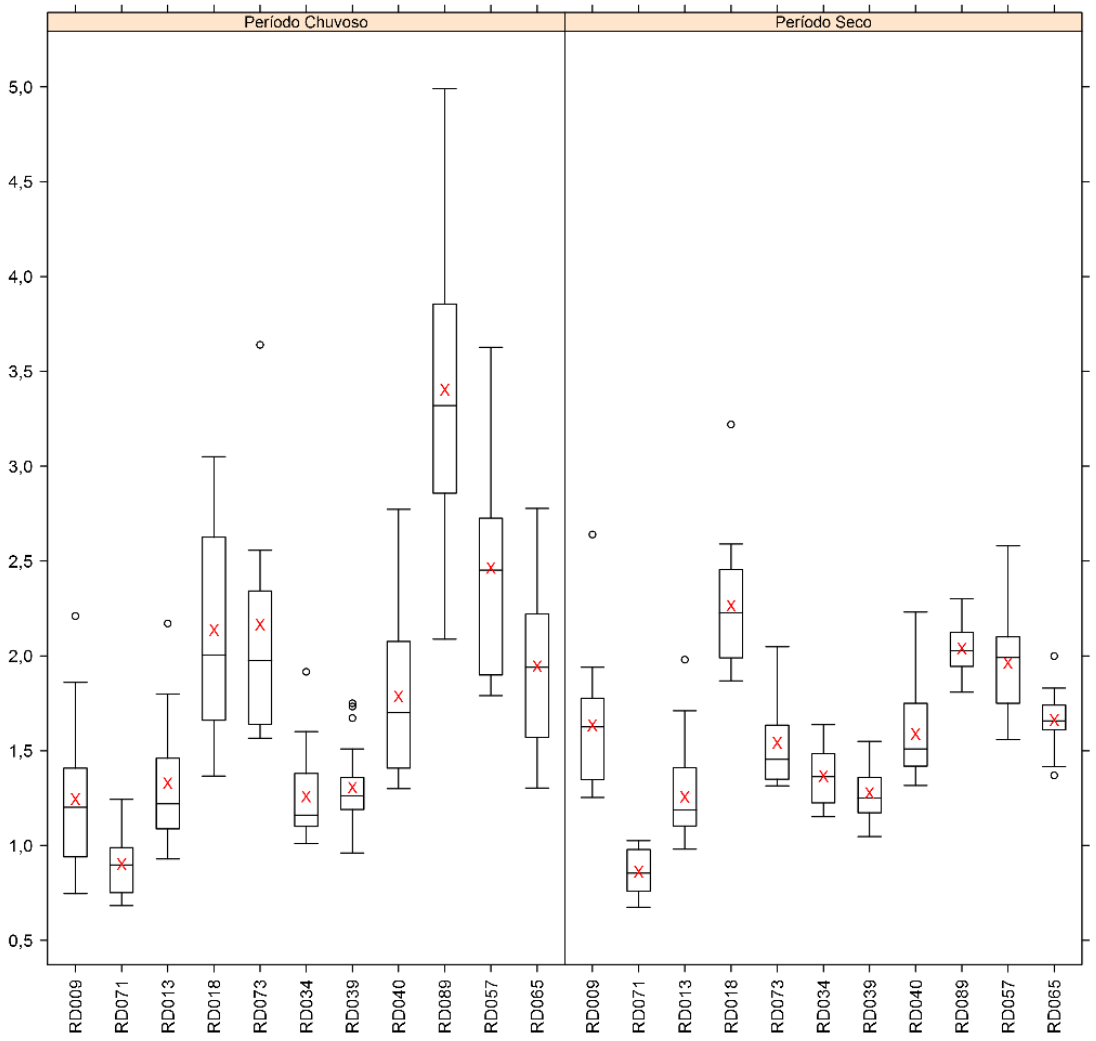
	Potássio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	1,25	1,63	1,63	2,64
RD071	7	0,68	0,86	0,86	1,03
RD013	18	0,98	1,25	1,19	1,98
RD018	16	1,87	2,26	2,23	3,22
RD073	7	1,32	1,54	1,46	2,05
RD034	16	1,15	1,37	1,36	1,64
RD039	18	1,05	1,28	1,25	1,55
RD040	16	1,32	1,59	1,51	2,23
RD089	8	1,81	2,04	2,03	2,30
RD057	18	1,56	1,96	1,99	2,58
RD065	18	1,37	1,66	1,66	2,00

	Potássio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,75	1,24	1,20	2,21
RD071	7	0,68	0,90	0,90	1,24
RD013	17	0,93	1,33	1,22	2,17
RD018	16	1,37	2,14	2,01	3,05
RD073	7	1,57	2,16	1,98	3,64
RD034	16	1,01	1,26	1,16	1,92
RD039	17	0,96	1,31	1,26	1,75
RD040	16	1,30	1,79	1,70	2,77
RD089	7	2,09	3,40	3,32	4,99
RD057	17	1,79	2,46	2,45	3,63

	Potássio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	17	1,30	1,94	1,94	2,78



Potássio Dissolvido (mg/L)
Afluentes



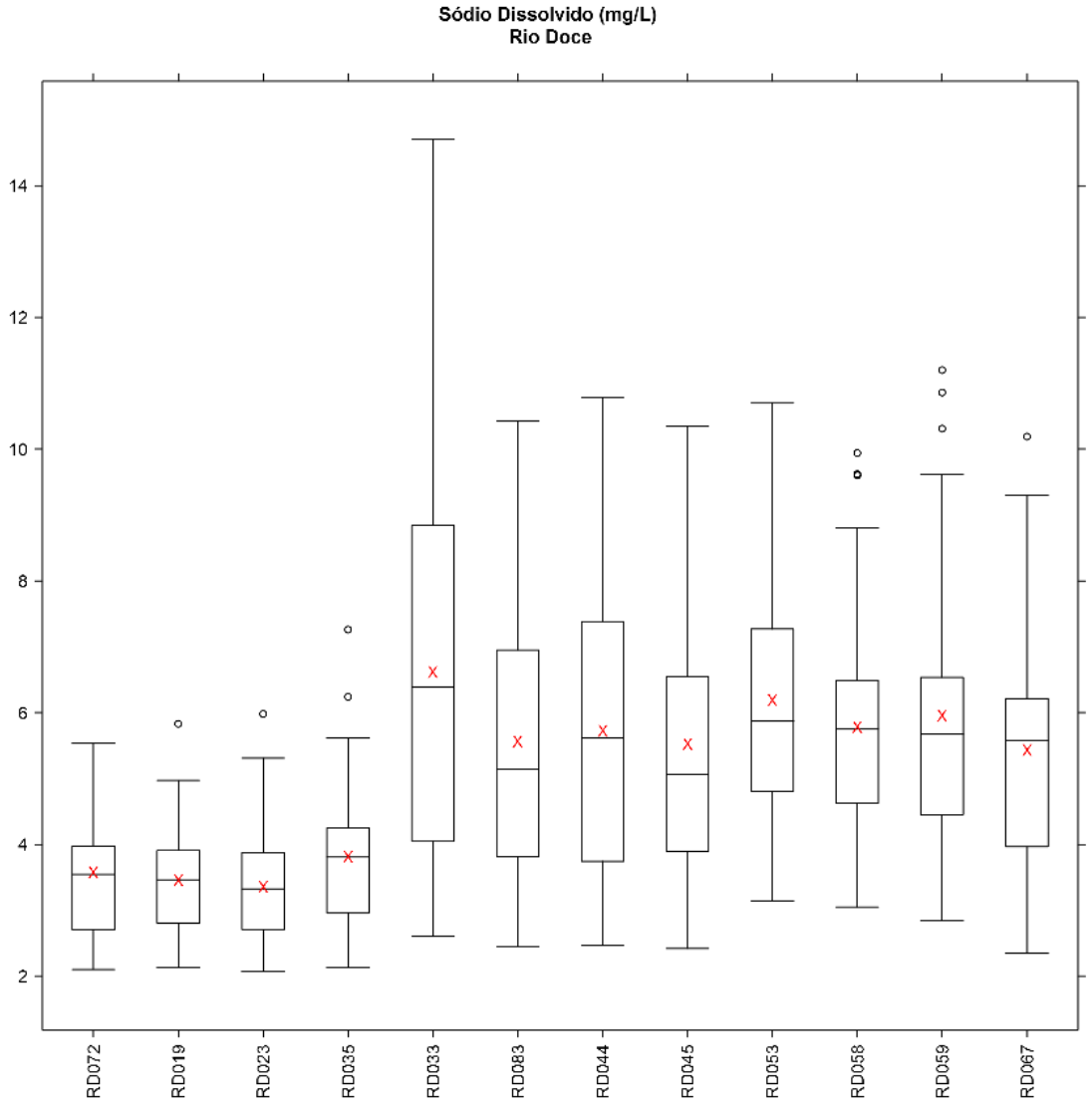
Sódio Dissolvido

	Sódio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	2,10	3,57	3,54	5,54
RD019	36	2,13	3,45	3,47	5,83
RD023	36	2,07	3,36	3,32	5,98
RD035	32	2,13	3,81	3,81	7,26
RD033	36	2,60	6,61	6,39	14,70
RD083	15	2,45	5,56	5,14	10,42
RD044	32	2,47	5,73	5,62	10,78
RD045	36	2,42	5,52	5,06	10,35
RD053	35	3,14	6,19	5,87	10,70
RD058	32	3,05	5,78	5,75	9,94
RD059	36	2,84	5,95	5,68	11,20
RD067	36	2,35	5,43	5,58	10,19

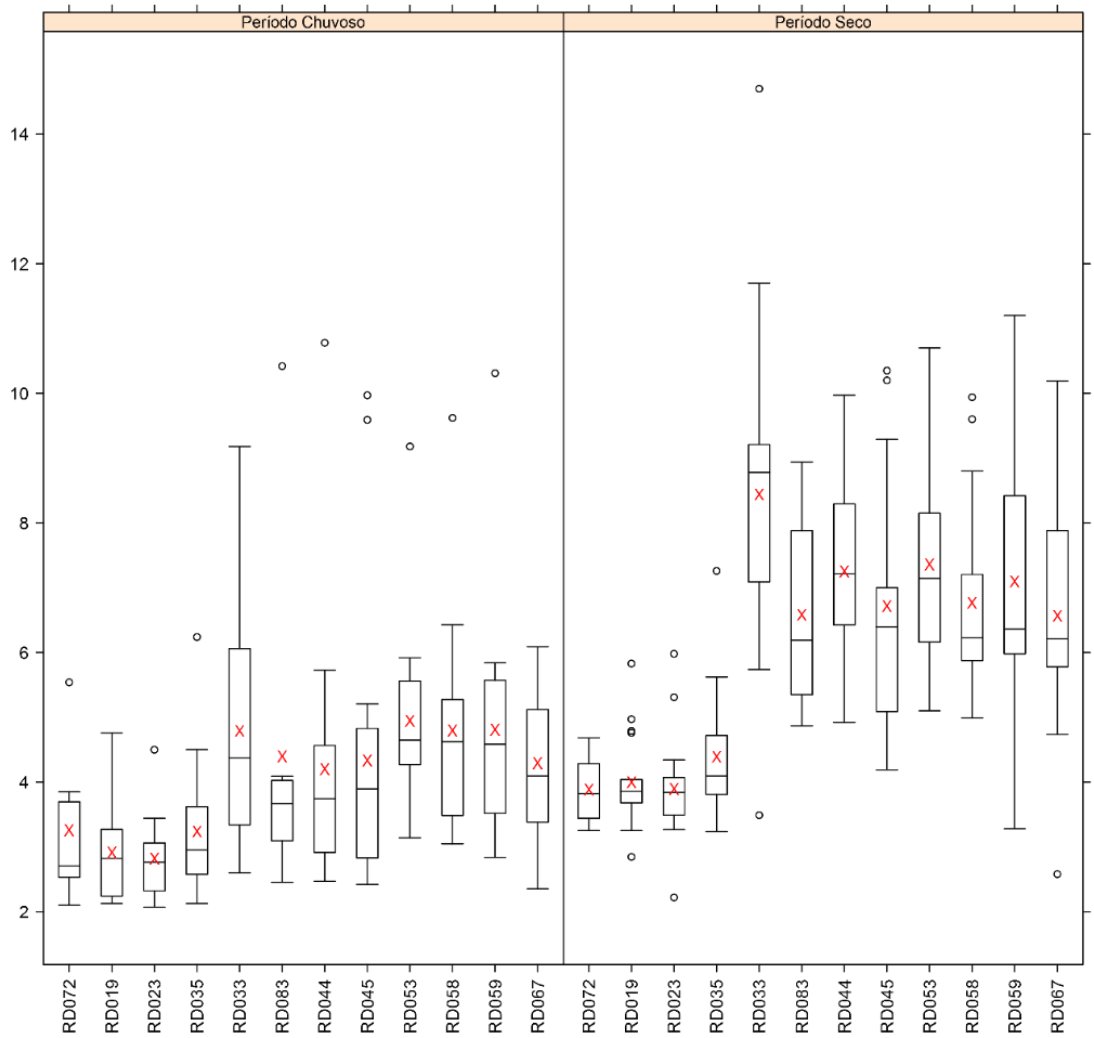
	Sódio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	3,25	3,89	3,82	4,68
RD019	18	2,85	4,00	3,86	5,83
RD023	18	2,22	3,90	3,84	5,98
RD035	16	3,24	4,39	4,09	7,26
RD033	18	3,49	8,44	8,78	14,70
RD083	8	4,87	6,58	6,19	8,94
RD044	16	4,92	7,25	7,22	9,97
RD045	18	4,19	6,72	6,40	10,35
RD053	18	5,10	7,36	7,15	10,70
RD058	16	4,99	6,76	6,23	9,94
RD059	18	3,28	7,10	6,36	11,20
RD067	18	2,58	6,56	6,21	10,19

	Sódio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	7	2,10	3,26	2,71	5,54
RD019	18	2,13	2,91	2,83	4,76
RD023	18	2,07	2,82	2,77	4,50
RD035	16	2,13	3,24	2,96	6,24
RD033	18	2,60	4,79	4,37	9,18
RD083	7	2,45	4,40	3,67	10,42
RD044	16	2,47	4,20	3,74	10,78

	Sódio Dissolvido (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	2,42	4,33	3,90	9,97
RD053	17	3,14	4,95	4,65	9,18
RD058	16	3,05	4,79	4,62	9,62
RD059	18	2,84	4,81	4,59	10,31
RD067	18	2,35	4,29	4,10	6,09



Sódio Dissolvido (mg/L)
Rio Doce

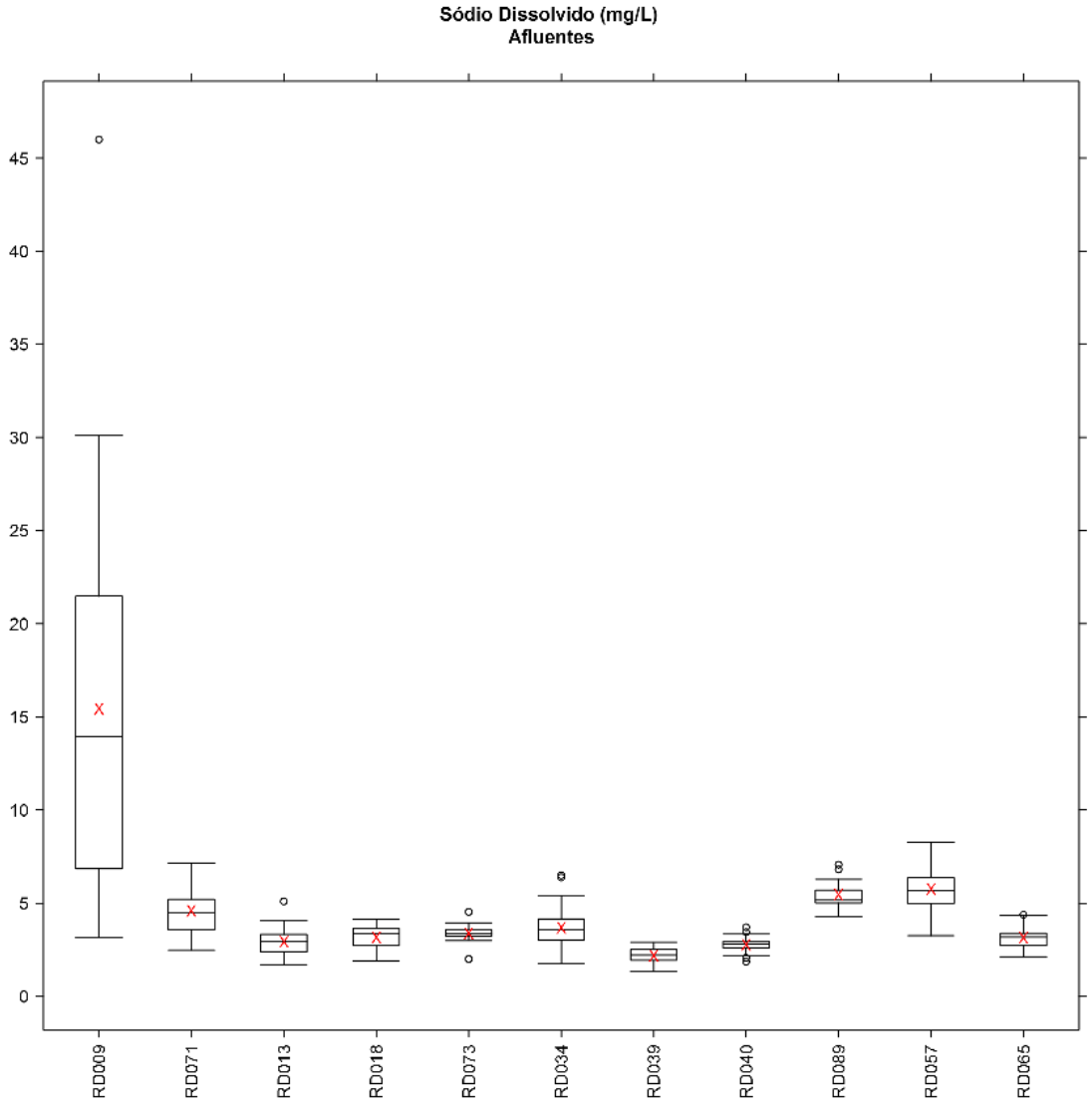


	Sódio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	3,17	15,44	13,96	46,00
RD071	14	2,48	4,58	4,50	7,14
RD013	36	1,70	2,92	2,95	5,10
RD018	32	1,91	3,15	3,37	4,13
RD073	14	2,00	3,37	3,35	4,53
RD034	32	1,76	3,68	3,57	6,50
RD039	36	1,33	2,18	2,22	2,90
RD040	32	1,86	2,76	2,80	3,71
RD089	15	4,29	5,45	5,17	7,07
RD057	36	3,26	5,75	5,69	8,27
RD065	36	2,12	3,13	3,19	4,38

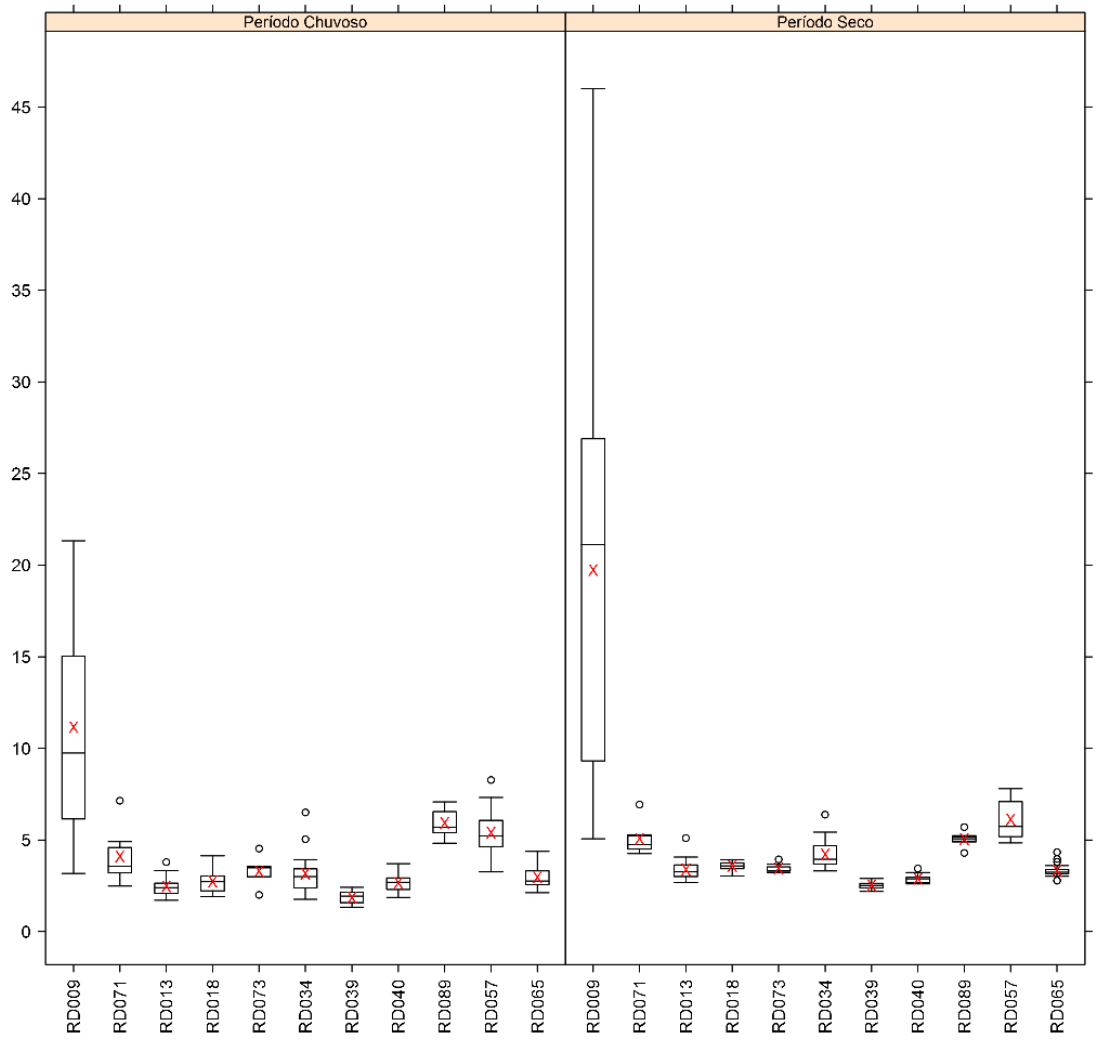
	Sódio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	5,07	19,73	21,12	46,00
RD071	7	4,25	5,06	4,75	6,93
RD013	18	2,67	3,38	3,26	5,10
RD018	16	3,03	3,58	3,58	3,93
RD073	7	3,22	3,45	3,32	3,94
RD034	16	3,31	4,21	3,94	6,38
RD039	18	2,19	2,52	2,51	2,90
RD040	16	2,61	2,88	2,87	3,44
RD089	8	4,29	5,04	5,07	5,70
RD057	18	4,84	6,12	5,73	7,80
RD065	18	2,78	3,33	3,24	4,33

	Sódio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	3,17	11,15	9,74	21,33
RD071	7	2,48	4,11	3,56	7,14
RD013	18	1,70	2,47	2,39	3,79
RD018	16	1,91	2,72	2,72	4,13
RD073	7	2,00	3,30	3,49	4,53
RD034	16	1,76	3,15	3,00	6,50
RD039	18	1,33	1,85	1,93	2,42
RD040	16	1,86	2,65	2,69	3,71
RD089	7	4,82	5,92	5,70	7,07
RD057	18	3,26	5,39	5,21	8,27

	Sódio Dissolvido (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	18	2,12	2,94	2,76	4,38



Sódio Dissolvido (mg/L)
Afluentes



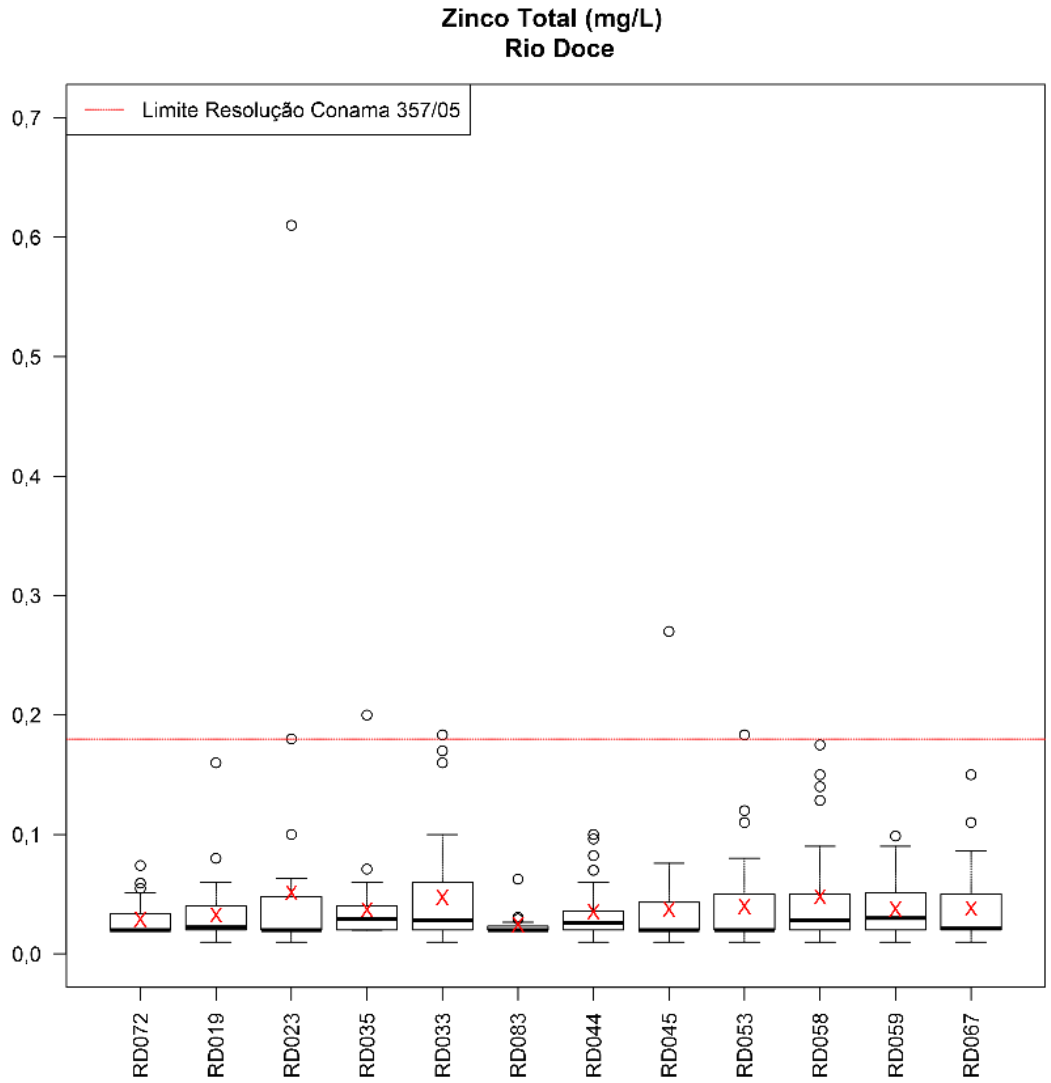
Zinco Total

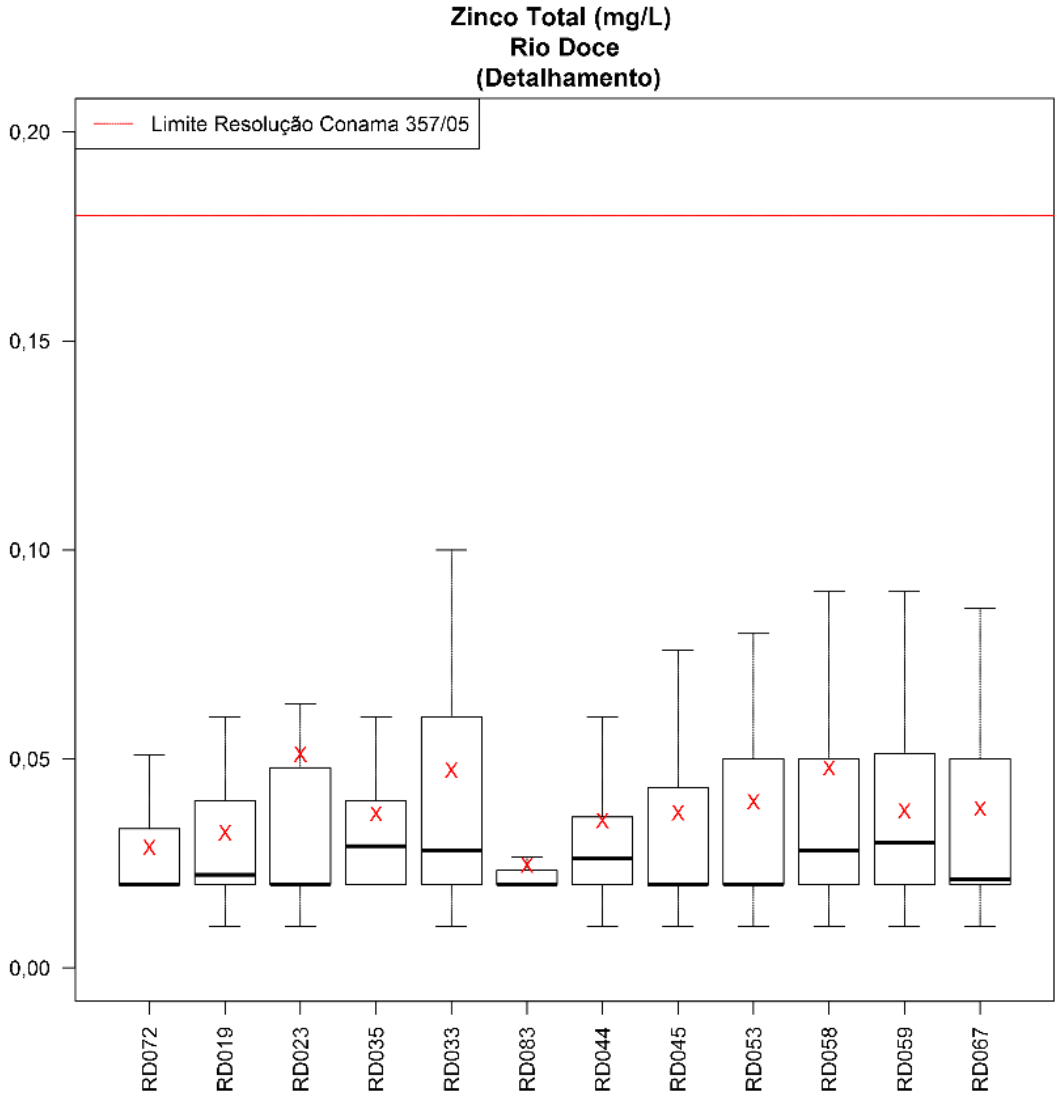
	Zinco Total (mg/L) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	29	0,020	0,029	0,020	0,074
RD019	36	0,010	0,032	0,022	0,160
RD023	36	0,010	0,051	0,020	0,610
RD035	32	0,020	0,037	0,029	0,200
RD033	36	0,010	0,047	0,028	0,183
RD083	15	0,020	0,025	0,020	0,063
RD044	32	0,010	0,035	0,026	0,100
RD045	36	0,010	0,037	0,020	0,270
RD053	35	0,010	0,040	0,020	0,183
RD058	32	0,010	0,048	0,028	0,175
RD059	36	0,010	0,038	0,030	0,099
RD067	36	0,010	0,038	0,021	0,150

	Zinco Total (mg/L) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	14	0,020	0,032	0,020	0,074
RD019	18	0,010	0,025	0,020	0,049
RD023	18	0,010	0,027	0,020	0,100
RD035	16	0,020	0,027	0,022	0,060
RD033	18	0,010	0,034	0,022	0,160
RD083	8	0,020	0,021	0,020	0,029
RD044	16	0,010	0,024	0,020	0,070
RD045	18	0,010	0,025	0,020	0,050
RD053	18	0,010	0,028	0,020	0,080
RD058	16	0,010	0,036	0,020	0,129
RD059	18	0,010	0,030	0,020	0,070
RD067	18	0,010	0,027	0,020	0,050

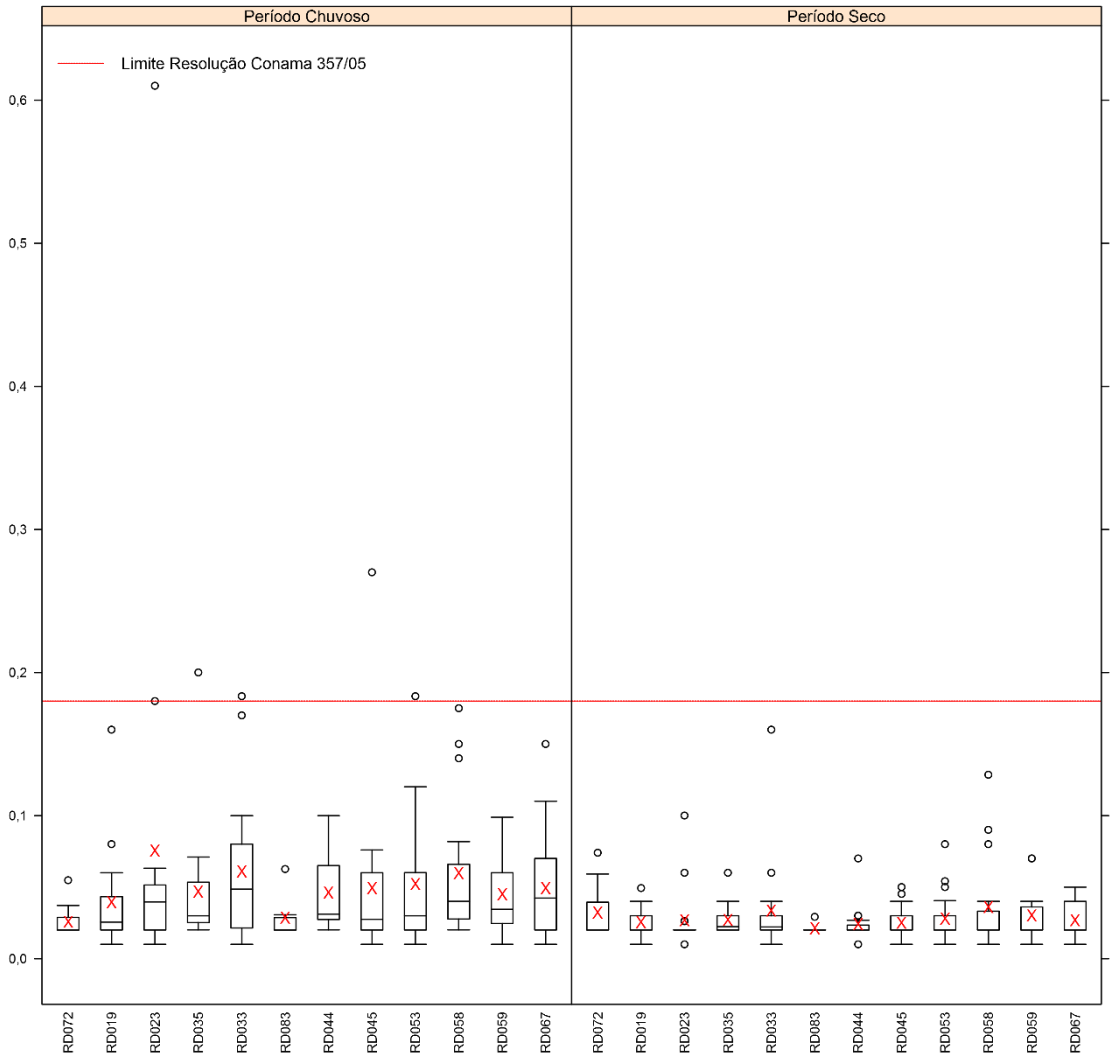
	Zinco Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	15	0,020	0,026	0,020	0,055
RD019	18	0,010	0,039	0,026	0,160
RD023	18	0,010	0,076	0,040	0,610
RD035	16	0,020	0,047	0,030	0,200
RD033	18	0,010	0,061	0,049	0,183
RD083	7	0,020	0,029	0,020	0,063
RD044	16	0,020	0,046	0,031	0,100

	Zinco Total (mg/L) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD045	18	0,010	0,049	0,028	0,270
RD053	17	0,010	0,052	0,030	0,183
RD058	16	0,020	0,060	0,040	0,175
RD059	18	0,010	0,045	0,035	0,099
RD067	18	0,010	0,049	0,042	0,150




Zinco Total (mg/L)
Rio Doce
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
RD072
RD019
RD023
RD035
RD033
RD083
RD044
RD045
RD053
RD058
RD059
RD067

Zinco Total (mg/L)
Rio Doce

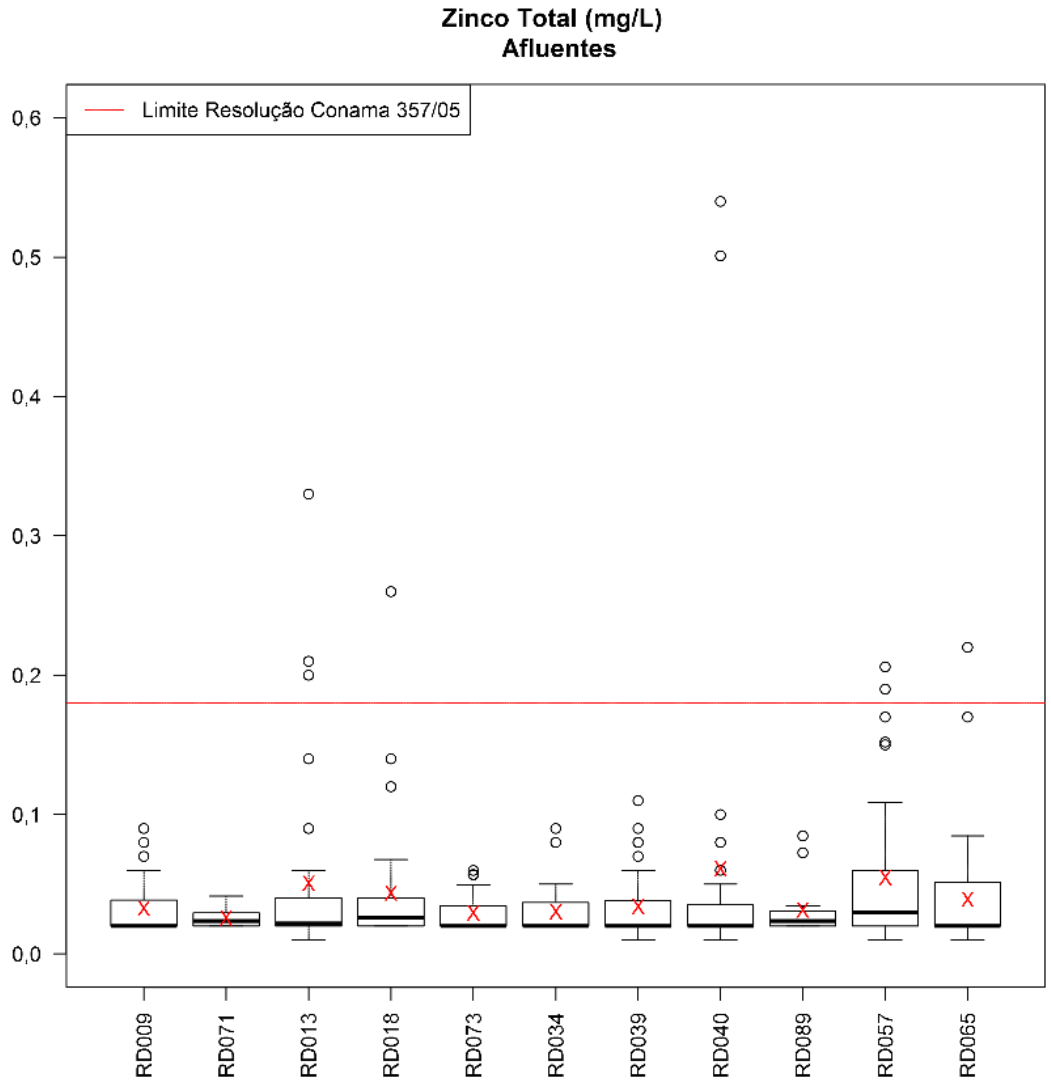


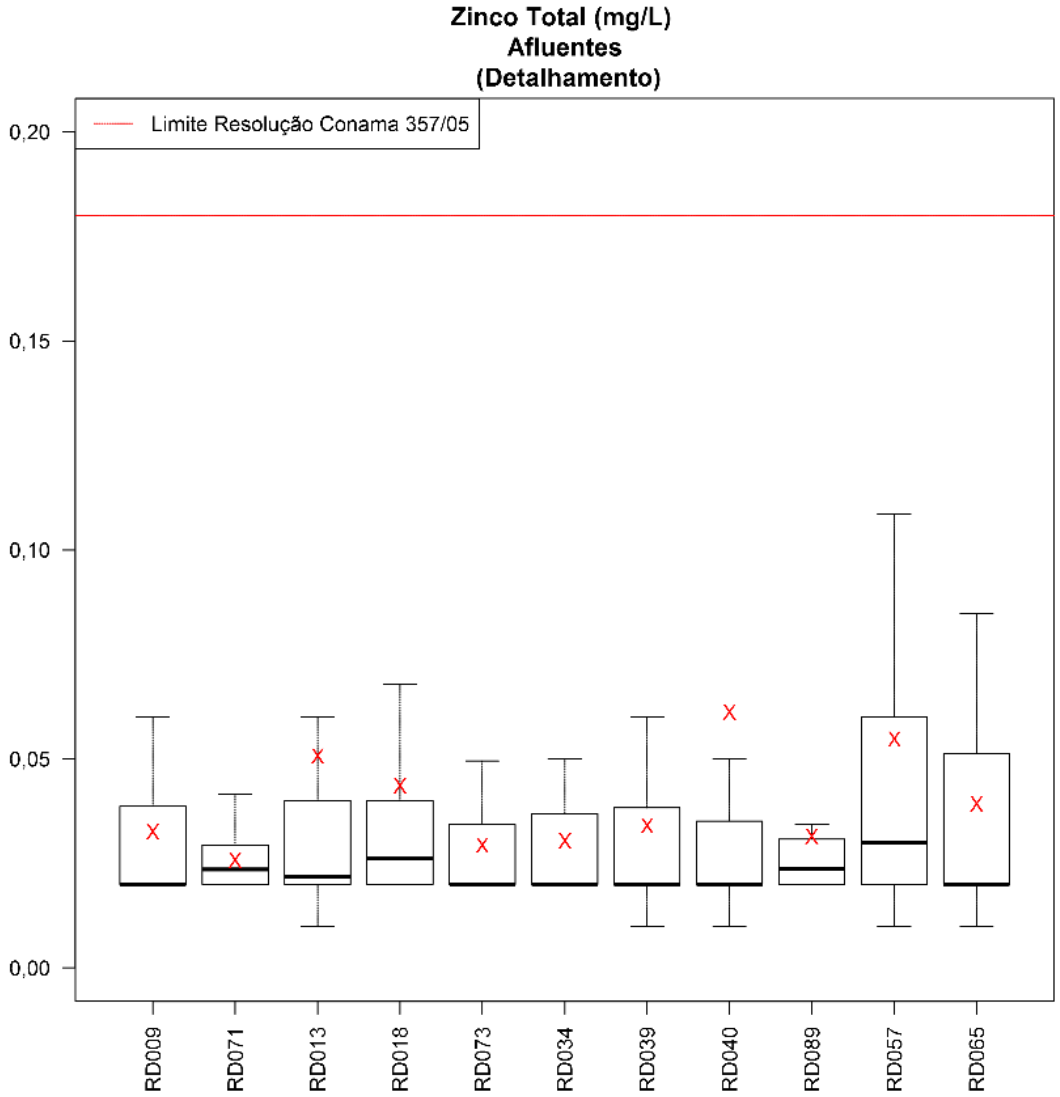
	Zinco Total (mg/L) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	32	0,020	0,033	0,020	0,090
RD071	14	0,020	0,026	0,024	0,042
RD013	36	0,010	0,051	0,022	0,330
RD018	32	0,020	0,044	0,026	0,260
RD073	29	0,020	0,029	0,020	0,060
RD034	32	0,020	0,030	0,020	0,090
RD039	36	0,010	0,034	0,020	0,110
RD040	32	0,010	0,061	0,020	0,540
RD089	15	0,020	0,031	0,024	0,085
RD057	36	0,010	0,055	0,030	0,206
RD065	36	0,010	0,039	0,020	0,220

	Zinco Total (mg/L) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,020	0,026	0,020	0,070
RD071	7	0,020	0,024	0,020	0,040
RD013	18	0,010	0,049	0,020	0,210
RD018	16	0,020	0,031	0,020	0,068
RD073	14	0,020	0,026	0,020	0,050
RD034	16	0,020	0,023	0,020	0,040
RD039	18	0,010	0,027	0,020	0,070
RD040	16	0,010	0,059	0,020	0,540
RD089	8	0,020	0,024	0,022	0,030
RD057	18	0,010	0,033	0,020	0,109
RD065	18	0,010	0,024	0,020	0,085

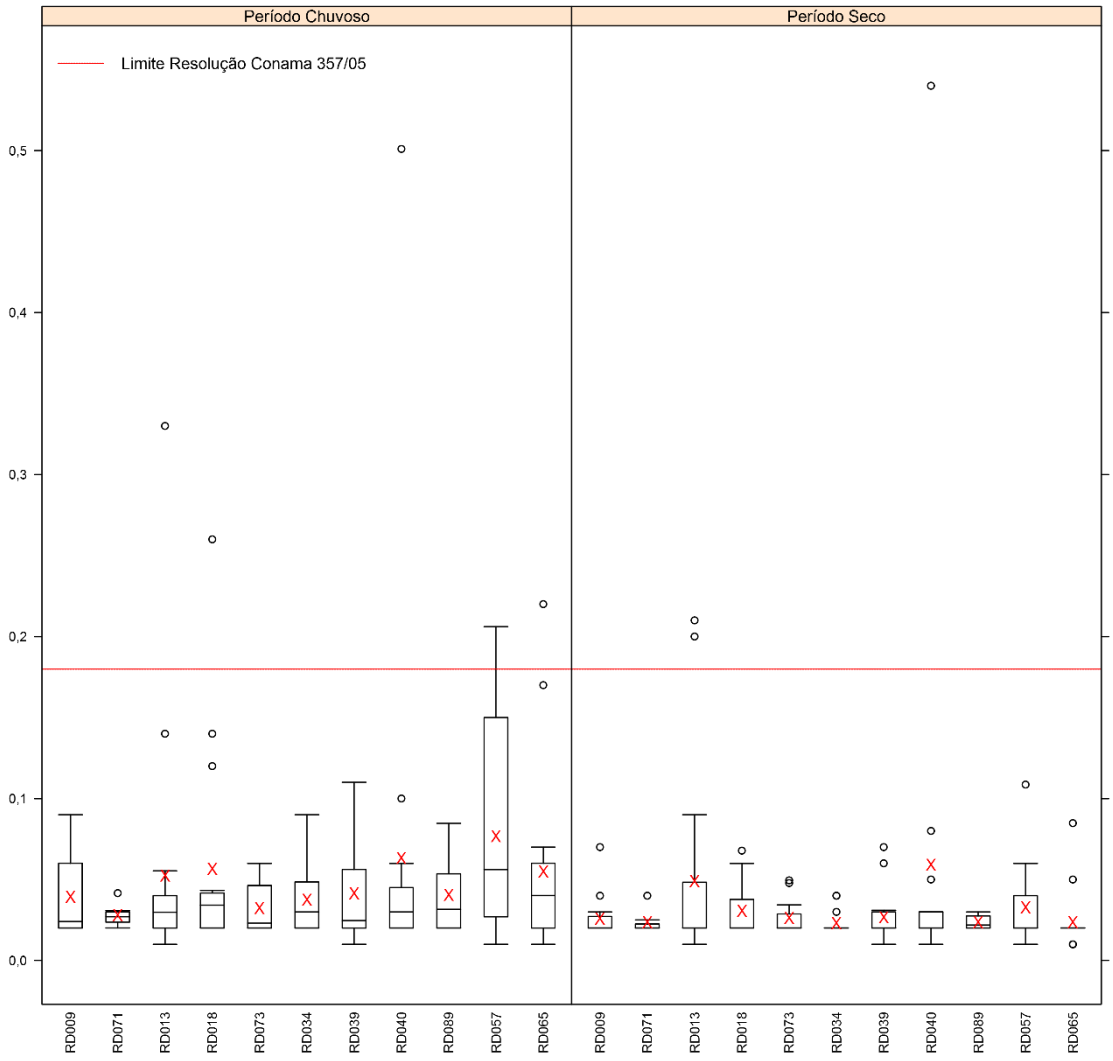
	Zinco Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	16	0,020	0,039	0,024	0,090
RD071	7	0,020	0,028	0,027	0,042
RD013	18	0,010	0,052	0,030	0,330
RD018	16	0,020	0,056	0,034	0,260
RD073	15	0,020	0,032	0,023	0,060
RD034	16	0,020	0,038	0,030	0,090
RD039	18	0,010	0,042	0,025	0,110
RD040	16	0,020	0,063	0,030	0,501
RD089	7	0,020	0,040	0,032	0,085
RD057	18	0,010	0,077	0,056	0,206

	Zinco Total (mg/L) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD065	18	0,010	0,055	0,040	0,220




Zinco Total (mg/L)
Afluentes
(Detalhamento)
Limite Resolução Conama 357/05
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065

Zinco Total (mg/L)
Afluentes



Resultados das variáveis microbiológicas da água

Coliformes Termotolerantes

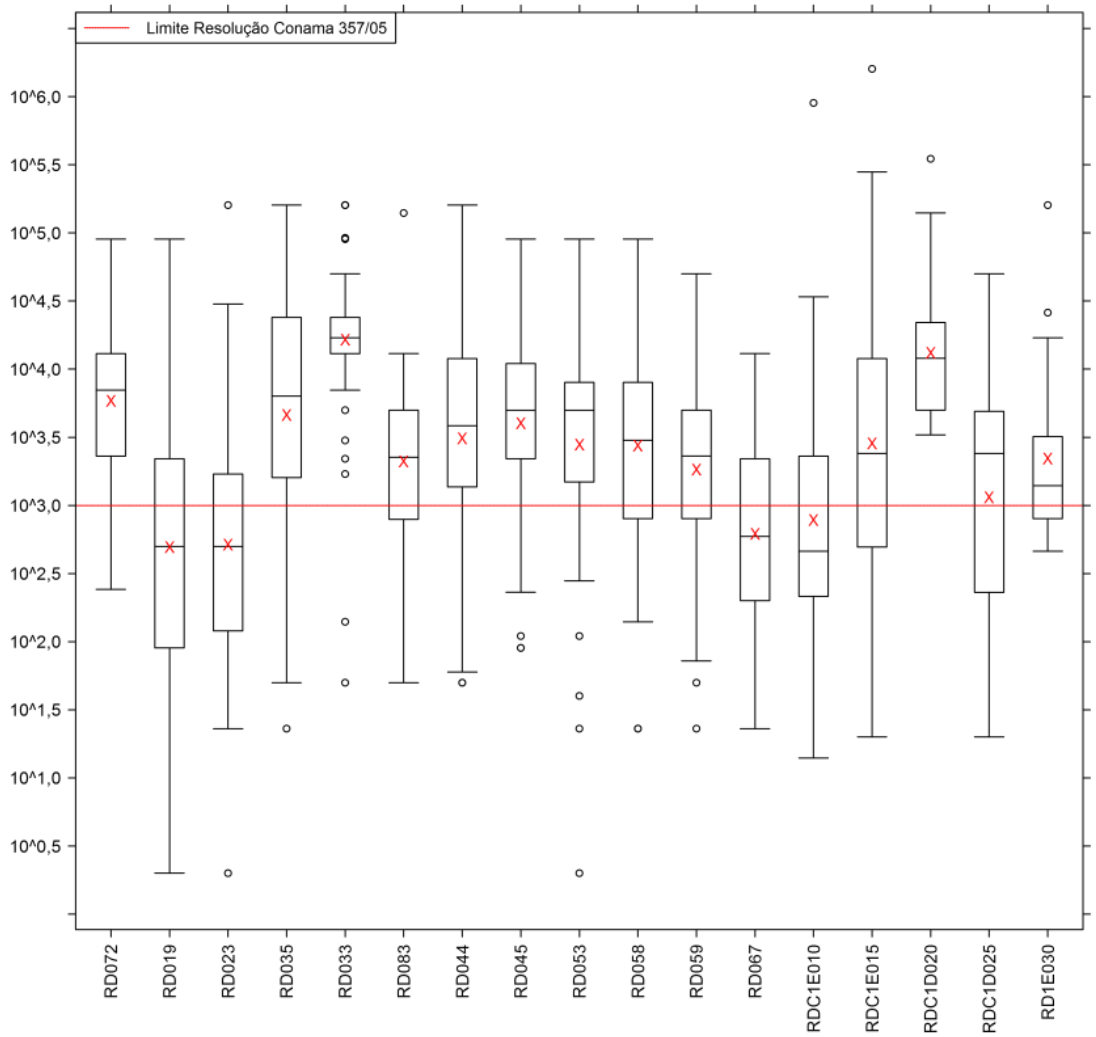
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Rio Doce - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	17	242	16.638	7.000	90.000
RD019	61	2	3.448	500	90.000
RD023	61	2	4.624	500	160.000
RD035	54	23	16.843	6.500	160.000
RD033	61	50	33.346	17.000	160.000
RD083	18	50	11.026	2.350	140.000
RD044	52	50	12.808	3.950	160.000
RD045	60	90	9.284	5.000	90.000
RD053	59	2	7.366	5.000	90.000
RD058	51	23	10.856	3.000	90.000
RD059	60	23	4.332	2.300	50.000
RD067	58	23	1.837	600	13.000
RDC1E010	27	14	36.094	460	900.000
RDC1E015	19	20	103.805	2.400	1.600.000
RDC1D020	27	3300	32.300	12.000	350.000
RDC1D025	25	20	4.998	2.400	50.000
RDC1E030	25	460	10.213	1.400	160.000

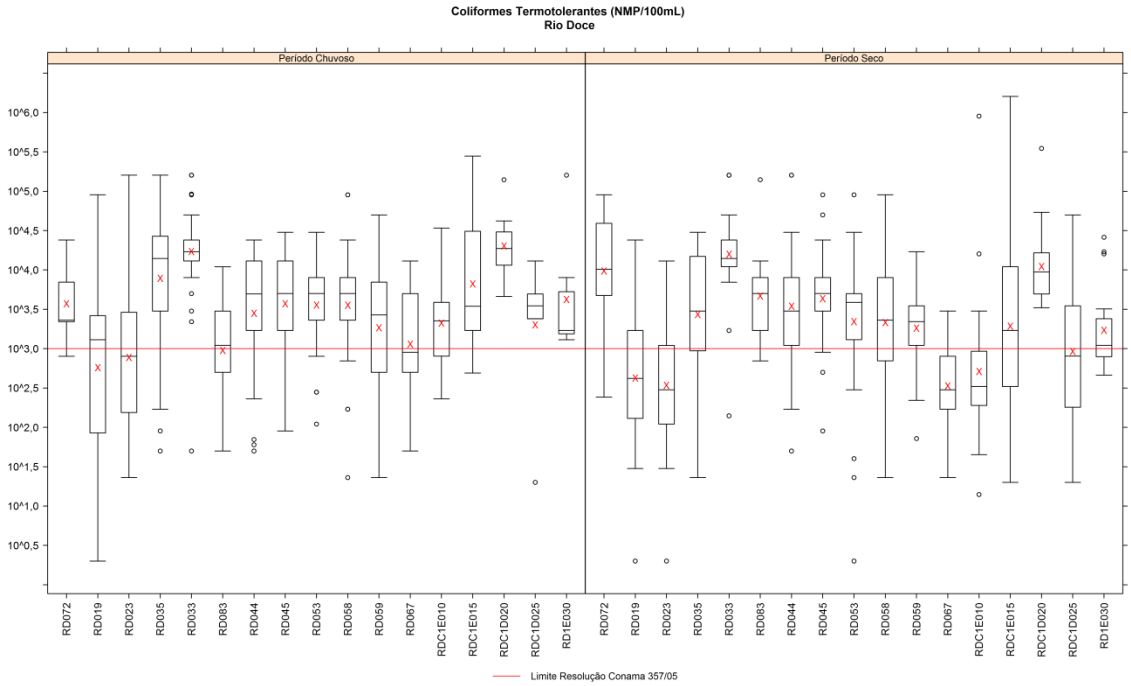
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	8	242	28.630	10.500	90.000
RD019	30	2	2.149	425	24.000
RD023	30	2	1.409	300	13.000
RD035	27	23	8.527	3.000	30.000
RD033	30	140	31.295	14.000	160.000
RD083	9	700	19.689	5.000	140.000
RD044	26	50	18.578	3.000	160.000
RD045	30	90	9.740	5.000	90.000
RD053	30	2	8.049	4.000	90.000
RD058	26	23	9.577	2.300	90.000
RD059	30	72	3.155	2.200	17.000
RD067	29	23	690	300	3.000
RDC1E010	19	14	48.735	330	900.000
RDC1E015	13	20	127.054	1.700	1.600.000
RDC1D020	19	3.300	31.711	9.400	350.000

	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Rio Doce - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RDC1D025	18	20	5.207	900	50.000
RDC1E030	18	460	4.318	1.100	26.000

	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Rio Doce - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD072	9	800	5.978	2.300	24.000
RD019	31	2	4.705	1.300	90.000
RD023	31	23	7.736	800	160.000
RD035	27	50	25.159	14.000	160.000
RD033	31	50	35.331	17.000	160.000
RD083	9	50	2.362	1.100	11.000
RD044	26	50	7.039	4.950	24.000
RD045	30	90	8.827	5.000	30.000
RD053	29	110	6.660	5.000	30.000
RD058	25	23	12.187	5.000	90.000
RD059	30	23	5.508	2.700	50.000
RD067	29	50	2.983	900	13.000
RDC1E010	8	230	6.074	2.250	34.000
RDC1E015	6	490	53.432	3.700	280.000
RDC1D020	8	4.600	33.700	19.000	140.000
RDC1D025	7	20	4.460	3.500	13.000
RDC1E030	7	1.300	25.371	1.700	160.000

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
Rio Doce



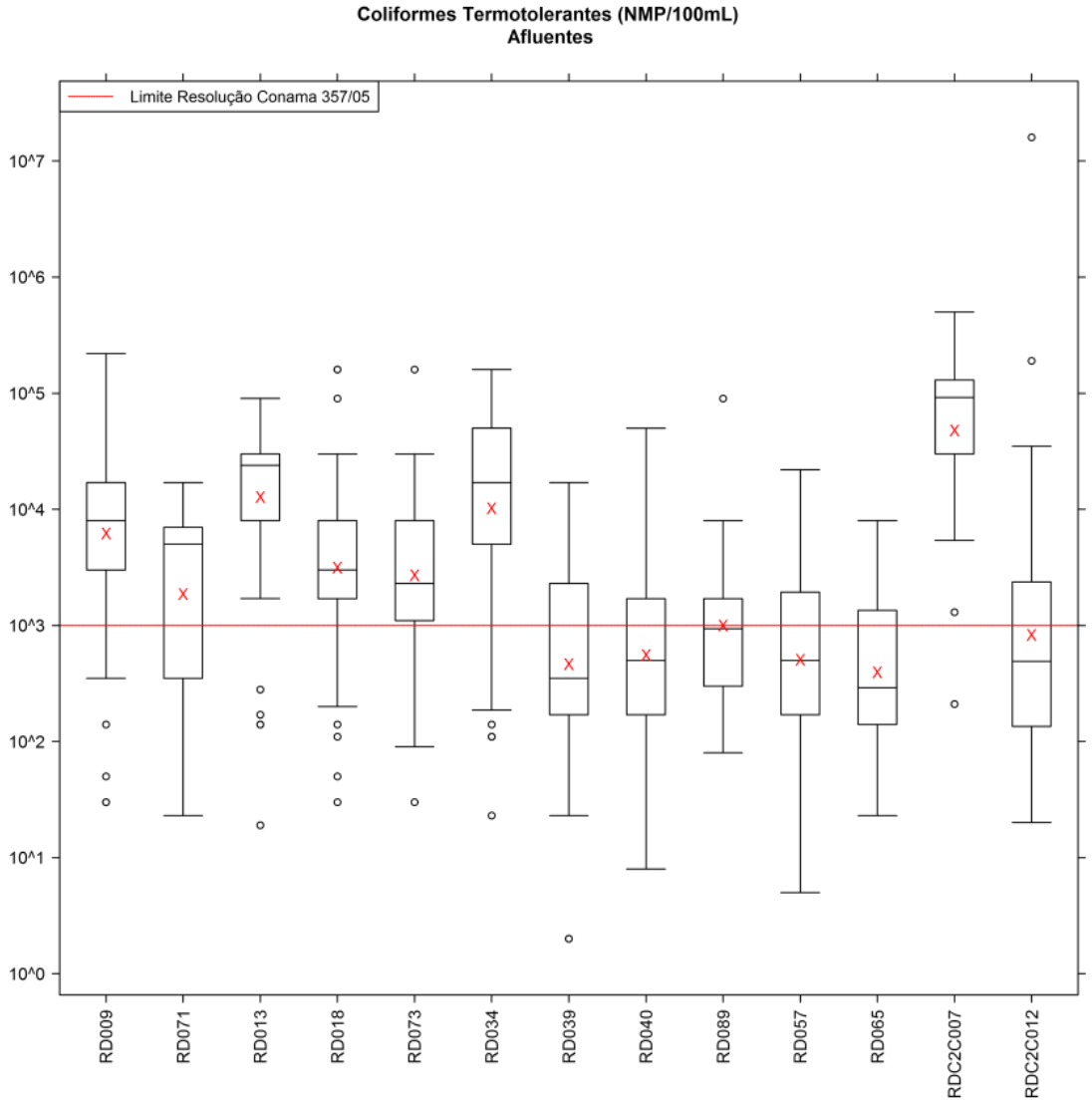


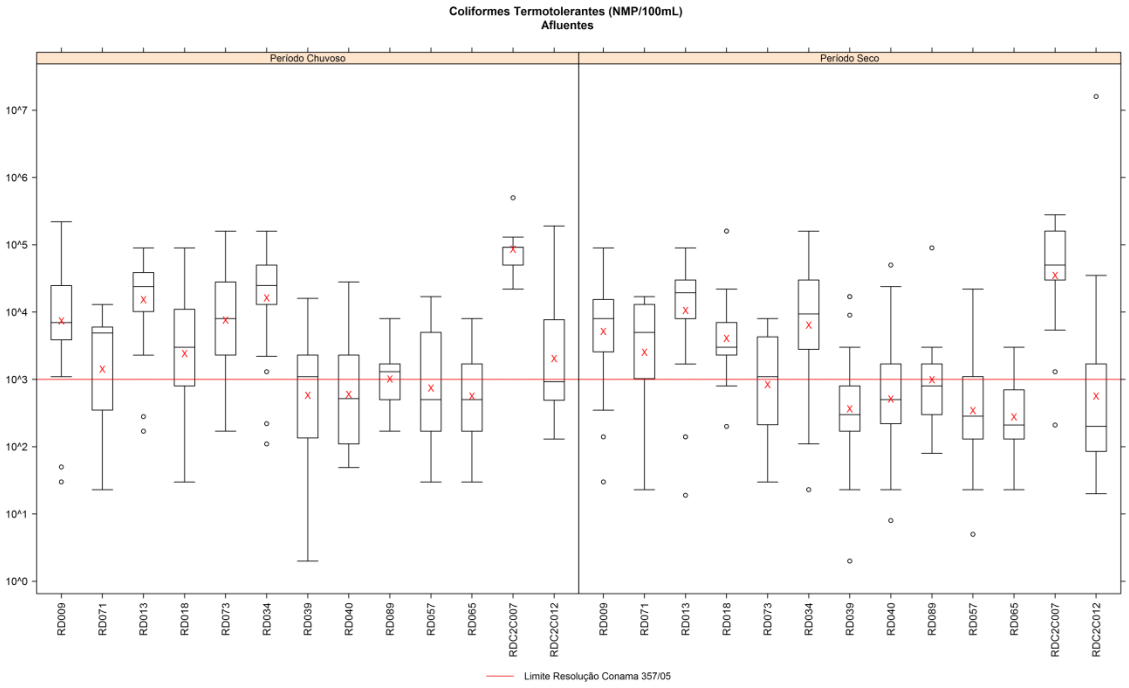
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Afluentes - Período Total				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	54	30	20.680	8.000	220.000
RD071	17	23	5.630	5.000	17.000
RD013	61	19	24.520	24.000	90.000
RD018	52	30	12.778	3.000	160.000
RD073	17	30	16.623	2.300	160.000
RD034	52	23	28.415	17.000	160.000
RD039	61	2	2.102	350	17.000
RD040	52	8	2.907	500	50.000
RD089	18	80	6.324	950	90.000
RD057	60	5	2.150	500	22.000
RD065	60	23	1.207	290	8.000
RDC2C007	26	210	96.843	92.000	500.000
RDC2C012	27	20	602.386	490	16.000.000

	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	27	30	15.664	8.000	90.000
RD071	8	23	7.047	5.000	17.000
RD013	30	19	22.283	19.500	90.000
RD018	26	200	16.300	3.000	160.000
RD073	8	30	2.640	1.100	8.000
RD034	26	23	22.264	9.500	160.000

	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Afluentes - Período Seco				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD039	30	2	1.925	300	17.000
RD040	26	8	3.526	500	50.000
RD089	9	80	10.842	800	90.000
RD057	30	5	1.514	285	22.000
RD065	30	23	653	210	3.000
RDC2C007	17	210	82.289	50.000	280.000
RDC2C012	19	20	844.726	200	16.000.000

	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - Afluentes - Período Chuvoso				
	Número de observações	Mínimo	Média	Mediana	Máximo
RD009	27	30	25.696	7.000	220.000
RD071	9	23	4.371	4.900	13.000
RD013	31	170	26.685	24.000	90.000
RD018	26	30	9.255	3.000	90.000
RD073	9	170	29.052	8.000	160.000
RD034	26	110	34.567	25.000	160.000
RD039	31	2	2.274	1.100	16.000
RD040	26	49	2.288	517	28.000
RD089	9	170	1.807	1.300	8.000
RD057	30	30	2.787	500	17.000
RD065	30	30	1.761	500	8.000
RDC2C007	9	22.000	124.333	92.000	500.000
RDC2C012	8	130	26.826	1.100	190.000


Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
Afluentes
Limite Resolução Conama 357/05
10^7
10^6
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012


Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
Afluentes
Período Chuvoso
Período Seco
10^7
10^6
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
RD009
RD071
RD013
RD018
RD073
RD034
RD039
RD040
RD089
RD057
RD065
RDC2C007
RDC2C012
Limite Resolução Conama 357/05

Apêndice R – Localização dos dados disponíveis durante a estação chuvosa

Apêndice S – Localização dos dados disponíveis durante a estação seca

ANEXOS

Anexo 1 – Processos minerários DNPM

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
1261/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Mf Serviços Combinados de Escritório e Apoio Administrativo S.A.	ÁGUA-MARINHA
1443/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Nevestones Ltda.	ÁGUA-MARINHA
2760/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Alvarenguinha Ltda.	ÁGUA-MARINHA
6143/1944	CONCESSÃO DE LAVRA	Eco Mine Min., Com., Ind. e Exp. Ltda.	ÁGUA-MARINHA
832658/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Córrego das Pedras Indústria, Comércio e Exportação Ltda.	ÁGUA-MARINHA
831876/1988	CONCESSÃO DE LAVRA	B & G Mineração, Comércio, Exportação e Importação Ltda.	ÁGUA-MARINHA
833501/2014	CONCESSÃO DE LAVRA	Pks Stones Comércio de Pedras Ltda. EPP	ÁGUA-MARINHA
832242/1999	LAVRA GARIMPEIRA	Maria da Graça Pinto Luz	ÁGUA-MARINHA
832359/2009	LAVRA GARIMPEIRA	Rodrigo Monteiro Silva Bastos ME	ÁGUA-MARINHA
831514/2010	LAVRA GARIMPEIRA	Francisco Solano de Oliveira Lopes	ÁGUA-MARINHA
832417/2009	LAVRA GARIMPEIRA	Agnaldo Felisberto de Lima	ÁGUA-MARINHA
830812/2010	LAVRA GARIMPEIRA	Arilson Alves dos Santos	ÁGUA-MARINHA
830207/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Valdemar Teodoro de Andrade	ÁGUA-MARINHA
833315/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Edvaldo Soares dos Santos Filho	ÁGUA-MARINHA
833739/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Edmilson do Carmo Peixoto	ÁGUA-MARINHA
830802/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Jonas de Souza Lima Junior	ÁGUA-MARINHA
833649/2011	LAVRA GARIMPEIRA	João Carlos Benevides Pena	ÁGUA-MARINHA
830083/2012	LAVRA GARIMPEIRA	Edmilson do Carmo Peixoto	ÁGUA-MARINHA
832357/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Victor Ferreira Mendes de Lima	ÁGUA-MARINHA
831471/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Silvana Clemente da Rocha	ÁGUA-MARINHA
830162/2013	LAVRA GARIMPEIRA	W A Alves Gemas ME	ÁGUA-MARINHA
833276/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Filipe de Caux Henriques Damasceno	ÁGUA-MARINHA
832521/2012	LAVRA GARIMPEIRA	Nilza da Costa Pereira	ÁGUA-MARINHA
832729/2012	LAVRA GARIMPEIRA	José Pedra Junior	ÁGUA-MARINHA
832656/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Eneida Silva Costa	ÁGUA-MARINHA
830163/2013	LAVRA GARIMPEIRA	W A Alves Gemas Me	ÁGUA-MARINHA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
804929/1976	CONCESSÃO DE LAVRA	Linhagua Mineração Ltda.	ÁGUA MINERAL
5689/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Água Mineral Nova Era Ltda.	ÁGUA MINERAL
5395/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Acendino Cupriano & Cia Ltda.	ÁGUA MINERAL
830685/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Refrigerantes Rio Doce Ltda.	ÁGUA MINERAL
835286/1995	CONCESSÃO DE LAVRA	Alvarenga Mineração e Engenharia Ltda. ME	ÁGUA MINERAL
830711/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Hidro Mineração Divina Pureza Ltda.	ÁGUA MINERAL
832347/1993	CONCESSÃO DE LAVRA	Scherrer & Merklein Indústria e Comércio Ltda.	ÁGUA MINERAL
830379/2000	CONCESSÃO DE LAVRA	Clovesmar Nunes Dos Santos - FI	ÁGUA MINERAL
830083/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Cruzeiro Distribuidora de águas, Bebidas em Geral Ltda. ME	ÁGUA MINERAL
831321/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Minas Brasil Ltda.	ÁGUA MINERAL
838138/1994	CONCESSÃO DE LAVRA	Águas Minerais Veneza Ltda.	ÁGUA MINERAL
832622/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Nilo Alves Pereira 160.784.706.04 ME	ALEXANDRITA
833678/2004	LAVRA GARIMPEIRA	Cooperativa Mista dos Garimpeiros do Centro Leste de Minas Gerais Coogemig	ALEXANDRITA
832499/2013	LAVRA GARIMPEIRA	Wanderson Augusto da Paixão	ALEXANDRITA
833097/2014	LAVRA GARIMPEIRA	Margarete de Oliveira Paixão	ALEXANDRITA
896018/1999	CONCESSÃO DE LAVRA	Aretec Extração de Areia Eireli ME	AREIA
830246/1981	CONCESSÃO DE LAVRA	Minérios Delta Ltda.	AREIA
832310/1992	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Fioravante Ltda.	AREIA
830404/1979	LICENCIAMENTO	Pedro Gloria	AREIA
830553/1991	LICENCIAMENTO	Areial do Náutico Ltda. ME	AREIA
830191/1995	LICENCIAMENTO	Pontal Engenharia Ltda.	AREIA
830294/1996	LICENCIAMENTO	Mecaplan Terraplenagem Mec. Rural	AREIA
831826/1997	LICENCIAMENTO	J & C Assis Ltda.	AREIA
830410/1999	LICENCIAMENTO	Andreia Durso de Oliveira	AREIA
830415/1999	LICENCIAMENTO	Areial do Náutico Ltda. ME	AREIA
830815/1999	LICENCIAMENTO	Regina Celia Teixeira Silva - FI	AREIA
830985/1999	LICENCIAMENTO	Divino Fernandes do Amaral - FI	AREIA
831092/1999	LICENCIAMENTO	Draga Jequeri Ltda.	AREIA
831233/1999	LICENCIAMENTO	Adair Lino - Microempresa	AREIA
831267/1999	LICENCIAMENTO	Erv Comércio e Serviços Ltda. ME	AREIA
831412/1999	LICENCIAMENTO	Jose Geraldo Hott	AREIA
831698/1999	LICENCIAMENTO	Coutnard Ltda.	AREIA
831899/1999	LICENCIAMENTO	Amintho José Tulher - FI	AREIA
832029/1999	LICENCIAMENTO	Paulo Fernando de Miranda Lopes - FI	AREIA
832201/1999	LICENCIAMENTO	Ilva Marques Fernandes Freitas - FI	AREIA
830502/2000	LICENCIAMENTO	Porto de Areia Max Ltda.	AREIA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
831661/2000	LICENCIAMENTO	Mineração E&E Ltda.	AREIA
831753/2000	LICENCIAMENTO	José Hota Quintão	AREIA
830817/2001	LICENCIAMENTO	MARCELIO MAGALHÃES SOUZA	AREIA
831088/2001	LICENCIAMENTO	Draga Jequeri Ltda.	AREIA
831635/2001	LICENCIAMENTO	Vanderlei Gomes de Laverda - FI	AREIA
832620/2001	LICENCIAMENTO	Água Quente Mineração Agropecuária e Eco Turismo Ltda.	AREIA
830505/2002	LICENCIAMENTO	J & C Assis Ltda.	AREIA
830985/2002	LICENCIAMENTO	Gérson Vieira	AREIA
831832/2002	LICENCIAMENTO	Raimundo Nonato Alves	AREIA
832180/2002	LICENCIAMENTO	Contrafel Comércio e Transporte Ferreira Ltda.	AREIA
832229/2002	LICENCIAMENTO	Almir de Ávila Barbosa	AREIA
832289/2002	LICENCIAMENTO	Translemos e Lemes Ltda.	AREIA
830704/2003	LICENCIAMENTO	José Geraldo Lima Lana	AREIA
830710/2003	LICENCIAMENTO	Marly Rosângela Gonçalves	AREIA
831099/2003	LICENCIAMENTO	Celinha Stoppa ME	AREIA
831950/2003	LICENCIAMENTO	Deposito Material de Construção Padre Cicero Ltda. EPP	AREIA
832205/2003	LICENCIAMENTO	Alex Rodrigues Soares ME	AREIA
832206/2003	LICENCIAMENTO	Mineração Vale do Piranga Ltda.	AREIA
832362/2003	LICENCIAMENTO	Mineração Trans-Alegria & Jlc Ltda.	AREIA
832612/2003	LICENCIAMENTO	Mineração Torno Ltda.	AREIA
832842/2003	LICENCIAMENTO	Edmar Gonçalves da Silva ME	AREIA
833482/2003	LICENCIAMENTO	R B da Silva Araujo ME	AREIA
833490/2003	LICENCIAMENTO	Mineração Fonseca e Filhos Ltda. ME	AREIA
830333/2004	LICENCIAMENTO	Porto de Areia Cachoeira do Vale Ltda.	AREIA
831086/2004	LICENCIAMENTO	Hélio Bernadino Rodrigues	AREIA
831432/2004	LICENCIAMENTO	Zélia Augusta Rodrigues ME	AREIA
831474/2004	LICENCIAMENTO	Extração Mineral Pelinþari Ltda.	AREIA
832606/2004	LICENCIAMENTO	Reinaldo Bernardino Rodrigues	AREIA
832629/2004	LICENCIAMENTO	Avelino Cypriano de Oliveira	AREIA
833052/2004	LICENCIAMENTO	Premoldados Mutum Ltda.	AREIA
833269/2004	LICENCIAMENTO	Edirlane Virgílio Miranda	AREIA
833289/2004	LICENCIAMENTO	Areal Oriente Ltda. ME	AREIA
833722/2004	LICENCIAMENTO	Construtora Padilha e Oliveira Ltda.	AREIA
830124/2005	LICENCIAMENTO	Areal Naque Ltda.	AREIA
830186/2005	LICENCIAMENTO	Luciano Bifano Bastos ME	AREIA
831278/2005	LICENCIAMENTO	Empresa Geraldo Magela de Souza	AREIA
831384/2005	LICENCIAMENTO	Areal São Pedro Ltda. ME	AREIA
831456/2005	LICENCIAMENTO	Aldarlindo Fernandes Bastos	AREIA
831578/2005	LICENCIAMENTO	Draga de Areia Nossa Senhora Aparecida Ltda.	AREIA
831687/2005	LICENCIAMENTO	José Aparecido de Oliveira	AREIA
831835/2005	LICENCIAMENTO	Márcio Antônio de Assis Almeida ME	AREIA
832098/2005	LICENCIAMENTO	Areial Fortaleza Extração de Areia Ltda. ME	AREIA
832325/2005	LICENCIAMENTO	Florália Transportes Ltda.	AREIA
832650/2005	LICENCIAMENTO	Mentroz Magalhães Lacerda Neto	AREIA
833055/2005	LICENCIAMENTO	Juliano Martins Ribeiro ME	AREIA
830101/2006	LICENCIAMENTO	Fernando Francisco de Oliveira - FI	AREIA
830324/2006	LICENCIAMENTO	3R Materiais de Construção Ltda. EPP	AREIA
830544/2006	LICENCIAMENTO	Fazenda Maravilha Ltda.	AREIA
830764/2006	LICENCIAMENTO	Márcio dos Reis Aleixo	AREIA
831324/2006	Licenciamento	Areal Dois Irmãos de Senhora dos Remédios Ltda.	AREIA
831460/2006	LICENCIAMENTO	Porto de Areia Darbi Ltda.	AREIA
832148/2006	LICENCIAMENTO	Extração de Areia Estrela Dalva Ltda.	AREIA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
832823/2006	LICENCIAMENTO	Walmir Domingos de Oliveira	AREIA
833525/2006	LICENCIAMENTO	Areal Melo Ltda.	AREIA
833745/2006	LICENCIAMENTO	Reinaldo Bernardino Rodrigues ME	AREIA
833750/2006	LICENCIAMENTO	Nelson Lucarelli Filho ME	AREIA
834007/2006	LICENCIAMENTO	Areal Taparuba Ltda. ME	AREIA
834226/2006	LICENCIAMENTO	Cerâmica Duarte e Oliveira Ltda.	AREIA
830164/2007	LICENCIAMENTO	Ramos e Ramos Material Construção e Locação de Maquinas Ltda.	AREIA
831982/2007	LICENCIAMENTO	São Judas Tadeu Extração e Comércio de Areia Ltda.	AREIA
832866/2007	LICENCIAMENTO	Gledsmar Alves de Carvalho	AREIA
833683/2007	LICENCIAMENTO	Aterro e Desaterro Três Irmãos Ltda.	AREIA
834065/2007	LICENCIAMENTO	Clarofilito Santa Clara Ltda.	AREIA
834648/2007	LICENCIAMENTO	Areal Ilha do Rio Doce Ltda.	AREIA
832827/2008	LICENCIAMENTO	Nilton Marques de Lima	AREIA
833770/2008	LICENCIAMENTO	Clebio de Souza Reis ME	AREIA
833967/2008	LICENCIAMENTO	Eni do Carmo de Freitas Sales ME	AREIA
834135/2008	LICENCIAMENTO	Weyne Virgilio de Carvalho	AREIA
834095/2007	LICENCIAMENTO	Areal Bela Vista Ltda.	AREIA
833825/2007	LICENCIAMENTO	Carlos José do Nascimento	AREIA
834730/2008	LICENCIAMENTO	Areal Boa Esperança Ltda. ME	AREIA
830465/2009	LICENCIAMENTO	João Ribeiro	AREIA
830956/2009	LICENCIAMENTO	Jb Mineração e Comércio Ltda. ME	AREIA
831597/2009	LICENCIAMENTO	Carlos Alves Caldeira	AREIA
832984/2005	LICENCIAMENTO	Francisco Sales de Barros	AREIA
832170/2009	LICENCIAMENTO	Areal Naque Ltda.	AREIA
832305/2009	LICENCIAMENTO	Reginei Andrade Martins	AREIA
832368/2009	LICENCIAMENTO	Juarez Lopes Duarte e Cia. Ltda.	AREIA
833669/2008	LICENCIAMENTO	Materiais de Construção Coelho e Cunha Ltda.	AREIA
832614/2009	LICENCIAMENTO	R B da Silva Araujo ME	AREIA
834504/2008	LICENCIAMENTO	Areal Tumiritinga Ltda. ME	AREIA
831175/2009	LICENCIAMENTO	Joenio & Messias Transporte Ltda.	AREIA
832732/2009	LICENCIAMENTO	Areal Naque Ltda.	AREIA
830612/2009	LICENCIAMENTO	Areial Açucena Ltda.	AREIA
831677/2009	LICENCIAMENTO	Helbert Bittencourt de Moura Campos ME	AREIA
831672/2006	LICENCIAMENTO	Celinha Stoppa ME	AREIA
830585/2010	LICENCIAMENTO	Almeida Comércio de Material de Construção Ltda. ME	AREIA
831644/2008	LICENCIAMENTO	Draga de Areia Nossa Senhora Aparecida Ltda.	AREIA
832509/2010	LICENCIAMENTO	Nk Comércio e Serviço Ltda. ME	AREIA
832857/2010	LICENCIAMENTO	Vale do Anjo Transportes Extração e Comércio de Areia Ltda. ME	AREIA
832148/2009	LICENCIAMENTO	Helyana Souza Mello Oliveira Vieira ME	AREIA
831404/2009	LICENCIAMENTO	Irene Silveria da Silva Gonçalves ME	AREIA
833788/2010	LICENCIAMENTO	Jose Afranio Meira de Aguiar	AREIA
831148/2010	LICENCIAMENTO	Virgilio Damásio Gomes Guimarães	AREIA
831279/2003	LICENCIAMENTO	Draga de Areia Nossa Senhora Aparecida Ltda.	AREIA
834379/2010	LICENCIAMENTO	Carlos Alves Caldeira	AREIA
832636/2010	LICENCIAMENTO	Areial Candonga	AREIA
834590/2010	LICENCIAMENTO	Reynaldo Costa Ferreira ME	AREIA
830786/2011	LICENCIAMENTO	Areal Herculano Ltda.	AREIA
833874/2006	LICENCIAMENTO	Nelson Lucarelli Filho ME	AREIA
832408/2011	LICENCIAMENTO	Oliveira & Marques Extração e Comércio de Areia Ltda. ME	AREIA
832583/2011	LICENCIAMENTO	Adalberto Antônio Barbosa	AREIA
833310/2011	LICENCIAMENTO	Vander Moreira de Deus e Cia Ltda. ME	AREIA
834570/2011	LICENCIAMENTO	Onofre Nério Pavione	AREIA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
834591/2011	LICENCIAMENTO	Carlinhos Teixeira Batista ME	AREIA
830109/2011	LICENCIAMENTO	Daniela Pereira Silva Araujo	AREIA
830630/2011	LICENCIAMENTO	Nelson Rodrigues da Silva 01064046606	AREIA
834136/2011	LICENCIAMENTO	F. A de Souza	AREIA
832748/2009	LICENCIAMENTO	Claudia Talyta Schittine Soares de Freitas ME	AREIA
832513/2012	LICENCIAMENTO	Avelino Cypriano de Oliveira	AREIA
830680/2008	LICENCIAMENTO	Seixo Indústria e Comércio Ltda.	AREIA
832073/2012	LICENCIAMENTO	Arpebri Comercial Ltda.	AREIA
834088/2012	LICENCIAMENTO	Delta Indústria e Comércio de Premoldados Ltda.	AREIA
830200/2013	LICENCIAMENTO	Nk Comércio e Serviço Ltda. ME	AREIA
830594/2012	LICENCIAMENTO	Areal Boa Esperanþa Ltda. ME	AREIA
832271/2012	LICENCIAMENTO	Mmc Consultoria e Participações Ltda.	AREIA
833563/2012	LICENCIAMENTO	Areal Bela Vista Ltda.	AREIA
833169/2012	LICENCIAMENTO	Marlene Maria Braga de Barros ME	AREIA
832172/2012	LICENCIAMENTO	Aloncio José Guedes ME	AREIA
833274/2004	LICENCIAMENTO	Extração e Comércio de Areia Dois Irmãos Dp Ltda.	AREIA
831061/2013	LICENCIAMENTO	Extrativa Excael Ltda. ME	AREIA
832056/2013	LICENCIAMENTO	Ricardo Franco	AREIA
832508/2013	LICENCIAMENTO	Marcelo Rodrigues Alvim ME	AREIA
830803/2013	LICENCIAMENTO	Cerâmica Irmãos Zucoloto Luz Ltda.	AREIA
831114/2013	LICENCIAMENTO	Caetano Edson Pereira	AREIA
832596/2013	LICENCIAMENTO	Arc Areial Rio Casca Ltda.	AREIA
831850/2013	LICENCIAMENTO	José Geraldo Moreira	AREIA
831639/2013	LICENCIAMENTO	Areial Candonga	AREIA
831945/2013	LICENCIAMENTO	Vicente Pimentel Rhodes ME	AREIA
830078/2001	LICENCIAMENTO	Lizardo Extração e Comercialização de Areia Ltda.	AREIA
833254/2013	LICENCIAMENTO	Willy Kaizer Neto	AREIA
833138/2013	LICENCIAMENTO	T. R. Zoia de Sousa ME	AREIA
832409/2011	LICENCIAMENTO	Oliveira & Marques Extração e Comércio de Areia Ltda. ME	AREIA
830478/2014	LICENCIAMENTO	João Ribeiro	AREIA
830449/2014	LICENCIAMENTO	Auto Marcas Pontual Ltda. ME	AREIA
831547/2014	LICENCIAMENTO	Gledsmar Alves de Carvalho	AREIA
830144/2014	LICENCIAMENTO	Renato José de Barros	AREIA
830995/2014	LICENCIAMENTO	João Valério Cardoso ME	AREIA
832830/2014	LICENCIAMENTO	Vicente Pimentel Rhodes ME	AREIA
833066/2014	LICENCIAMENTO	Rosangela Nunes Barroso de Lelis	AREIA
833248/2014	LICENCIAMENTO	Claudia Vidal Oliveira Martins	AREIA
832822/2014	LICENCIAMENTO	Cp Empreendimentos Gerais Ltda. ME	AREIA
833038/2014	LICENCIAMENTO	Areal Ferrense Ltda. ME	AREIA
833098/2014	LICENCIAMENTO	Argila Rhodes Ltda.	AREIA
833067/2014	LICENCIAMENTO	Geraldo Gomes Mourão ME	AREIA
830179/2015	LICENCIAMENTO	Lucimar Silverio de Freitas Chaves EPP	AREIA
830099/2015	LICENCIAMENTO	Onofre Nério Pavione	AREIA
833613/2014	LICENCIAMENTO	Márcio Antônio de Assis Almeida ME	AREIA
830267/2015	LICENCIAMENTO	G3 Material de Construção	AREIA
830329/2015	LICENCIAMENTO	G3 Material de Construção	AREIA
830328/2015	LICENCIAMENTO	G3 Material de Construção	AREIA
831050/2015	LICENCIAMENTO	Trans Pacheco Comércio e Transporte Ltda. ME	AREIA
831337/2015	LICENCIAMENTO	São Judas Tadeu Extração e Comércio de Areia Ltda.	AREIA
831104/2015	LICENCIAMENTO	Areal Taparuba Ltda. ME	AREIA
831142/2000	LICENCIAMENTO	Antonio Daniel Guimarães	AREIA
830047/2016	LICENCIAMENTO	Gabriel Felipe Gomes ME	AREIA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
830034/2016	LICENCIAMENTO	Erv Comércio e Serviços Ltda. ME	AREIA
831094/2015	LICENCIAMENTO	G3 Material de Construção	AREIA
831948/2016	LICENCIAMENTO	Fabricia Tatiana Barbosa ME	AREIA
831759/2016	LICENCIAMENTO	Thiago Santana Maia	AREIA
896677/2006	LICENCIAMENTO	A.b.e.c Areia Baunilha Extração e Comércio Ltda. ME	AREIA
896569/2007	LICENCIAMENTO	Construlittig Premoldados Ltda	AREIA
896791/2007	LICENCIAMENTO	Tercol Terraplenagem e Construções Ltda.	AREIA
896907/2008	LICENCIAMENTO	Edivaldo Mielke ME	AREIA
896140/2009	LICENCIAMENTO	Areal Extração e Comércio de Areia Ltda. ME	AREIA
896838/2009	LICENCIAMENTO	F2 Extração e Transportes Ltda.	AREIA
896839/2009	LICENCIAMENTO	Construlittig Premoldados Ltda.	AREIA
896096/2010	LICENCIAMENTO	Arebrita Santa Luzia Ltda. ME	AREIA
896159/2010	LICENCIAMENTO	FJF Extração Mineral Ltda.	AREIA
896037/2010	LICENCIAMENTO	Indústria e Comércio de Premoldados Zietlow Ltda. ME	AREIA
896403/2011	LICENCIAMENTO	Mineradora Cachoeira Ltda. ME	AREIA
896212/2011	LICENCIAMENTO	Zacchi & Cia Ltda. EPP	AREIA
896467/2011	LICENCIAMENTO	Agro Serrana Comércio Ltda.	AREIA
896689/2011	LICENCIAMENTO	Mineração Pinga Fogo Ltda. ME	AREIA
896079/2012	LICENCIAMENTO	Mineradora Asa Branca Eireli ME	AREIA
896083/2012	LICENCIAMENTO	Valley Stones Extração de Areia e Transportes Eireli ME	AREIA
896663/2011	LICENCIAMENTO	Petróleo Brasileiro S.A.	AREIA
896459/2011	LICENCIAMENTO	Sabbia Comércio de Areia Ltda. ME	AREIA
896014/2011	LICENCIAMENTO	Jk Extração Beneficiamento e Comércio de Areia Ltda. ME	AREIA
896201/2012	LICENCIAMENTO	Joaquim Santana de Oliveira	AREIA
896385/2012	LICENCIAMENTO	Mauro Daniel Deorce	AREIA
896393/2012	LICENCIAMENTO	Juadir Antônio Rezende Nascimento ME	AREIA
896455/2012	LICENCIAMENTO	Mineração Rancho Dantas Ltda. ME	AREIA
896554/2012	LICENCIAMENTO	Celso Braga da Silva	AREIA
896462/2011	LICENCIAMENTO	Trascol Tratores, Serviços e Comércio Ltda.	AREIA
896449/2010	LICENCIAMENTO	Rio Doce Consultoria Ltda.	AREIA
896422/2010	LICENCIAMENTO	A.b.e.c Areia Baunilha Extração e Comércio Ltda. ME	AREIA
896056/2013	LICENCIAMENTO	Mateguaçu Material de Construção Ltda. ME	AREIA
896058/2013	LICENCIAMENTO	Felinos Premoldados Ltda. ME	AREIA
896375/2013	LICENCIAMENTO	João Batista Colombo	AREIA
896538/2013	LICENCIAMENTO	Laiane Mineração Ltda. ME	AREIA
896628/2012	LICENCIAMENTO	Areia Rio Doce Ltda.	AREIA
896031/2014	LICENCIAMENTO	Mineradora Cachoeira Ltda. ME	AREIA
896170/2014	LICENCIAMENTO	LucinÚia Nogueira da Silva Duque ME	AREIA
896600/2014	LICENCIAMENTO	Mineração Brejetuba Ltda. ME	AREIA
896523/2014	LICENCIAMENTO	Francisco Paulo Alves de Lima Junior	AREIA
896414/2014	LICENCIAMENTO	Mauro Daniel Deorce	AREIA
896022/2014	LICENCIAMENTO	Kimaq Terraplenagem Ltda.	AREIA
896203/2010	LICENCIAMENTO	Arebrita Santa Luzia Ltda. ME	AREIA
896175/2015	LICENCIAMENTO	Gabriel Rosa Machado ME	AREIA
896337/2015	LICENCIAMENTO	Mineração P. Silva Ltda. ME	AREIA
896089/2015	LICENCIAMENTO	Areial São José Ltda.	AREIA
896182/2015	LICENCIAMENTO	Israel Deriz Neto	AREIA
896074/2016	LICENCIAMENTO	Valley Stones Extração de Areia e Transportes Eireli ME	AREIA
832677/2004	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Oratórios	AREIA
832080/2005	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Nova Era	AREIA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
834711/2007	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Nova Módica	AREIA
832736/2008	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Ferros	AREIA
832761/2008	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Ferros	AREIA
832762/2008	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Ferros	AREIA
832784/2008	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Ferros	AREIA
832981/2009	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Jaguaraçu	AREIA
830135/2011	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de São Domingos do Prata	AREIA
820934/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Saint Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda.	AREIA DE FUNDIÇÃO
830190/1985	CONCESSÃO DE LAVRA	Silica Sand Mineração Ltda.	AREIA DE FUNDIÇÃO
5632/1966	CONCESSÃO DE LAVRA	Bolivar Marroni de Paiva ME	AREIA QUARTZOSA
8557/1965	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Bonsucesso Ltda.	ARENITO
896551/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Imperial Ltda.	ARGILA
896602/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Pransal Indústria Cerâmica Ltda. EPP	ARGILA
896075/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Arco-íris Ltda. EPP	ARGILA
896074/2005	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Rudio Ltda. EPP	ARGILA
896248/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Elite Ltda. EPP	ARGILA
896601/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Finco Ltda. ME	ARGILA
896032/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Líder Ltda.	ARGILA
890189/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Três Irmãos Granitos Exportação Importação Ltda.	ARGILA
896709/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	R C Nogueira Prestadora Serviços Aluguel de Equipamentos	ARGILA
896365/1999	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica São Roque Ltda. EPP	ARGILA
896075/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Cerâmica Arco-íris Ltda. EPP	ARGILA
832382/2001	LICENCIAMENTO	Alves e Rocha Ltda.	ARGILA
832718/2001	LICENCIAMENTO	Cerâmica Irmãos Zucoloto Luz Ltda.	ARGILA
830034/2002	LICENCIAMENTO	Cerâmica Oriente Ltda. ME	ARGILA
830116/2002	LICENCIAMENTO	Cerâmica Santa Cruz Ltda.	ARGILA
830117/2002	LICENCIAMENTO	Cerâmica Santa Cruz Ltda.	ARGILA
832310/2002	LICENCIAMENTO	Cerâmica do Espanhol Ltda. EPP	ARGILA
832236/2003	LICENCIAMENTO	Cerâmica Nossolar Ltda.	ARGILA
832548/2003	LICENCIAMENTO	Cerâmica do Vale Ltda.	ARGILA
831354/2004	LICENCIAMENTO	Cerâmica e Filito Sagrada Família Ltda.	ARGILA
831355/2004	LICENCIAMENTO	Cerâmica e Filito Sagrada Família Ltda.	ARGILA
832094/2004	LICENCIAMENTO	Cerâmica Alpercata Ltda.	ARGILA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
832374/2004	LICENCIAMENTO	Mineradora do Vale Ltda. ME	ARGILA
832970/2004	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
831400/2005	LICENCIAMENTO	Souza's Industrial Ltda.	ARGILA
831407/2005	LICENCIAMENTO	Cerâmica Nossolar Ltda.	ARGILA
831536/2005	LICENCIAMENTO	Cerâmica Alpercata Ltda.	ARGILA
833146/2005	LICENCIAMENTO	Floremil Braz Filho ME	ARGILA
830374/2006	LICENCIAMENTO	Nova Cerâmica Ltda.	ARGILA
831646/2006	LICENCIAMENTO	Indústria e Comércio de Tijolos Ipaba Ltda. ME	ARGILA
833751/2006	LICENCIAMENTO	Indústria e Comércio de Tijolos Ipaba Ltda. ME	ARGILA
834114/2006	LICENCIAMENTO	Leda Marcia Lemos Luz ME	ARGILA
831324/2007	LICENCIAMENTO	Cerâmica Belo Oriente Ltda.	ARGILA
831700/2007	LICENCIAMENTO	Cerâmica Tradição Ltda. ME	ARGILA
831705/2007	LICENCIAMENTO	Cerâmica Terra Nossa Ltda.	ARGILA
832637/2007	LICENCIAMENTO	Cescal Cerâmica São Carlos Ltda. ME	ARGILA
833655/2007	LICENCIAMENTO	Cerâmica Itambacuri Ltda.	ARGILA
831506/2008	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
832380/2008	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
830889/2009	LICENCIAMENTO	Indústria Comércio Cerâmica Santa Rita Ltda.	ARGILA
832021/2009	LICENCIAMENTO	Tavares Extração de Argila Ltda. ME	ARGILA
832120/2008	LICENCIAMENTO	Mineradora do Vale Ltda. ME	ARGILA
830039/2010	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
832018/2009	LICENCIAMENTO	Wanderley Coelho Ferrão	ARGILA
830501/2010	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
830990/2010	LICENCIAMENTO	Cerâmica Taruaçu Ltda.	ARGILA
832568/2010	LICENCIAMENTO	Cerâmica Tradição Limitada ME	ARGILA
834213/2011	LICENCIAMENTO	Indústria e Comércio Massiolite Pavione Ltda.	ARGILA
833307/2011	LICENCIAMENTO	Margon Indústria e Comércio Ltda. EPP	ARGILA
834423/2012	LICENCIAMENTO	Cerâmica Rancho Fundo	ARGILA
834245/2012	LICENCIAMENTO	Ceramica Terra Nossa Ltda.	ARGILA
833840/2012	LICENCIAMENTO	Kill Cerâmica Nova Ltda. EPP	ARGILA
832207/2013	LICENCIAMENTO	Produtos Cerâmicos Especiais do Leste de Minas Ltda.	ARGILA
831687/2013	LICENCIAMENTO	Cerâmica Santa Clara Ltda. EPP	ARGILA
833687/2013	LICENCIAMENTO	Cerâmica Oriente Ltda. ME	ARGILA
833390/2013	LICENCIAMENTO	Cerâmica Oriente Ltda. ME	ARGILA
831025/2014	LICENCIAMENTO	Cerâmica Senador Ltda. ME	ARGILA
831244/2014	LICENCIAMENTO	Cerâmica L & M Ltda.	ARGILA
832419/2014	LICENCIAMENTO	Cerâmica Leste de Minas Ltda. ME	ARGILA
833330/2014	LICENCIAMENTO	Cerâmica Isadora Ltda. EPP	ARGILA
833379/2014	LICENCIAMENTO	Cerâmica Beija Flor Ltda.	ARGILA
830486/2015	LICENCIAMENTO	Cerâmica L & M Ltda.	ARGILA
830898/2015	LICENCIAMENTO	Gustavo de Oliveira Arruda	ARGILA
831107/2015	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
831108/2015	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
831695/2015	LICENCIAMENTO	Mineradora Caldense Ltda.	ARGILA
896660/2003	LICENCIAMENTO	Cerâmica Santa Luzia Ltda. ME	ARGILA
896550/2009	LICENCIAMENTO	Cerâmica Cinco Ltda.	ARGILA
896373/2012	LICENCIAMENTO	Ficol Indústria e Cerâmica Ltda. ME	ARGILA
896405/2011	LICENCIAMENTO	Kill Cerâmica Nova Ltda. EPP	ARGILA
896679/2012	LICENCIAMENTO	Petróleo Brasileiro S.A.	ARGILA
896680/2012	LICENCIAMENTO	Petróleo Brasileiro S.A.	ARGILA
896132/2013	LICENCIAMENTO	N. N. Extração de Argila Ltda. ME	ARGILA
896165/2013	LICENCIAMENTO	N. N. Extração de Argila Ltda. ME	ARGILA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
896597/2011	LICENCIAMENTO	Cerâmica Elite Ltda. EPP	ARGILA
896119/2013	LICENCIAMENTO	Cerâmica Líder Ltda.	ARGILA
896033/2015	LICENCIAMENTO	Cerâmica Safira Ltda. EPP	ARGILA
896556/2014	LICENCIAMENTO	José Antônio Rossi	ARGILA
2916/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
8774/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
1183/1958	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
8624/1958	CONCESSÃO DE LAVRA	Alcoa Alumínio Poços de Caldas S.A.	BAUXITA
2692/1959	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
5268/1959	CONCESSÃO DE LAVRA	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA
7182/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
7248/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
3071/1962	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	BAUXITA
2680/1963	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
3022/1965	CONCESSÃO DE LAVRA	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA
4099/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	BAUXITA
4100/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA
800631/1968	CONCESSÃO DE LAVRA	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA
830232/1978	CONCESSÃO DE LAVRA	Bauminas Mineração Ltda.	BAUXITA
830684/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	BAUXITA
830765/1980	CONCESSÃO DE LAVRA	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA
832398/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA
832399/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA
832401/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA
831028/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA
2735/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Tatu Ltda.	BERILO
831356/1992	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Córrego do Ouro Ltda.	BERILO
3174/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Brasil Ltda.	BERILO
832807/2009	LAVRA GARIMPEIRA	Maria Viana de Araújo	BERILO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
830480/2010	LAVRA GARIMPEIRA	Regina Célia Morandi Tavares	BERILO
832603/2010	LAVRA GARIMPEIRA	Ubirajara Pereira	BERILO
831263/2013	LAVRA GARIMPEIRA	Gilberto Rodrigues da Costa	BERILO
831863/2013	LAVRA GARIMPEIRA	Adeir Hipolito Maipira ME	BERILO
831864/2013	LAVRA GARIMPEIRA	Celio Emerick ME	BERILO
832593/2013	LAVRA GARIMPEIRA	José Pedra Junior	BERILO
830302/2014	LAVRA GARIMPEIRA	G. F. Neves Mineração ME	BERILO
830235/2014	LAVRA GARIMPEIRA	Nage Bou Merhi Filho	BERILO
831384/2014	LAVRA GARIMPEIRA	Milton Dias Godinho	BERILO
830014/2015	LAVRA GARIMPEIRA	Rc Morandi Tavares Mineração ME	BERILO
830286/2015	LAVRA GARIMPEIRA	Ioni Maria Campolina Cohen	BERILO
831118/2015	LAVRA GARIMPEIRA	Nemias Martins de Souza	BERILO
2759/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Cimento Tupi S.A.	CALCÁRIO
5385/1944	CONCESSÃO DE LAVRA	Enrico Guarneri Ltda	CALCÁRIO
2503/1946	CONCESSÃO DE LAVRA	Cimento Tupi S.A.	CALCÁRIO
6803/1948	CONCESSÃO DE LAVRA	Gilberta Ribeiro da Silva	CALCÁRIO
369/1965	CONCESSÃO DE LAVRA	Gelcyra Violeta de Carvalho	CALCÁRIO DOLOMÍTICO
833316/2004	LICENCIAMENTO	Cenibra Logística Ltda.	CASCALHO
833318/2004	LICENCIAMENTO	Cenibra Logística Ltda.	CASCALHO
831174/2005	LICENCIAMENTO	Centaurus Brasil Mineração Ltda.	CASCALHO
831179/2005	LICENCIAMENTO	Cascalheira Matinha Silva Ltda. ME	CASCALHO
830602/2006	LICENCIAMENTO	Mineração Caracol Ltda.	CASCALHO
832877/2006	LICENCIAMENTO	Reinaldo Bernardino Rodrigues ME	CASCALHO
831484/2007	LICENCIAMENTO	Arcelormittal Florestas Ltda.	CASCALHO
831538/2010	LICENCIAMENTO	José Evangelista Araújo	CASCALHO
832350/2009	LICENCIAMENTO	Cenibra Logística Ltda.	CASCALHO
832801/2012	LICENCIAMENTO	Celulose Nipo-Brasileira S.A. - CENIBRA	CASCALHO
830677/2013	LICENCIAMENTO	Cascalheira Jatiboca Ltda. ME	CASCALHO
831686/2013	LICENCIAMENTO	Turibio Pedro de Souza ME	CASCALHO
833068/2013	LICENCIAMENTO	Cenibra Logística Ltda.	CASCALHO
831024/2014	LICENCIAMENTO	Cascalheira Prainha Ltda. ME	CASCALHO
831775/2014	LICENCIAMENTO	Adenilho Gonçalves Marques	CASCALHO
831953/2014	LICENCIAMENTO	Cascalheira Matinha Silva Ltda. ME	CASCALHO
832283/2014	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO
832284/2014	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO
832285/2014	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO
833574/2014	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
830920/2015	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO
830919/2015	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO
830921/2015	LICENCIAMENTO	Consórcio Grupo Isolux Corsan Engevix	CASCALHO
831825/2015	LICENCIAMENTO	Mineração Lopas Ltda.	CASCALHO
896311/2009	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Município de Itarana	CASCALHO
896312/2009	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Município de Itarana	CASCALHO
833815/2007	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Barão de Cocais	CASCALHO
832733/2008	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Conceição do Mato Dentro	CASCALHO
834764/2008	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Jequeri	CASCALHO
830183/2009	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Abre Campo	CASCALHO
833523/2013	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Município de Braúnas	CASCALHO
830622/2014	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Alvorada de Minas	CASCALHO
830093/2017	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Mariana	CASCALHO
896313/2009	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Município de Itarana	CASCALHO
807773/1968	CONCESSÃO DE LAVRA	IRMÃOS GUILHERMINO LTDA.	CAULIM
815382/1970	CONCESSÃO DE LAVRA	Massa Falida se Mineração Caolinita Ltda.	CAULIM
821923/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais	CAULIM
810455/1974	CONCESSÃO DE LAVRA	Empresa se Caolim Ltda.	CAULIM
806981/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais	CAULIM
832916/1996	CONCESSÃO DE LAVRA	Caolim Azzi Ltda.	CAULIM
830980/1999	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Canaã Indústria e Comércio Ltda. ME	CAULIM
831127/1981	CONCESSÃO DE LAVRA	Magnesita Mineração S.A.	CIANITA
830500/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Magnesita Mineração S.A.	CIANITA
1492/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Niquelminas S.A.	COBRE
832110/1996	LAVRA GARIMPEIRA	Arismario Lopes da Silva	COLUMBITA
801020/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Empresa Rada de Mineração Ltda.	CROMITA
819636/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Iviturui Ltda.	CROMITA
810381/1970	CONCESSÃO DE LAVRA	Empresa Rada de Mineração Ltda.	CROMITA
806674/1971	CONCESSÃO DE LAVRA	Empresa Rada de Mineração Ltda.	CROMITA

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
811890/1971	CONCESSÃO DE LAVRA	Empresa Rada de Mineração Ltda.	CROMITA
890087/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Granicap Granitos Capixaba Ltda.	DIORITO
47/1943	CONCESSÃO DE LAVRA	Gandarela Minérios Ltda.	DOLOMITO
8299/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	DOLOMITO
830804/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Gandarela Minérios Ltda.	DOLOMITO
832465/2009	LICENCIAMENTO	Cooperativa dos Trabalhadores da Pedreira Santa Efigênia	DOLOMITO
830142/1978	CONCESSÃO DE LAVRA	Belmont Mineração Ltda.	ESMERALDA
830688/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Mcg Mineração Canta Galo Indústria, Comércio, Importação e Exportação Ltda.	ESMERALDA
832168/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Piteiras Mineração Ltda.	ESMERALDA
831284/1997	CONCESSÃO DE LAVRA	Beibra Mineração S.A.	ESMERALDA
831268/1993	LAVRA GARIMPEIRA	Coopnera – Cooperativa dos Garimpeiros de Nova Era Ltda.	ESMERALDA
830174/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Opps Comércio e Exportação Ltda.	ESTEATITO
832602/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Micapel Mineração Capão das Pedras Ltda.	ESTEATITO
830901/1999	CONCESSÃO DE LAVRA	T. B. Loch e Cia. Ltda.	ESTEATITO
5075/1941	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Ipê Ltda. ME	FELDSPATO
809232/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Geometa Ltda.	FELDSPATO
832649/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Eminosa Empresa de Mineração Ltda.	FELDSPATO
833245/2013	CONCESSÃO DE LAVRA	Cooperativa dos Garimpeiros e Extrativista do Vale do Rio Doce Ltda.	FELDSPATO
847/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2312/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2620/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
847/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
847/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
847/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
847/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
577/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2917/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Espólio de Serafim da Silva Gomes	FERRO
2918/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Geral do Brasil S.A.	FERRO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
3237/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Somifra Sociedade Comercial e Industrial de Minérios Refratários S.A.	FERRO
4644/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
291701/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Topázio Imperial Mineração Comércio e Indústria Ltda.	FERRO
2295/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Mf Serviços Combinados de Escritório e Apoio Administrativo S.A.	FERRO
2354/1941	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2355/1941	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
6474/1948	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
3305/1951	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2132/1952	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
3978/1953	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
3979/1953	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
4625/1955	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
8298/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
8300/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Cia. de Mineração Rio Acima	FERRO
1107/1957	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
1108/1957	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
6896/1957	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
1182/1958	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
1184/1958	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
1834/1958	CONCESSÃO DE LAVRA	Setovi Mineração Ltda.	FERRO
5441/1958	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
98/1959	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Um Valemix Micon Mineração Congonhas Ltda.	FERRO
3390/1959	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
7262/1959	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Candonga S.A.	FERRO
7416/1959	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2808/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
4312/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
8337/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
1791/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
4655/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Marsil Ltda.	FERRO
5148/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO
6498/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Baovale Mineração S.A.	FERRO
8774/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
3951/1962	CONCESSÃO DE LAVRA	Extracomil Ltda.	FERRO
1246/1963	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
1320/1963	CONCESSÃO DE LAVRA	P. Amaral Sobreira (espólio de Pedro Amaral Sobreira)	FERRO
1463/1963	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	FERRO
3763/1963	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2185/1965	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
1721/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Samarco Mineração S.A.	FERRO
2263/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
2264/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Samarco Mineração S.A.	FERRO
2265/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Samarco Mineração S.A.	FERRO
3499/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
3500/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
3501/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
816173/1968	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
811973/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
811975/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
811976/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
811977/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
811979/1969	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
820326/1971	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
800704/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
816623/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
820753/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
820762/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
820763/1972	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
805228/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
813883/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
813885/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
800220/1974	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
800299/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
800941/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
801204/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
802189/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
805280/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
806099/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
800156/1976	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
830915/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
830232/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Baovale Mineração S.A.	FERRO
1978/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Gerdau Açominas S.A.	FERRO
9608/1942	CONCESSÃO DE LAVRA	Morgan Mineração Indústria e Comércio Ltda. EPP	FERRO
830370/1985	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
807959/1976	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
5130/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Anglo American Minérios de Ferro Brasil S.A.	FERRO
1016/1963	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
6499/1961	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
816313/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO
43309/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Companhia Siderúrgica Nacional	FERRO MANGANÊS
11207/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	FERRO MANGANÊS
830687/1980	CONCESSÃO DE LAVRA	Topázio Imperial Mineração Comércio e Indústria Ltda.	GEMA
218/1957	CONCESSÃO DE LAVRA	Addario's Mineração Ltda.	GIBBSITA
803961/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Braminex Brasileira de Mármore Exportação S A.	GNAISSE

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
890004/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos e Mármores Machado Ltda. EPP	GNAISSE
890033/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Granlima Indústria e Comércio de Granitos Ltda. ME	GNAISSE
890390/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Delta Mineração Ltda.	GNAISSE
896070/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GNAISSE
890312/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Minercol Mineração Collodetti Ltda. ME	GNAISSE
810563/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Um Ltda.	GNAISSE
830931/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Rolim Ltda.	GNAISSE
831239/1997	CONCESSÃO DE LAVRA	Belmont Mineração Ltda.	GNAISSE
831555/1997	CONCESSÃO DE LAVRA	Monte Santo Stone S.A.	GNAISSE
831677/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Planalto S.A.	GNAISSE
832342/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Madalena Ltda.	GNAISSE
830996/1980	LICENCIAMENTO	Engesol Indústria e Mineração Ltda. ME	GNAISSE
831078/1980	LICENCIAMENTO	Pedreira São João Ltda.	GNAISSE
830803/1982	LICENCIAMENTO	Itabira Granitos e Cerâmica Ltda.	GNAISSE
831193/1996	LICENCIAMENTO	Pedreira Rolim Ltda.	GNAISSE
833698/1996	LICENCIAMENTO	Pedreira São João Ltda.	GNAISSE
832145/2000	LICENCIAMENTO	Adeir Borges Marta ME	GNAISSE
830520/2001	LICENCIAMENTO	Pedreira Oratorios Ltda.	GNAISSE
831791/2003	LICENCIAMENTO	Pedreira Resplendor Ltda.	GNAISSE
832881/2003	LICENCIAMENTO	Bonisson Indústria e Comércio Ltda.	GNAISSE
833132/2003	LICENCIAMENTO	Pedreira Um Valemix Ltda.	GNAISSE
831882/2005	LICENCIAMENTO	Abreu & Lima Ltda.	GNAISSE
830262/2006	LICENCIAMENTO	Expedito Ramon Salgado Pereira ME	GNAISSE
832004/2007	LICENCIAMENTO	Pedreira Ervália Ltda.	GNAISSE
830647/2008	LICENCIAMENTO	Britadora Ramos Ltda.	GNAISSE
832852/2008	LICENCIAMENTO	Britagem Pedra Fort Ltda.	GNAISSE
834843/2008	LICENCIAMENTO	CMS Construtora S.A.	GNAISSE
830089/2010	LICENCIAMENTO	Tem Teixeiras Estradas e Mineração Ltda.	GNAISSE
834044/2011	LICENCIAMENTO	Mg Drill Detonações e Perfurações Ltda.	GNAISSE
830969/2012	LICENCIAMENTO	Britador São Geraldo Ltda.	GNAISSE
834231/2012	LICENCIAMENTO	Piall Pedras Industrializadas Ipanema Ltda.	GNAISSE
830428/2012	LICENCIAMENTO	Pedreira Abre Campo Indústria e Comércio Ltda.	GNAISSE
831245/2014	LICENCIAMENTO	Piall Pedras Industrializadas Ipanema Ltda.	GNAISSE
830186/2015	LICENCIAMENTO	Mineração Estrela Dalva Ltda.	GNAISSE
833017/2015	LICENCIAMENTO	Orion Consultoria e Representação Ltda.	GNAISSE
830344/2015	LICENCIAMENTO	Pedreira Abre Campo Indústria e Comércio Ltda.	GNAISSE
896310/2004	LICENCIAMENTO	Pedreira Lajinha Ltda.	GNAISSE
831008/1997	LICENCIAMENTO	Poupy Distribuidora Comercial Ltda.	GNAISSE P/ BRITA
807047/1974	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
813866/1974	CONCESSÃO DE LAVRA	Granicap Granitos Capixaba Ltda.	GRANITO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
800953/1976	CONCESSÃO DE LAVRA	Braminex Brasileira de Mármore Exportação S.A.	GRANITO
800954/1976	CONCESSÃO DE LAVRA	Braminex Brasileira de Mármore Exportação S.A.	GRANITO
803468/1978	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
890095/1978	CONCESSÃO DE LAVRA	Imigran Indústria e Comércio Eireli ME	GRANITO
890228/1981	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
890247/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Fm Mineração Ltda. EPP	GRANITO
890246/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Imigran Indústria e Comércio Eireli ME	GRANITO
890309/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreiras do Brasil S.A.	GRANITO
890142/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Braminex Brasileira de Mármore Exportação S.A.	GRANITO
890266/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Delta Mineração Ltda.	GRANITO
890361/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos Laranjeira Ltda.	GRANITO
890561/1985	CONCESSÃO DE LAVRA	Eugenio Hachbardt ME	GRANITO
890029/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos e Mármores Machado Ltda. EPP	GRANITO
890083/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Granfort Granitos Fortaleza Ltda.	GRANITO
890203/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Três Irmãos Granitos Exportação Importação Ltda.	GRANITO
890473/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Itarana Ltda. ME	GRANITO
890142/1987	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos Matatias Ltda.	GRANITO
890367/1988	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Cascavel Eireli EPP	GRANITO
890593/1988	CONCESSÃO DE LAVRA	Guidoni Ornamental Rocks Ltda.	GRANITO
890066/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Marbrasil Ltda.	GRANITO
890067/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Marbrasil Ltda.	GRANITO
890148/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Rc Mineração Ltda. ME	GRANITO
890205/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Guidoni Ornamental Rocks Ltda.	GRANITO
890097/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos Nova Itaguaçu Ltda.	GRANITO
890304/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Cave Importação e Exportação Ltda.	GRANITO
890372/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Cst Mineração Ltda.	GRANITO
890459/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Guidoni Ornamental Rocks Ltda.	GRANITO
890531/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Cajugram Granitos e Mármores do Brasil Ltda.	GRANITO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
890532/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Cajugram Granitos e Mármores do Brasil Ltda.	GRANITO
890543/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Igram Granitos e Mármores Ltda. ME.	GRANITO
890723/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Itamigos Ltda. ME	GRANITO
890169/1992	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerfal Minérios Faccini Ltda.	GRANITO
890236/1992	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Cedros Ltda.	GRANITO
896530/1995	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
896338/1996	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
896328/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Arogran Granitos Ltda.	GRANITO
896527/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Fm Mineração Ltda. EPP	GRANITO
896553/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Granasa Granitos Nacionais Ltda.	GRANITO
896523/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Serra Nova Granitos e Mármores Ltda. EPP	GRANITO
896587/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Ouro Verde Ltda.	GRANITO
896306/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Terrazo Graniti do Brasil Ltda.	GRANITO
896448/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Calvigran Granitos e Mármores Ltda.	GRANITO
896005/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Itamigos Ltda. ME	GRANITO
896611/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	Terrazo Graniti do Brasil Ltda.	GRANITO
896709/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Cedros Ltda.	GRANITO
896587/1995	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
896546/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Vale da Serra Ltda.	GRANITO
890605/1994	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO
890472/1992	CONCESSÃO DE LAVRA	Jk Serviços e Assessoria Ltda.	GRANITO
890237/1992	CONCESSÃO DE LAVRA	Delta Mineração Ltda.	GRANITO
890006/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Pagani Ltda.	GRANITO
813867/1974	CONCESSÃO DE LAVRA	Granicap Granitos Capixaba Ltda.	GRANITO
890199/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Aracui Ltda.	GRANITO
896171/2006	CONCESSÃO DE LAVRA	S & C Gran Mineração Ltda.	GRANITO
896303/2000	CONCESSÃO DE LAVRA	Emil Empresa de Mineração Mimosense Ltda.	GRANITO
890475/1985	CONCESSÃO DE LAVRA	Kamigran Mineração Eireli EPP	GRANITO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
896142/2005	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Marianelli Ltda.	GRANITO
896896/2006	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos Maquigi Ltda. EPP	GRANITO
896421/2000	CONCESSÃO DE LAVRA	Kamigran Mineração Eireli EPP	GRANITO
896422/2000	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Sossai Ltda. ME.	GRANITO
890188/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Serra Nova Granitos e Mármores Ltda. EPP	GRANITO
896222/2011	CONCESSÃO DE LAVRA	Resigran Granitos Ltda.	GRANITO
896311/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Arogran Granitos Ltda.	GRANITO
890144/1988	CONCESSÃO DE LAVRA	Delta Mineração Ltda.	GRANITO
896660/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Arogran Granitos Ltda.	GRANITO
890530/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Rochas São Francisco Mineração Ltda. ME	GRANITO
896607/2006	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos Recanto das Pedras Ltda. ME	GRANITO
896028/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Rio Baunilha Ltda.	GRANITO
890532/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Cajugram Granitos e Mármores do Brasil Ltda.	GRANITO
890361/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Granitos Laranjeira Ltda.	GRANITO
830423/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Iunagral Iuna Granitos Ltda. ME	GRANITO
833922/1994	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Santa Rita de Cássia Ltda. ME	GRANITO
830103/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreiras do Brasil S.A.	GRANITO
831910/1998	CONCESSÃO DE LAVRA	Granasa Granitos Nacionais Ltda.	GRANITO
830949/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	Marcel Mineração Ltda. EPP	GRANITO
830354/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Granasa Granitos Nacionais Ltda.	GRANITO
831621/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Castro & Pereira Ltda.	GRANITO
896311/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Arogran Granitos Ltda.	GRANITO
896660/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Arogran Granitos Ltda.	GRANITO
833040/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	Granasa Granitos Nacionais Ltda.	GRANITO
830884/1987	LICENCIAMENTO	ELIAS DIAS FERREIRA	GRANITO
831580/1996	LICENCIAMENTO	Pedreira Bom Jardim Indústria e Comércio Ltda. EPP	GRANITO
830857/1997	LICENCIAMENTO	Usina Santa Helena Ltda.	GRANITO
830929/2003	LICENCIAMENTO	Areial Candonga	GRANITO
830189/2005	LICENCIAMENTO	Olindo Sudre de Assis	GRANITO
830384/2005	LICENCIAMENTO	Raimundo Nonato Dias Fi	GRANITO
832490/2007	LICENCIAMENTO	Arminda Candida Madureira ME	GRANITO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
830753/2009	LICENCIAMENTO	Pedreira São Roque Ltda. ME	GRANITO
807048/1974	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO ORNAMENTAL
990057/1991	CONCESSÃO DE LAVRA	Marbrasa Norte Mineradora Ltda.	GRANITO ORNAMENTAL
896187/2000	CONCESSÃO DE LAVRA	Britanorte Ltda.	GRANITO P/ BRITA
1583/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	HEMATITA
1076/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	HEMATITA
815821/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	ITABIRITO
7298/1954	CONCESSÃO DE LAVRA	Cmp Ouro Aluvionar Ltda.	MAGNETITA
1099/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Tratex Mineração Ltda.	MANGANÊS
1328/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Chaffyr Ferreira	MANGANÊS
1362/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Nossa Senhora do Sion Ltda.	MANGANÊS
2371/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Nossa Senhora do Sion Ltda.	MANGANÊS
724/1942	CONCESSÃO DE LAVRA	Gerdau Açominas S.A.	MANGANÊS
2809/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	MANGANÊS
805642/1971	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Carrilho Ltda.	MANGANÊS
890391/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Gramil Granitos e Mármores Itapemirim Ltda.	MIGMATITO
831118/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Marmocil Ltda.	MIGMATITO
5600/1945	CONCESSÃO DE LAVRA	Nacional Minérios S.A.	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
830707/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Bauminas Mineração Ltda.	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
830585/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Curimbaba Ltda.	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
832621/1986	CONCESSÃO DE LAVRA	Niki Mineração Comércio e Exportação Ltda.	MINÉRIO DE BERILIO
1540/1960	CONCESSÃO DE LAVRA	Sociedade de Mineração Constelação de Apolo S.A.	MINÉRIO DE COBRE
2308/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Arcelormittal Brasil S.A.	MINÉRIO DE FERRO
2329/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
2433/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Espólio de Wiliam Turner Atherton (Percy Murly Gotto)	MINÉRIO DE FERRO
43312/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
3963/1962	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
12360/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
14051/1967	CONCESSÃO DE LAVRA	Baovale Mineração S.A.	MINÉRIO DE FERRO
804321/1975	CONCESSÃO DE LAVRA	Baovale Mineração S.A.	MINÉRIO DE FERRO
830467/1980	CONCESSÃO DE LAVRA	Titânio Goiás Mineração Ind. e Com. Ltda.	MINÉRIO DE FERRO
830889/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
831588/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
832199/1985	CONCESSÃO DE LAVRA	Baovale Mineração S.A.	MINÉRIO DE FERRO
1100/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Geral do Brasil S A	MINÉRIO DE FERRO
830172/2001	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
830359/2004	CONCESSÃO DE LAVRA	Anglo American Minérios de Ferro Brasil S.A.	MINÉRIO DE FERRO
830024/1993	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
830696/1990	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
831097/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
833409/2007	CONCESSÃO DE LAVRA	Centaurus Brasil Mineração Ltda.	MINÉRIO DE FERRO
831649/2004	CONCESSÃO DE LAVRA	Centaurus Brasil Mineração Ltda.	MINÉRIO DE FERRO
834106/2010	CONCESSÃO DE LAVRA	Centaurus Brasil Mineração Ltda.	MINÉRIO DE FERRO
832979/2002	CONCESSÃO DE LAVRA	Anglo American Minérios de Ferro Brasil S.A.	MINÉRIO DE FERRO
24331/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
433092/1956	CONCESSÃO DE LAVRA	Companhia Siderúrgica Nacional	MINÉRIO DE FERRO
541/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Passagem Mineração S.A.	MINÉRIO DE OURO
830129/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	MINÉRIO DE OURO
830463/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Serras do Oeste Ltda.	MINÉRIO DE OURO
833472/2003	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	MINÉRIO DE OURO
831815/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Heli Moura de Paula Me	MINÉRIO DE OURO
834290/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Carlos Ulisses Mortiner Nunes	MINÉRIO DE OURO
834291/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Carlos Ulisses Mortiner Nunes	MINÉRIO DE OURO
834292/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Carlos Ulisses Mortiner Nunes	MINÉRIO DE OURO
834293/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Carlos Ulisses Mortiner Nunes	MINÉRIO DE OURO
834294/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Carlos Ulisses Mortiner Nunes	MINÉRIO DE OURO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
834295/2011	LAVRA GARIMPEIRA	Carlos Ulisses Mortiner Nunes	MINÉRIO DE OURO
831093/2015	LAVRA GARIMPEIRA	Wagner José Silva	MINÉRIO DE OURO
8432/1965	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Níquel Santa Maria Ltda.	NÍQUEL
2887/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	OURO
336/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Morro Velho Ltda.	OURO
830351/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	OURO
830353/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	OURO
830943/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	OURO
830767/1981	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	OURO
2429/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A.	OURO
337/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Morro Velho Ltda.	OURO
338/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Morro Velho Ltda.	OURO
339/1973	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Morro Velho Ltda.	OURO
1558/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Minas Gerais Ltda.	PEDRA CORADA
10598/1943	CONCESSÃO DE LAVRA	Lapidação Gem Export do Brasil Ltda.	PEDRA CORADA
830177/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Itaitinga Ltda.	PEDRA CORADA
830044/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	Empresa Brasileira do Quartzo Ltda.	QUARTZITO
830186/1989	CONCESSÃO DE LAVRA	Quartzito do Brasil Ltda. EPP	QUARTZITO
830608/1982	CONCESSÃO DE LAVRA	Lídice Mol Muzzi Lamounier	QUARTZITO
803006/1976	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Rio Tanque Ltda.	QUARTZO INDUSTRIAL
830784/2009	LICENCIAMENTO	Delta Indústria e Comércio de Premoldados Ltda.	SAIBRO
830763/2010	LICENCIAMENTO	Cascalheira Lopes & Filhos Ltda.	SAIBRO
830580/2013	LICENCIAMENTO	Tavares Extração de Argila Ltda. ME	SAIBRO
830511/2014	LICENCIAMENTO	Natanias Tavares Valerio	SAIBRO
833036/2014	LICENCIAMENTO	Fernanda Salim Arquitetura, Interiores e Meio Ambiente	SAIBRO
830982/2006	LICENCIAMENTO	Karine Transportes de Passagueiros Ltda. ME	SAIBRO
896633/2008	LICENCIAMENTO	Marcos Massini Matos	SAIBRO
896521/2011	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Santa Maria de Jetibá	SAIBRO
896128/2013	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Conceiþao do Castelo	SAIBRO
833592/2013	REGISTRO DE EXTRAÇÃO	Prefeitura Municipal de Paula Candido	SAIBRO
830144/1979	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Um Valemix Ltda.	SERPENTINITO

PROCESSO	FASE	NOME	SUBS
830662/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Pedreira Um Valemix Mineração Joaspe Ltda.	SERPENTINITO
4691/1940	CONCESSÃO DE LAVRA	Citalco Mineração de Talco Ltda.	TALCO
3919/1948	CONCESSÃO DE LAVRA	Minas Talco Ltda.	TALCO
8807/1965	CONCESSÃO DE LAVRA	Comércio e Industria Verbazza Ltda.	TALCO
831022/1981	CONCESSÃO DE LAVRA	Minas Serpentinito Ltda.	TALCO
832468/1983	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Zé de Duca Ltda.	TALCO
4886/1943	CONCESSÃO DE LAVRA	Indústria e Comércio São José Ltda.	TALCO
4225/1947	CONCESSÃO DE LAVRA	Minas Serpentinito Ltda.	TALCO
3168/1935	CONCESSÃO DE LAVRA	Paróquia de Nossa Senhora do Pilar	TOPÁZIO
1193/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Vermelhão Mineração Indústria e Comércio Ltda.	TOPÁZIO
2916/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Espólio de Serafim da Silva Gomes	TOPÁZIO
119301/1936	CONCESSÃO DE LAVRA	Jjc Mineração Indústria e Comércio Ltda.	TOPÁZIO
800645/1971	CONCESSÃO DE LAVRA	Topázio Imperial Mineração Comércio e Indústria Ltda.	TOPÁZIO
816955/1971	CONCESSÃO DE LAVRA	Novelis do Brasil Ltda.	TOPÁZIO
830046/1985	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineração Santa Cruz Ltda. ME	TOPÁZIO
800214/1978	CONCESSÃO DE LAVRA	Topázio Imperial Mineração Comércio e Indústria Ltda.	TOPÁZIO
830609/1980	CONCESSÃO DE LAVRA	Indústria Extrativa Mineral Santa Rosa Ltda.	TURMALINA
831538/1984	CONCESSÃO DE LAVRA	Md Godinho Mineração	TURMALINA
815005/1970	CONCESSÃO DE LAVRA	Mineradora Vermex Ltda.	VERMICULITA

Fonte: DNPM/SIGMINE (2017).

Anexo 2 – Certificados DRX

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
UFPR
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0781

1. SOLICITANTE
   LAME

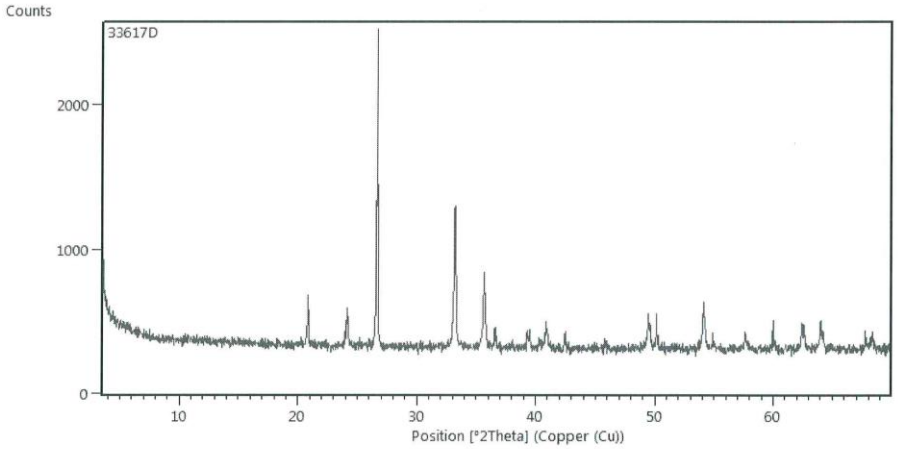
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
M	336/17D

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR

LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0781

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Hematita[1]	Fe_2O_3
Quartzo[1]	SiO_2

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data)*.

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR

LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0779

1. SOLICITANTE
   LAME

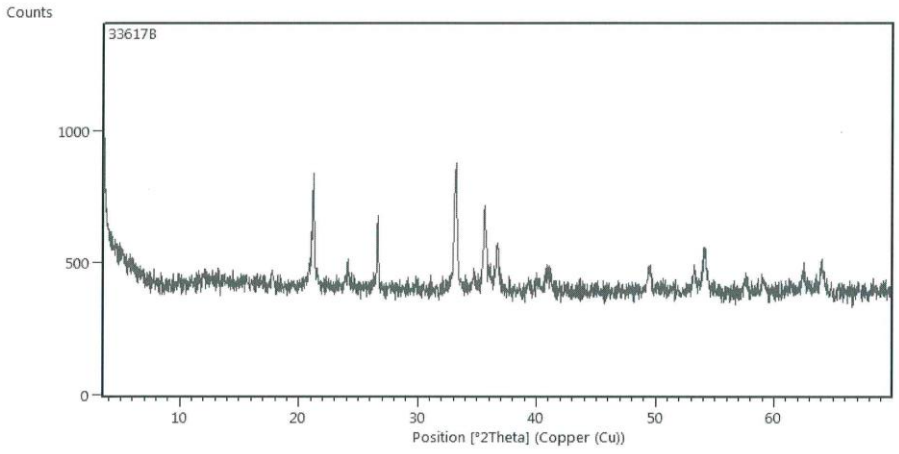
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
AM-03	336/17B

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR

LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0779

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Hematita[1]	Fe_2O_3
Goethita[1]	$Fe^{+3}O(OH)$

Observação: *Há presença de picos (ou reflexões) de baixa intensidade, cuja identificação mineralógica não foi possível.*

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data).*

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR

LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0780

1. SOLICITANTE
   LAME

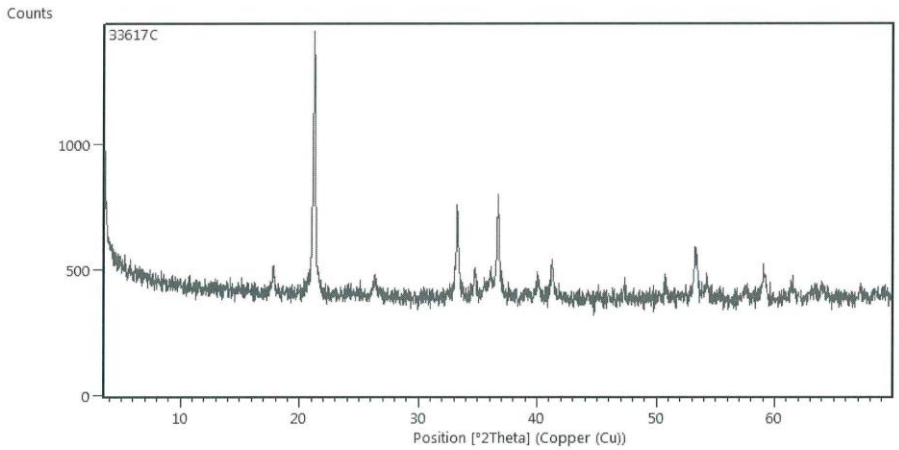
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
AM-03 RX	336/17C

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0780

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Goethita[1]	$Fe^{+3}O(OH)$

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data).*

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
UFPR
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0778

1. SOLICITANTE
   LAME

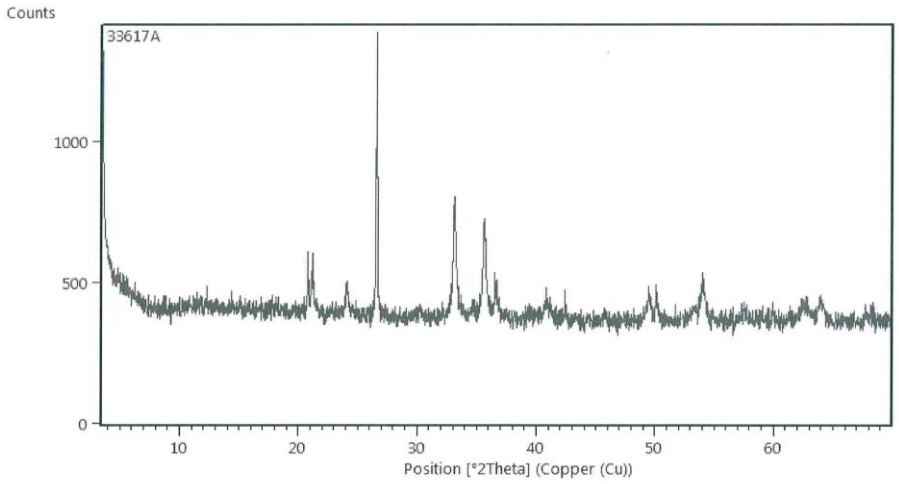
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
AM-01	336/17A

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0778

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Hematita[1]	Fe_2O_3
Quartzo[1]	SiO_2

Observação: *Há presença de picos (ou reflexões) de baixa intensidade, cuja identificação mineralógica não foi possível.*

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data).*

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

Anexo 3 – Certificados FRX

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
UFPR
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0795

1. SOLICITANTE
   LACTEC – LAME

2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO DE ENSAIO
   Análise química semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X
   OBS: Pó prensado, Espectrômetro PANalytical Axios Max.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
Amostra AM-01	336/17A
Amostra AM-03	336/17B
Amostra AM-03 Rx	336/17C
Amostra M	336/17D
Amostra AM-04	336/17E
Amostra AM-04A	336/17F
Amostra AM-05	336/17G
Amostra AM-06	336/17H

5. RESULTADOS
   Composição Química:

Amostra 336/17A	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	MgO (%)	As_2O_3 (%)	MnO (%)	Cr_2O_3 (%)	SO_3 (%)	P.F. (%)
	75,0	16,4	3,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	4,23

Amostra 336/17B	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	SO_3 (%)	P.F. (%)
	88,1	5,1	0,8	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	5,63

Amostra 336/17C	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	MnO (%)	SO_3 (%)	TiO_2 (%)	P.F. (%)
	87,2	1,1	0,5	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	10,98

Amostra 336/17D	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	P.F. (%)
	64,9	33,8	0,7	< 0,1	0,44

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Franciele O. Czervinski – Química – CRQ IX 09202385

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

Anexo 4 – Dados de ensaios da HYBRAS

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
1	0-10	argila	Sete Lagoas	Minas Gerais	-19,47	-44,25	Andrade, C.L.T. Balanço de água de um latossolo vermelho-escuro álico, cultivado com milho (Zea maysL.), sob irrigação por aspersão. Dissertação de Mestrado. Univ. Fed. Vicosa, Vicosa, Brasil, 1987	53,00	39,00	8,00
2	10-26	argila	Sete Lagoas	Minas Gerais	-19,47	-44,25	Andrade, C.L.T. Balanço de água de um latossolo vermelho-escuro álico, cultivado com milho (Zea maysL.), sob irrigação por aspersão. Dissertação de Mestrado. Univ. Fed. Vicosa, Vicosa, Brasil, 1987	68,00	24,00	8,00
3	26-49	argila	Sete Lagoas	Minas Gerais	-19,47	-44,25	Andrade, C.L.T. Balanço de água de um latossolo vermelho-escuro álico, cultivado com milho (Zea maysL.), sob irrigação por aspersão. Dissertação de Mestrado. Univ. Fed. Vicosa, Vicosa, Brasil, 1987	73,00	18,00	9,00
4	49-102	argila	Sete Lagoas	Minas Gerais	-19,47	-44,25	Andrade, C.L.T. Balanço de água de um latossolo vermelho-escuro álico, cultivado com milho (Zea maysL.), sob irrigação por aspersão. Dissertação de Mestrado. Univ. Fed. Vicosa, Vicosa, Brasil, 1987	73,00	18,00	9,00
5	102-142	argila	Sete Lagoas	Minas Gerais	-19,47	-44,25	Andrade, C.L.T. Balanço de água de um latossolo vermelho-escuro álico, cultivado com milho (Zea maysL.), sob irrigação por aspersão. Dissertação de Mestrado. Univ. Fed. Vicosa, Vicosa, Brasil, 1987	75,00	16,00	9,00
335	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	62,00	18,00	20,00
336	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	57,00	22,00	21,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
337	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	62,00	18,00	20,00
338	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	64,00	15,00	21,00
339	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	60,00	20,00	20,00
340	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	61,00	19,00	20,00
341	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	60,00	19,00	21,00
342	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	61,00	20,00	19,00
343	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a	61,00	20,00	19,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
							diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011			
344	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	61,00	8,00	31,00
345	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	55,00	17,00	28,00
346	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	53,00	21,00	26,00
347	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	50,00	22,00	28,00
348	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	54,00	20,00	26,00
349	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	53,00	21,00	26,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
350	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	60,00	16,00	24,00
351	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	63,00	10,00	27,00
352	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	64,00	9,00	27,00
353	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	54,00	13,00	33,00
354	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	48,00	25,00	27,00
355	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	64,00	8,00	28,00
356	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a	44,00	26,00	30,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
							diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011			
357	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	45,00	29,00	26,00
358	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	48,00	27,00	25,00
359	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	50,00	23,00	27,00
360	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	52,00	23,00	25,00
361	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	52,00	22,00	26,00
362	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	51,00	21,00	28,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
363	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	49,00	21,00	30,00
364	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	48,00	23,00	29,00
365	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	49,00	21,00	30,00
366	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	48,00	25,00	27,00
367	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	51,00	21,00	28,00
368	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	50,00	25,00	25,00
369	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a	52,00	22,00	26,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
							diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011			
370	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	53,00	23,00	24,00
371	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	50,00	19,00	31,00
372	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	53,00	22,00	25,00
373	0-3	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	55,00	21,00	24,00
374	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	63,00	9,00	28,00
375	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	64,00	11,00	25,00

Código HYBRAS	DADOS DE AMOSTRAGEM							PROPRIEDADES DE SOLOS		
	Profundidade (m)	textura	Cidade	Estado	LatitudeOR	LongitudeOR	Referências	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
376	10-13	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	64,00	15,00	21,00
377	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	60,00	12,00	28,00
378	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	60,00	13,00	27,00
379	25-28	argila	São Sebastião do Paraíso	Minas Gerais	-20,92	-47,12	Araujo-Junior,C.F.,Dias Junior,M.S.,Guimarães,P.T.G.,Alcântara,E.N. Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira.Planta Daninha,Viçosa-MG,29(3):499-513,2011	58,00	19,00	23,00
855	0-10	argila arenosa	Araponga	Minas Gerais	-20,68	-42,52	Aguiar, M.I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2008.	40,20	12,30	47,50
856	0-10	argila	Araponga	Minas Gerais	-20,68	-42,52	Aguiar, M.I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2008.	49,90	11,30	38,80
857	0-10	argila	Araponga	Minas Gerais	-20,68	-42,52	Aguiar, M.I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2008.	42,20	13,50	44,30

Anexo 5 – Certificados FRX – Rejeito

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR — LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0842

1. SOLICITANTE
   LACTEC – LAME

2. DATA DE EMISSÃO
   08/08/2017

3. TIPO DE ENSAIO
   Análise química semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X
   OBS: Pó prensado, Espectrômetro PANalytical Axios Max.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
2.0186.17 – Rejeito	341/17A
2.0187.17 – Rejeito	341/17B
2.0188.17 – Rejeito	341/17C
2.0192.17 – Rejeito	341/17D
2.0193.17 – Rejeito	341/17E

5. RESULTADOS
   Composição Química:

Amostra 341/17A	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	MnO (%)	P_2O_5 (%)	CaO (%)	TiO_2 (%)	K_2O (%)	MgO (%)	P.F. (%)
	73,3	16,0	3,7	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	< 0,1	6,17

Amostra 341/17B	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	MnO (%)	P_2O_5 (%)	CaO (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	MgO (%)	P.F. (%)
	75,5	14,8	3,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	5,43

Amostra 341/17C	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	P.F. (%)
	74,6	24,5	0,4	< 0,1	0,49

Amostra 341/17D	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	P.F. (%)
	78,3	21,0	0,2	< 0,1	0,51

Amostra 341/17E	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	Na_2O (%)	MgO (%)	CaO (%)	P.F. (%)
	46,7	39,6	8,4	0,7	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	3,79

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Franciele O. Czervinski – Química – CRQ IX 09202385

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0842

- P.F. = Perda ao fogo
- Resultados normalizados para 100 %

Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações na ordem de ± 10 % nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Franciele O. Czervinski – Química – CRQ IX 09202385

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

Anexo 6 – Certificados DRX – Rejeito

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR — LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0786

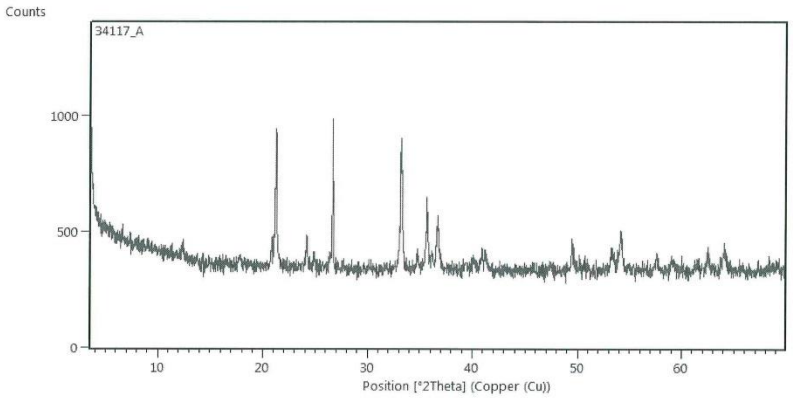
1. SOLICITANTE
   LAME

2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)
   Pelo solicitante — **Nº. LAMIR**
   2.0186.17 — 341/17A

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0786

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Hematita[1]	Fe_2O_3
Goethita[1]	$Fe^{+3}O(OH)$
Greenalita[1]	$H_8Fe_6O_{18}SiO_4$

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data)*.

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Bedaiko – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR

LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0789

1. SOLICITANTE
   LAME

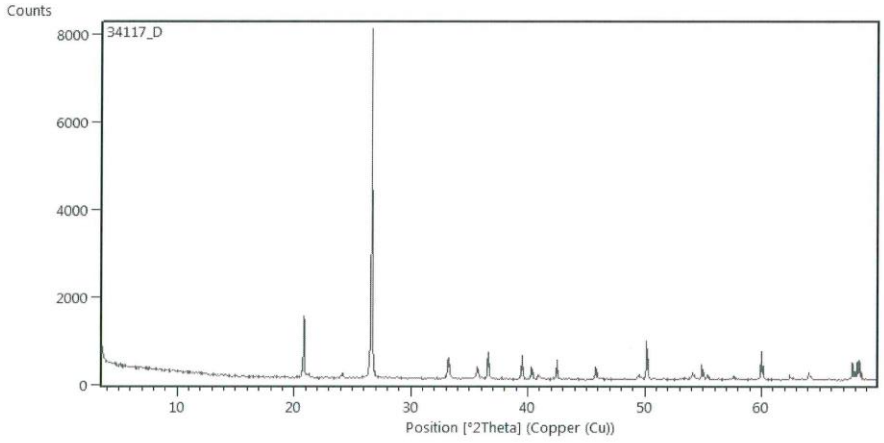
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
2.0192.17	341/17D

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Bedaltо – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0789

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Quartzo[1]	SiO_2
Hematita[1]	Fe_2O_3
Goethita[1]	$Fe^{+3}O(OH)$

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data)*.

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geologo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE
Nº. 2017-0788

1. SOLICITANTE
   LAME

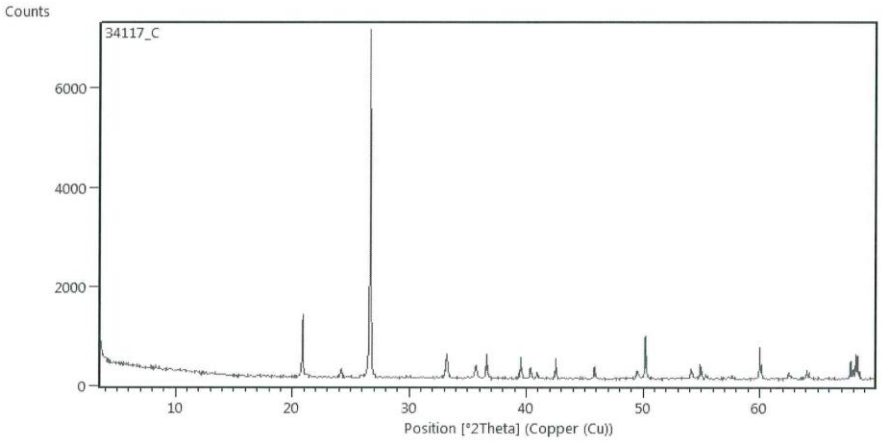
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
2.0188.17	341/17C

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0788

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Quartzo[1]	SiO_2
Hematita[1]	Fe_2O_3

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data)*.

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Kedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

UFPR

LAMIR

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0790

1. SOLICITANTE
   LAME

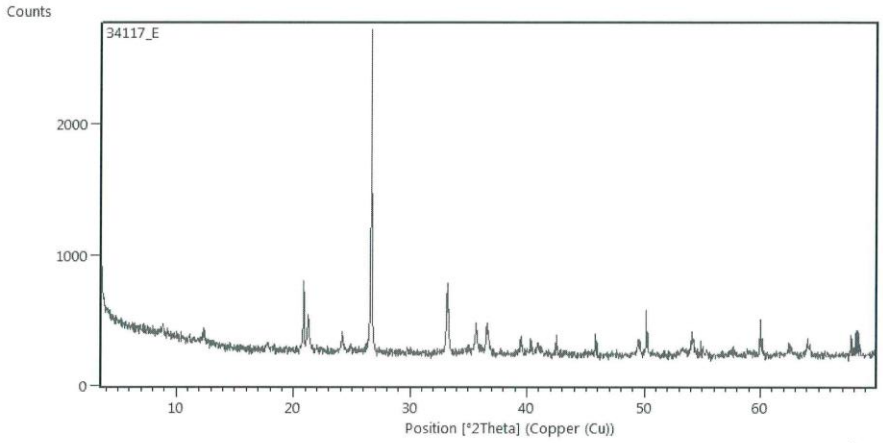
2. DATA DE EMISSÃO
   07/08/2017

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)
   Análise mineral qualitativa por difratometria de raios X
   OBS: Pó total prensado, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Pelo solicitante	**Nº. LAMIR**
2.0193.17	341/17E

5. RESULTADOS
   Difratograma:



OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:

Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:

Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LAMIR
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2017-0790

Composição Mineralógica:

Mineral	Fórmula
Quartzo[1]	SiO_2
Hematita[1]	Fe_2O_3
Goethita[1]	$Fe^{+3}O(OH)$

[1] Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD *(International Centre for Diffraction Data)*.

- FINAL DO CERTIFICADO -

OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.

Responsável Técnico:
Guilherme Fedalto – Geólogo – CREA PR-161049/D

Coordenador:
Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos