

Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente

Acompanhamento de danos TOMO I – Contextualização



Documento:	Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente Acompanhamento de danos: TOMO I – Contextualização	
Considerações Gerais:	Este documento refere-se ao Relatório de Acompanhamento de Danos, parte integrante do Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente, o qual apresenta os resultados do acompanhamento dos danos socioambientais do desastre.	
Contrato:	4500173758 – Samarco/Lactec	
Solicitante:	Empresa:	Ministério Público Federal
		Procuradoria da República em Minas Gerais
	Endereço:	Av. Brasil, 1877
	Bairro:	Bairro Funcionários
	Cidade:	Belo Horizonte/MG
	CEP:	CEP 30140-007
	A/C:	Dr. Carlos Bruno Ferreira da Silva
	E-mail:	carlosbruno@mpf.mp.br
Executante:	Institutos Lactec Avenida Comendador Franco, nº 1341 Jardim Botânico CEP 80215-090 Curitiba – PR – BR e-mail: leonardo.bastos@lactec.org.br Meio Ambiente T + 55 (41) 99102-8276	

Autoria:

Equipe Técnica do Lactec

Emitido por:

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

Aprovado por:

Tânia Lucia Graf de Miranda, D. Sc.
Engenheira Agrônoma / CREA RS 069105/D
Gerente de Serviços Tecnológicos e Inovação

Luiz Alkimin de Lacerda, D. Sc.
Engenheiro Civil / CREA PR 155674/D
Gerente de Pesquisa e Inovação

Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelo Lactec.

PRESIDÊNCIA		
Luiz Fernando Vianna	Diretor Presidente	
DIRETORIA		
Lauro Elias Neto	Diretor de Operações Tecnológicas	
Carlos Eduardo Ribas	Diretor Comercial	
Katia Patrícia Campanharo Fiebich Peroni	Diretora Administrativo-Financeira	
GERÊNCIA DE SEGMENTO		
André Ricardo Capra	MSc. Engenheiro Mecânico	Ensaio e Análises. Laboratoriais
Luiz Alkimir de Lacerda	Dr. Engenheiro Civil	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
Tania Lucia Graf de Miranda	Dra. Engenheira Agrônoma	Serviços Tecnológicos e Inovação
GERÊNCIA DE ÁREA		
Betina Lepretti Medeiros	MSc. Engenheira Civil	Estruturas Cíveis
Fabiano Scheer Hainosz	MSc. Engenheiro Cartógrafo	Geossoluções
Guilherme Cunha da Silva	Dr. Engenheiro Eletricista	Materiais
Leandro Zem	Administrador de Empresas	Escritório de Projetos
Jefferson Arndt	Esp. Analista de Sistemas	Inteligência de Negócios
Rodrigo Soares Ferreira	MSc. Químico	Análises Químicas
Rosana de Fátima Colaço Gibertoni	MSc. Engenheira Civil	Meio Ambiente

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO DO PROJETO		
Leonardo Pussieldi Bastos	MSc. Biólogo	Coordenação Geral
Luiz Alkimin de Lacerda	Dr. Engenheiro Civil	Coordenação Técnica
Tania Lucia Graf de Miranda	Dra. Engenheira Agrônoma	Coordenação Técnica
Gleiciane Fernanda de Carvalho Blanc	MSc. Engenheira Ambiental	Coordenação Executiva
GESTÃO E ACOMPANHAMENTO		
Franciele Dãobroski	Esp. Engenheira Eletricista	Analista de Projeto
Renato Cipriano de Jesus	Esp. Economista	Analista de Projeto
Guilherme de Poli	Administrador de Empresas	Analista de Projeto
Leandro Zem	Esp. Administrador de Empresas	Analista de Projeto
LÍDERES DE GRUPOS DE TRABALHO		
Gleiciane Fernanda de Carvalho Blanc	MSc. Engenheira Ambiental	Coordenação GTs
Mariana D'Orey Gaivão Portella Bragança	Dra. Engenheira Ambiental	GT Integração
Joseane Valente Gulmine	Dra. Química	GT Integração
Luciana Rodrigues de Souza Bastos	Dra. Bióloga	GT Integração
Fernando Camargo da Silva	Esp. Engenheiro Florestal	GT Terrestre e Atmosfera
Letícia de Pierri	Dra. Engenheira Agrônoma	GT Terrestre e Atmosfera
Marcelo Alejandro Villegas Vallejos	MSc. Biólogo	GT Terrestre e Atmosfera
Isabella Francoso Rebutini Figueira	Dra. Geóloga	GT Aquático Continental
Bruna Arcie Polli	Dra. Engenheira Ambiental	GT Aquático Continental
Marianne Schaefer França Sieciechowicz	MSc. Engenheira Ambiental	GT Aquático Continental
Patricia Dammski Borges de Andrade	MSc. Bióloga	GT Zona Costeira e Marinha
Ana Carolina Wosiack	MSc. Bióloga	GT Zona Costeira e Marinha
Cristiane Schappo Wessling	MSc. Engenheira Ambiental	GT Patrimônio Cultural
Renata Cristine da Silva Gonçalves	Esp. Economista	Valoração Econômica
EQUIPE EXECUTORA		
Ana Paula Zampieri da Silva	Técnica em Geoprocessamento	Geoprocessamento
Davi da Silva Nascimento	Esp. Engenheiro Cartógrafo	Geoprocessamento
Edson Haruo Yoshizumi	Técnico em Geoprocessamento	Geoprocessamento
Fabiano Scheer Hainosz	MSc. Engenheiro Cartógrafo	Geoprocessamento
Lazaro Filipe de Souza	Geógrafo	Geoprocessamento e Paisagem
Maricler Toigo	Tecnóloga em Processamento de Dados	Geoprocessamento
Peterson da Silva Beherend	Técnico em Geomática	Geoprocessamento
Henrique Reisdorfer Leite	MSc. Geógrafo	Sensoriamento Remoto
Bruna Gomes Dias	Técnica em Química	Caracterização físico-química
Camila Marçal Gobi Pacher	MSc. Química	Caracterização físico-química
Camila Melo Pesqueira	MSc. Química	Caracterização físico-química
Fernando Henrique Coffacci de Lima	Químico	Caracterização físico-química

Heloisa Nunes da Motta	Dra. Engenheira Química	Caracterização físico-química
Joseane Valente Gulmine	Dra. Química	Caracterização físico-química e Química Ambiental
Juliano de Andrade	Dr. Engenheiro Químico	Caracterização físico-química
Kassia dos Santos Kanieski	MSc. Química	Caracterização físico-química
Sebastião Domingos de Oliveira	Geólogo	Rejeitos, Geoquímica e Geotecnia
Mariana D'Orey Gaivão Portella Bragança	Dra. Engenheira Ambiental	Rejeitos e Química Ambiental
Aline Ingrid Andrade de Barros	Técnica em Meio Ambiente	Ecotoxicologia
Angélica Alves de Paula	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Claudia Bueno dos Reis Martinez	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Kelly Sabrina Riby Afonso	Técnica em química	Ecotoxicologia
Leticia da Silva Pereira Fernandes	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Lilian Dalago Salgado	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Luciana Rodrigues de Souza Bastos	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Luís Fernando Fávaro	Dr. Biólogo	Ecotoxicologia
Mariana Machado Lauer	Dra. Oceanógrafa	Ecotoxicologia
Monica Valdyrce dos Anjos Lopes Ferreira	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Natália Vitorino Leite dos Santos	Técnica em Meio Ambiente	Ecotoxicologia
Tiago Tomiama Alvim	M.Sc. Biólogo	Ecotoxicologia
Ricardo de Souza Santana	M.Sc. Biólogo	Triagem de Altos Valores de Conservação
Ellen Brown Watson	MSc. Antropologia Ambiental	Triagem de Altos Valores de Conservação
Sebastiaan De Smedt	Dr. Engenharia em Biotecnologias	Triagem de Altos Valores de Conservação
Jane Siqueira Lino	M.Sc. Ecólogo	Triagem de Altos Valores de Conservação
Pedro Zanetti Freire Santos	M.Sc. Engenheiro Florestal	Triagem de Altos Valores de Conservação
Alexandra Freitas	M.Sc. Engenheira Agrônoma	Triagem de Altos Valores de Conservação
Fernando Mainardi Fan	Dr. Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Hugo de Oliveira Fagundes	MSc. Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Irani do Santos	Dr. Geógrafo	Hidrologia e Hidrossedimentologia
João Batista Dias de Paiva	Dr. Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
João Paulo Jankowski Saboia	MSc. Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Rodrigo Cauduro Dias de Paiva	Dr. Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Rosana de Fátima Colaço Gibertoni	MSc. Engenheira Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Rubem Luiz Daru	MSc. Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Tobias Bernward Bleninger	Dr., Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Alcides Conte Neto	Estatístico	Águas Superficiais Continentais
Ana Carolina Canossa Becker	MSc. Engenheira Civil	Águas Superficiais Continentais, Resíduos Sólidos
Ana Carolina Wosiack	MSc. Bióloga	Águas Superficiais Continentais
Bruna Arcie Polli	Dra. Engenheira Ambiental	Águas Superficiais Continentais

Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes	Dr. Engenheiro Civil	Águas Superficiais Continentais
Marianne Schaefer França Sieciechowicz	MSc. Engenheira Ambiental	Águas Superficiais Continentais
Nicole Machuca Brassac de Arruda	Dra. Bióloga	Águas Superficiais Continentais
André Filgueiras	MSc. Oceanógrafo	Águas e Sedimentos Costeiros
Emilio Marcelo Dolichney	Oceanógrafo	Águas e Sedimentos Costeiros
Luciano Hermanns	Dr. Oceanógrafo	Águas, Sedimentos Costeiros e Serviços Ecossistêmicos
Josiane Rovedder	MSc. Bióloga	Águas e Sedimentos Costeiros
Tomaz Bohrer Brentano	Engenheiro Ambiental	Águas, Sedimentos Costeiros e Serviços Ecossistêmicos
Tatiana Silva da Silva	Dra. Oceanógrafa	Serviços Ecossistêmicos
Milton Asmus	Dr. Oceanógrafo	Serviços Ecossistêmicos
Josiane Rovedder	MSc. Bióloga	Serviços Ecossistêmicos
Priscila Hiromi Yamazaki	Eng. Ambiental, Veterinária	Serviços Ecossistêmicos
Fernando Luiz Diehl	MSc. Oceanógrafo	Águas, Sedimentos e Zooplâncton Costeiros
Thiago Carvalho de Mello	MSc. Engenheiro Químico	Sistemas de Abastecimento de Água, Resíduos Sólidos
Mariana Vieira Calixto	Engenheira Ambiental	Resíduos Sólidos
Patricia Dammski Borges de Andrade	MSc. Bióloga	Fauna aquática
Priscila Izabel Tremarin	Dra. Bióloga	Fitoplâncton Continental e Costeiro
Claudia Costa Bonecker	Dra. Bióloga	Zooplâncton Continental
Dieison André Moi	Biólogo	Zooplâncton Continental
João Vitor Fonseca da Silva	MSc. Biólogo	Zooplâncton Continental
Leidiane Pereira Diniz	MSc. Bióloga	Zooplâncton Continental
Louizi de Souza Magalhães Braghin	Dra. Bióloga	Zooplâncton Continental
Luiz Felipe Machado Velho	Dr. Biólogo	Zooplâncton Continental
Ludmilla Dias Veado	MSc. Oceanógrafa	Zooplâncton e Ictioplâncton Costeiro
André Virmond Lima Bittencourt	Dr. Engenheiro Químico	Águas Subterrâneas
Ernesto Goldfarb Figueira	MSc. Geólogo	Qualidade de Sedimentos, Águas Subterrâneas e Geologia
Gheysa do Rocio Morais Pires	MSc. Tecnóloga em Química Ambiental	Qualidade de Sedimentos e Águas Subterrâneas
Isabella Francoso Rebutini Figueira	Dra. Geóloga	Qualidade de Sedimentos, Águas Subterrâneas e Geologia
Leonardo Evangelista Lagoeiro	Dr. Geólogo	Geologia e Geoquímica
Camila Ghilardi Cardoso Fontanella	MSc. Bióloga	Macroinvertebrados Aquáticos e Bentos de Fundos Inconsolidados
Devon Gebauer Mayer	Biólogo	Bentos de Fundos Inconsolidados
Ericka Viviane Lemos Marcondes	Bióloga	Macroinvertebrados Aquáticos
Rosemary A. Brogim	Dra. Bióloga	Bentos de Fundos Inconsolidados
Adriano Hauer	Esp. Biólogo	Ictiofauna
Bruno Kazuo Nakagawa	MSc. Biólogo	Ictiofauna
Giuliano Menegale Martinazzo	Biólogo	Ictiofauna
Matheus Oliveira Freitas	Dr. Biólogo	Ictiofauna
Maurício Belezia de Oliveira	MSc. Biólogo	Ictiofauna
Vinícius Abilhoa	Dr. Biólogo	Ictiofauna

Emanuel Luis Razzolini	MSc. Biólogo	Ictiofauna – Diversidade Genética
Rafael Antunes Baggio	Dr. Biólogo	Ictiofauna – Diversidade Genética e Modelagem da dinâmica populacional
Walter Antônio Pereira Boeger	Dr. Oceanógrafo	Ictiofauna – Diversidade Genética
Angie Thaisa da Costa Souza	MSc. Bióloga	Ictiofauna – Modelagem da dinâmica populacional
Sabrina Borges Lino de Araújo	Dra. Física	Ictiofauna – Modelagem da dinâmica populacional
Fabrcio Locatelli Trein	Esp. Biólogo	Quelônios
Letícia Kienen Languer Rolim	Médica Veterinária	Quelônios
Lucas Reinert Mendes	Biólogo	Quelônios
Marcos André Navarro	MSc. Biólogo	Quelônios
Matheus Ferreira de Souza	Médico Veterinário	Quelônios
Letícia de Paula Koproski	Dra. Médica Veterinária	Quelônios
Leonardo Liberali Wedekin	Dr. Biólogo	Cetáceos
Samira Costa da Silva	MSc. Médica Veterinária	Cetáceos
Antônio Carlos Vargas Motta	Dr. Engenheiro Agrônomo	Solos
Bernardo Lipski	MSc. Engenheiro Agrônomo	Solos
Letícia de Pierri	Dra. Engenheira Agrônoma	Solos
Betina Lepretti Medeiros	MSc. Engenheira Civil	Geotecnia
Esther Dyck	Engenheira Civil	Geotecnia
Joubert Weigert Favaro	MSc. Engenheiro Ambiental	Geotecnia
Marcelo Buras	MSc. Engenheiro Civil	Geotecnia
Rodrigo Moraes da Silveira	Dr. Engenheiro Civil	Geotecnia
Ana Alice Biedzicki de Marques	Dra. Bióloga	Biodiversidade
Fernando Camargo da Silva	Esp. Engenheiro Florestal	Flora
Juliano José da Silva Santos	MSc. Biólogo	Flora e Bioespeleologia
Marcelo Augusto da Silva	Biólogo	Flora
Tamara Molin	Bióloga	Flora
Vanessa Ariati	MSc. Bióloga	Flora
Marcelo Alejandro Villegas Vallejos	MSc. Biólogo	Fauna Silvestre e Áreas Protegidas
Luiz Eduardo Macedo Reis	Dr. Biólogo	Fauna Silvestre – entomofauna
Rafael Lucchesi Balestrin	Dr. Biólogo	Fauna Silvestre – herpetofauna
Raphael Eduardo Fernandes Santos	Esp. Biólogo	Fauna Silvestre – avifauna
Andressa Gatti	Dra. Bióloga	Fauna Silvestre – mastofauna terrestre
Daniel da Silva Ferraz	MSc. Biólogo	Fauna Silvestre – mastofauna terrestre
João Eduardo Cavalcanti Brito	MSc. Biólogo	Fauna Silvestre – mastofauna terrestre
Michel Barros Faria	Dr. Biólogo	Fauna Silvestre – mastofauna terrestre
Paulo Rogerio Mangini	Dr. Médico Veterinário	Fauna Silvestre – mastofauna terrestre
Thadeu Sobral de Souza	Dr. Biólogo	Modelagem da biodiversidade
Ana Tereza Bittencourt Guimarães	Dra. Bióloga	Modelagem da biodiversidade

João Luís Bittencourt Guimarães	MSc. Eng. Florestal	Modelagem de Serviços Ecosistêmicos
Leandro Moraes Scoss	MSc. Zootecnista	Áreas Protegidas
Robson Odeli Espíndola Hack	MSc. Biólogo	Áreas Protegidas e Fauna Silvestre
Karime Dawidziak Piazzetta	MSc. Tecnóloga em Processos Ambientais	Atmosfera
Luis Eduardo Soares Mayer	Geógrafo	Atmosfera
EQUIPE DE CAMPO		
Rômulo Henrique Santos Correa	Técnico em hidrologia	Águas Superficiais, Sedimentos e Macroinvertebrados aquáticos
Fernando Figueiredo Laabs	Técnico em hidrologia	Águas Superficiais e Sedimentos
Adilson José de Lara	Hidrometrista	Águas Superficiais e Sedimentos
Edson Haruo Yoshizumi	Técnico	Águas Superficiais e Sedimentos
Fernando Gonçalves Opalinski	Técnico em eletrônica	Águas Superficiais e Sedimentos
Rafael Santos	Bioteecnólogo	Águas Superficiais e Sedimentos
Jéssica Cristina Lozovei	Geógrafa	Águas Superficiais e Sedimentos
Adriano Hauer	Esp. Biólogo	Ictiofauna
Roger Henrique Dalcin	MSc. Biólogo	Ictiofauna
Bruno Nadalin Lima de Melo	Biólogo	Ictiofauna
Thiago Toniolo Batista	Biólogo	Ictiofauna
Bruno Kazuo Nakagawa	MSc. Biólogo	Ictiofauna
Giuliano Menegale Martinazzo	Biólogo	Ictiofauna
Helen Sadauskas Henrique	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Matheus Ferreira de Souza	Médico Veterinário	Ecotoxicologia
Sabrina Loise de Moraes Calado	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Lygia Segal Nogueira	Dra. Bióloga	Ecotoxicologia
Affonso Henrique Nascimento de Souza	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – entomofauna
Alex Chavier Silva	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – entomofauna
Cleandson Ferreira Santos	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – entomofauna
Fabiano de Oliveira Silva	Esp. Biólogo	Fauna silvestre – entomofauna
Fernanda Vieira da Costa	Dra. Bióloga	Fauna silvestre – entomofauna
Flávio Siqueira de Castro	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – entomofauna
Lucas Neves Perillo	Dr. Biólogo	Fauna silvestre – entomofauna
Tandara de Souza Gomes	Bióloga	Fauna silvestre – entomofauna
Arthur Schramm de Oliveira	Esp. Biólogo	Fauna silvestre – herpetofauna
Bernardo Franco da Veiga Teixeira	Dr. Biólogo	Fauna silvestre – herpetofauna
Cyro de Sousa Bernardes	Biólogo	Fauna silvestre – herpetofauna
Guilherme Bard Adams	Biólogo	Fauna silvestre – herpetofauna
Martin Schossler	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – herpetofauna
Dalila de Fátima Ferreira	Bióloga	Fauna silvestre – avifauna
João Antônio de Bittencourt Vitto	Biólogo	Fauna silvestre – avifauna
João Paulo Gava Just	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – avifauna
Willian Menq dos Santos	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – avifauna
Ariel Guilherme Santos do Nascimento	Biólogo	Fauna silvestre – mastofauna de pequeno porte

Isteliene Lopes Leodoro	Bióloga	Fauna silvestre – mastofauna de pequeno porte
Lizandra Regina Bigai	Bióloga	Fauna silvestre – mastofauna de pequeno porte
Max Antonioni da Silva	Biólogo	Fauna silvestre – mastofauna de pequeno porte
Ruan Márcio Ruas Nunes	Biólogo	Fauna silvestre – mastofauna de pequeno porte
Vinicius Peron de Oliveira Gasparotto	MSc. Médico Veterinário	Fauna silvestre – mastofauna de pequeno porte
Diego Afonso Silva	MSc. Biólogo	Fauna silvestre – mastofauna de grande porte
Mattheus Torrezani Silveira	Biólogo	Fauna silvestre – mastofauna de grande porte
Paula Beatriz Mangini	Dra. Médica Veterinária	Fauna silvestre – mastofauna de grande porte
Ricardo Krul	Dr. Biólogo	Fauna silvestre – mastofauna de grande porte
Bruna da Silva Fonseca	Dra. Bióloga	Fauna silvestre – quiropteroфаuna
Cristina Jaques da Cunha	MSc. Bióloga	Fauna silvestre – quiropteroфаuna
Danielle de Oliveira Moreira	Dra. Bióloga	Fauna silvestre – quiropteroфаuna
Paula Modenesi Ferreira	Bióloga	Fauna silvestre – quiropteroфаuna
Thali Leal Sampaio	MSc. Médica Veterinária	Fauna silvestre – quiropteroфаuna
Ana Lúcia Cypriano Souza	Dra. Bióloga	Cetáceos
Aline Figueredo Dassoler	Msc. Bióloga	Cetáceos
Clarêncio Gomes Baracho	MSc. Biólogo	Cetáceos
Daniela Pitol	Bióloga	Cetáceos
Denis Alessandro Hille	Biólogo	Cetáceos
Matheus Caiafa Ribeiro de Lima	Oceanógrafo	Cetáceos
ESTAGIÁRIOS		
Bruno Nadalin Lima de Melo	Ciências Biológicas	Áreas Protegidas e Fauna Silvestre
Matheus de Andrade Machado	Engenharia Cartográfica e de Agrimensura	Geoprocessamento
Eliana Vieira de Freitas	Engenharia Cartográfica e de Agrimensura	Geoprocessamento
Janiny Zanda Soares da Silva	Engenharia Cartográfica e de Agrimensura	Geoprocessamento
Laura Damasceno da Silva	História	Patrimônio Arqueológico
Sabrina Lisboa Alves	História	Patrimônio Arqueológico
Milena Machado Sachi	Química	Química Ambiental e Integração dos Danos
Bruna Bergman Machado	Ciências Biológicas	Cetáceos
Marina Ferraz Sampaio	Ciências Biológicas	Fauna Silvestre
Emerson Fernando Garcia Machado	Biólogo	Íctiofauna – diversidade genética
Saymon Hamses Monastier	Engenharia Florestal	Flora
Gabriela Naomi Tanaka dos Santos	Ciências Biológicas	Zooplâncton
Phillip Alves Schuster	Ciências Biológicas	Macroinvertebrados bentônicos

Antônio José Hamerschmidt	Estatística	Águas Superficiais Continentais
Eduarda Bertoletti Duarte	Ciências Biológicas	Águas Superficiais Continentais
Mirian Kaori Nagano	Geografia	Qualidade de Sedimentos Continentais
Julia Ribeirete de Souza Ferreira	Engenharia Civil	Resíduos Sólidos
Beatriz Tomaselli	Engenharia Ambiental	Serviços Ecossistêmicos
Maria Fernanda Dames dos Santos Lima	Engenharia Ambiental	Solos
Tamires Maiara Ercole	Agronomia	Solos
Bruno Cesar Falkiewicz	Engenharia Florestal	Flora
Rebeca Dias Pegollo	Ciências Biológicas	Fauna Aquática
Carolina Valério Leme	Engenharia Ambiental	Ecotoxicologia
Carlos Denilson Soares	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia
Fellip Rodrigues Marcondes	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia
Fernanda Araujo Fernandes	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia
Gisele Tatiane Soares da Veiga	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia
Luiz Guilherme Tatsh Henrique	Engenharia Ambiental	Ecotoxicologia
Mayara dos Santos Rodrigues	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia
Rafaela Cruz Dias	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia
Yasmim Cristine Brunholo Carvalho	Ciências Biológicas	Ecotoxicologia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Atributos de classificação dos danos socioambientais.....	45
Figura 2 - Precipitação média mensal para o mês de dezembro.....	51
Figura 3 - Precipitação média mensal para o mês de julho.	51
Figura 4 - Anomalia de precipitação de novembro de 2015.....	52
Figura 5 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2015-2016 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).	53
Figura 6 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2016-2017 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).	54
Figura 7 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2017-2018 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).	55
Figura 8 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2018-2019 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).	56
Figura 9 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2019-2020 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).	57
Figura 10 - Acumulado de precipitação na bacia, entre 1985 e 2020.....	58
Figura 11 - Anomalia de precipitação na bacia, entre 1985 e 2020.....	58
Figura 12 – Localização de estações fluviométricas utilizadas na análise comparativa da cheia de 2020.	59
Figura 13 - Vazões máximas e série de vazões médias diárias específicas da estação 56425000 no pós-desastre.....	61
Figura 14 – Vazões mínimas e série de vazões médias diárias (e de 7 dias) específicas para a estação 56425000 no pós-desastre.....	61
Figura 15 - Vazões máximas e série de vazões médias diárias específicas da estação 56850000 no pós-desastre.....	62
Figura 16 - Vazões mínimas e série de vazões médias diárias (e de 7 dias) específicas para a estação 56850000 no pós-desastre.....	62
Figura 17 - Vazões máximas e série de vazões médias diárias específicas da estação 56994500 no pós-desastre.....	63
Figura 18 - Vazões mínimas e série de vazões médias diárias (e de 7 dias) específicas para a estação 56994500 no pós-desastre.....	63
Figura 19 - Vazões específicas de estações localizadas nos rios Gualaxo do Norte e do Carmo.	64
Figura 20 - Vazões específicas de estações localizadas na calha do rio Doce.....	65
Figura 21 - Vazões médias diárias específicas e vazões máximas na estação Governador Valadares, com	

dados da linha-base e pós-desastre.....	67
Figura 22 – Estações de monitoramento avaliadas na análise quali-quantitativa da água.	70
Figura 23 – Série histórica de vazões, concentração de sólidos suspensos totais na estação RD019 para o ano de 2020 e limite da concentração de sólidos suspensos para a classe 2.....	71
Figura 24 – Cargas de sólidos suspensos totais (máximo de linha-base e cargas de janeiro, fevereiro e março de 2020) nas estações RD019, RD023, RD033, RD044 e RD053.	71
Figura 25 – ASER ao longo do rio Doce.	81
Figura 26 – ASER no município de Linhares. Simulação da cheia de janeiro de 2020.	81
Figura 27 – Imagem de satélite Landsat 8 durante a cheia de 2013 (imagem de 26/12/2013).	82
Figura 28 - ASER na ligação entre rio Doce e Lagoa Nova.....	82
Figura 29 – Ligação do rio Doce com a Lagoa Juparanã. ASER e areia hipotética da cheia de 2020 com dique de 2018/2019.	83
Figura 30 - ASER e cheia hipotética de 2020 caso não existisse os diques de proteção das lagoas Nova e Juparanã.	83
Figura 31 - ASER na cidade de Governador Valadares.	84
Figura 32 – ASER nas cidades e Aimores e Baixo Gandu.....	84
Figura 33 - ASER na cidade de Colatina.....	85
Figura 34 - Áreas alagadas para vários tempos de recorrência no município de Linhares.....	85
Figura 35 - Áreas alagadas para vários tempos de recorrência entre Colatina e Linhares.	86
Figura 36 - Áreas alagadas para vários tempos de recorrência na ligação entre rio Doce e Lagoa Nova.	86
Figura 37 – Áreas alagadas em Linhares (entrada da Lagoa Juparana) para vários tempos de recorrência e área da hipotética da cheia de 2016 com dique de 2018/2019.....	87
Figura 38 – Áreas alagadas para vários tempos de recorrência na cidade de Governador Valadares.	87
Figura 39 – Áreas alagadas para vários tempos de recorrência nas cidades e Aimores e Baixo Gandu.	88
Figura 40 - Áreas alagadas para vários tempos de recorrência na cidade de Colatina.....	88
Figura 41 – Comparação entre áreas alagadas para vários tempos de recorrência e a ASER na cidade de Governador Valadares.....	89
Figura 42 - Comparação entre Áreas alagadas para vários tempos de recorrência e a ASER na cidade de Baixo Gandu.	89
Figura 43 - Comparação entre Áreas alagadas para vários tempos de recorrência e a ASER na cidade de Colatina.	90
Figura 44 - Localização das estações virtuais nas lagoas próximas à foz.	94
Figura 45 - Localização das estações virtuais nas lagoas próximas a área urbana de Linhares.....	95

Figura 46 - Localização das lagoas analisadas.....	97
Figura 47 - Cheias de 1997 – imagem de turbidez para o dia 27/12/1996.....	99
Figura 48 - Cheias de 1997 – Imagem de turbidez para o dia 12/01/1997.....	100
Figura 49 - Área de inundação entre o rio Doce e a lagoa Juparanã (rio Pequeno) antes das cheias de 1997.....	101
Figura 50 - Área de inundação entre o rio Doce e a lagoa Juparanã (rio Pequeno) depois das cheias de 1997.....	102
Figura 51 - Lagoas Areão e Areal após as cheias de 1997.....	102
Figura 52 - Comparação dos dados de turbidez para as estações de turbidez durante as cheias de 1997.....	103
Figura 53 - Cheias de 2013 – Imagem de turbidez para o dia 10/12/2013.....	105
Figura 54 - Cheias de 2013 – Imagem de turbidez para o dia 26/12/2003.....	106
Figura 55 - Área de inundação entre o rio Doce e a lagoa Juparanã (rio Pequeno) antes e depois das cheias de 2013.....	107
Figura 56 - Área entre a lagoa Nova e o rio Doce antes e depois das cheias de 2013.....	107
Figura 57 - Lagoas Areão e Areal antes e depois das cheias de 2013.....	108
Figura 58 - Comparação dos dados de turbidez para as estações de turbidez durante as cheias de 2013.....	109
Figura 59 - Cheias de 2020 – Imagem de turbidez para o dia 16/01/2020.....	110
Figura 60 - Cheias de 2020 – Imagem de turbidez para o dia 31/01/2020.....	111
Figura 61 - Comparação dos dados de turbidez para as estações de turbidez durante as cheias de 2020.....	113
Figura 62 - Imagem de 21/01/2003 da missão Landsat-7.....	114
Figura 63 - Imagem de 19/01/2004 da missão CBERS-2.....	115
Figura 64 - Imagem de 31/01/2016 da missão Resourcesat-2.....	116
Figura 65 - Imagem de 11/02/2018 da missão CBERS-4.....	117
Figura 66 - Lagoas Areão e Areal (esquerda) e Monsarás (direita) durante as cheias de 2003.....	118
Figura 67 - Áreas alagadas entre Lagoas Juparanã (direita), Nova (esquerda) e o rio Doce após as cheias de 2003.....	118
Figura 68 - Área alagada no rio Pequeno entre a lagoa Juparanã e o rio Doce após as cheias de 2004.....	119
Figura 69 - Canal que liga o rio Doce e a lagoa Monsarás após as cheias de 2004.....	120
Figura 70 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP1.....	122
Figura 71 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP2.....	123
Figura 72 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP3.....	124

Figura 73 - Série histórica de turbidez – Estação EV LJP4.	125
Figura 74 - Série histórica de turbidez – Estação LJP01.	126
Figura 75 - Série histórica de turbidez – Estação LJP02.	127
Figura 76 - Série histórica de turbidez – Estação LJP03.	128
Figura 77 - Série histórica de turbidez – Estação EV RDL9.	129
Figura 78 - Série histórica de turbidez – Estação RDO15.	130
Figura 79 - Padrões sazonais de turbidez verificados na estação LJP03.	131
Figura 80 - Série histórica de clorofila-a – Estação LJP01.	133
Figura 81 - Série histórica de clorofila-a – Estação LJP02.	134
Figura 82 - Série histórica de clorofila-a – Estação LJP03.	135
Figura 83 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP1.	136
Figura 84 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP2.	137
Figura 85 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP3.	138
Figura 86 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LJP4.	139
Figura 87 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV RDL9.	140
Figura 88 - Série histórica de clorofila-a – Estação RDO15.	141
Figura 89 - Série histórica de turbidez – Estação LAL01.	143
Figura 90 - Série histórica de turbidez – Estação LAO01.	144
Figura 91 - Série histórica de turbidez – Estação LAO02.	145
Figura 92 - Série histórica de turbidez – Estação LMN01.	146
Figura 93 - Série histórica de turbidez – Estação LNM02.	147
Figura 94 - Série histórica de turbidez – Estação EV RDL10.	148
Figura 95 - Série histórica de clorofila-a – Estação LAL01.	150
Figura 96 - Série histórica de clorofila-a – Estação LAO01.	151
Figura 97 - Série histórica de clorofila-a – Estação LAO02.	152
Figura 98 - Série histórica de clorofila-a – Estação LMN01.	153
Figura 99 - Série histórica de clorofila-a – Estação LMN02.	154
Figura 100 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV RDL10.	155
Figura 101 - Série histórica de turbidez – Estação EV LN1.	157
Figura 102 - Série histórica de turbidez – Estação EV LV2.	158
Figura 103 - Série histórica de turbidez – Estação EV LV3.	159
Figura 104 - Série histórica de turbidez – Estação EV LV4.	160
Figura 105 - Série histórica de turbidez – Estação EV LV5.	161
Figura 106 - Série histórica de turbidez – Estação LNV01.	162
Figura 107 - Série histórica de turbidez – Estação LNV02.	163

Figura 108 - Série histórica de turbidez – Estação LNV03.....	164
Figura 109 - Série histórica de turbidez – Estação EV RDL8.....	165
Figura 110 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LN1.....	167
Figura 111 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LV2.....	168
Figura 112 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LV3.....	169
Figura 113 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LV4.....	170
Figura 114 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV LV5.....	171
Figura 115 - Série histórica de clorofila-a – Estação LNV01.....	172
Figura 116 - Série histórica de clorofila-a – Estação LNV02.....	173
Figura 117 - Série histórica de clorofila-a – Estação EV RDL8.....	174
Figura 118 - Série histórica de vazão e concentração de material em suspensão na estação Colatina.	177
Figura 119 - Cargas para a série histórica de vazão e material em suspensão na estação Colatina, com destaque para a data de 05/11/2015 (rompimento da barragem de Fundão).	178
Figura 120 - Vazões na estação Colatina e turbidez na estação RD012 (Renova).	179
Figura 121 – Representação esquemática do domínio para modelagem 2D.	181
Figura 122 – Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente para o domínio simulado.	181
Figura 123 – Vazões do rio Doce e das barras saindo ao mar (linha continua: dado usado na simulação anterior, somente saindo na foz do Rio Doce; linha tracejada: dado usado na simulação nova com saída da foz do Rio Doce e das barras).	182
Figura 124 – Imagem do satélite Rapid-Eye ortho tile 5 m para cheia em 01/02/2020. Flecha continua: foz do rio Doce, flecha tracejada: Barra Monsarras.....	182
Figura 125 – Resultados de concentração do traçador conservativo (em kg m ⁻³) para um momento próximo ao pico da cheia (24/01/2016). Esquerda: modelagem original (sem considerar saída pelas barras); direita: modelagem nova, alterando a vazão do rio Doce e incluindo as saídas pelas Barras. A barra com vazão maior está visível nos resultados, indicado pela flecha.	183
Figura 126 – Resultados de concentração de traçador conservativo (em kg m ⁻³) para um momento próximo ao pico da cheia (24/01/2016, figuras acima) e num momento de estiagem (09.09.2016, figuras abaixo). Esquerda: modelagem original (sem considerar traçador nos demais estuários no domínio); direita: modelagem nova, incluindo traçador nos locais dos demais estuários. Obs.: As legendas de concentração entre estiagem e cheia são diferentes.	185
Figura 127 - Estrutura do modelo DPSIR.....	217
Figura 128 - Estrutura do DPSIR adaptada ao enfoque sistêmico e aos serviços ecossistêmicos. Os componentes ambientais constam ao lado esquerdo da figura, enquanto os componentes antrópicos	

estão no lado direito.	218
Figura 129 - Relações entre a estrutura sistêmica e o modelo DPSIR utilizados para a adaptação do contexto do desastre da Samarco e o proposto DPSIR sistêmico.....	219
Figura 130 - Exemplo de aplicação do modelo DPSIR sistêmico ao desastre da Samarco.	220
Figura 131 - Modelo da DPSIR sistêmica adaptada ao desastre da Samarco e a avaliação das perdas de serviços ecossistêmicos em decorrência do desastre.....	222
Figura 132 - Número de serviços ecossistêmicos ofertados por cada sistema ambiental.	241
Figura 133 - Distribuição dos serviços ecossistêmicos nas diferentes categorias.	242
Figura 134 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 1.....	259
Figura 135 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 2A.....	265
Figura 136 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 2B.....	267
Figura 137 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 3.	270
Figura 138 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 4.	272
Figura 139 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 5.	275
Figura 140 - Distribuição da classificação do IPSE dos serviços ofertados pelos sistemas ambientais nos 5 compartimentos da área de estudo.	277
Figura 141 - Somatório do Índice de Perda de Serviços Ecossistêmico (IPSE) para todos os serviços oferecidos nos 5 compartimentos da área de estudo.	278
Figura 142 - Danos (mudanças de estado) que causaram a maior perda potencial de serviços ecossistêmicos.....	280
Figura 143 - Esquema da estrutura para organização e integração de respostas em execução ou planejadas.	282
Figura 144 - Modelo DPSIR sistêmico e exemplos para o entendimento das respostas dentro do modelo e seus efeitos sobre a oferta de serviços ecossistêmicos.	282
Figura 145 - Esquema da estrutura para auxílio a formulação de respostas para retomada de serviços ecossistêmicos.....	283
Figura 146 - Os Seis Altos Valores de Conservação (AVC).....	287
Figura 147 - Os seis passos para elaboração de uma Triagem de AVC.	289
Figura 148 - Localização da Área de Interesse (AI).....	291

Figura 149 - Localização de áreas de AVC 1 a 4 identificados pelo método de Triagem de AVC.	293
Figura 150 - Localização de áreas de AVC 5 e 6 identificados pelo método de Triagem de AVC.	294
Figura 151 - Probabilidade de AVC 6.....	324
Figura 152 - Diagrama da interrelação entre os compartimentos ambientais Água, Sedimento, Solo, Atmosfera (ou Ar) e Biota, na qual as setas numeradas indicam o fluxo passível ocorrente principal (em preto) e secundário (em cinza) da disponibilização de EPTs entre matrizes.	347
Figura 153 – Análise sintética da consolidação e abrangência dos danos socioambientais, após a revisão da matriz efetuada com a conclusão dos estudos de acompanhamento.	349
Figura 154 – Estações telemétricas pré-selecionadas a partir de disponibilidade de dados no período entre janeiro e fevereiro de 2020.	410
Figura 155 – Ilustração de problema de deslocamento de medições das estações telemétricas durante um evento de cheia.....	411
Figura 156 – Pontos de interesse para metodologia de ajuste de medições deslocadas ao longo do hidrograma.....	411
Figura 157 – Exemplo de hidrograma ajustado com metodologia para correção de deslocamento de medições.	412
Figura 158 – Estações telemétricas utilizadas (em verde) para a estimativa das condições de contorno do modelo hidrodinâmico após a verificação dos dados.....	413
Figura 159 – Relação entre a frequência teórica e a frequência observada na estação 56425000 – Rio Dantas.	418
Figura 160 – Relação entre a frequência teórica e a frequência observada na estação 56539000 – Cachoeira dos Óculos.....	418
Figura 161 – Relação entre a frequência teórica e a frequência observada na estação 56719998 – Belo Oriente.	419
Figura 162 – Relação entre a frequência teórica e a frequência observada na estação 56850000 – Governador Valadares.	419
Figura 163 – Relação entre a frequência teórica e a frequência observada na estação 56920000 – Tumiritinga.	420
Figura 164 – Relação entre a frequência teórica e a frequência observada na estação 56994500 – Colatina.	420
Figura 165 – Vazões simuladas para diferentes períodos de retorno ao longo do rio Doce.....	423
Figura 166 – Manchas de inundação simuladas para diferentes períodos de retorno no município de Governador Valadares.	424
Figura 167 – Níveis d'água simulados para diferentes períodos de retorno no município de Governador Valadares.....	425

Figura 168 – Manchas de inundação simuladas para diferentes períodos de retorno para o trecho localizado entre a UHE Aimorés e Colatina.....	426
Figura 169 – Níveis d’água simulados para diferentes períodos de retorno para o trecho localizado entre a UHE Aimorés e Colatina.....	427
Figura 170 – Vazões observadas e simuladas na estação Cachoeira dos Óculos (56359000).	428
Figura 171 – Vazões observadas e simuladas na estação Belo Oriente (56719998).	428
Figura 172 – Vazões observadas e simuladas na estação Governador Valadares (56850000).	429
Figura 173 – Vazões observadas e simuladas na estação UHE Aimorés (56990850).	429
Figura 174 – Vazões observadas e simuladas na estação Colatina (56994510).	430
Figura 175 – Níveis observados e simulados na estação Governador Valadares (56850000).....	431
Figura 176 – Níveis observados e simulados na estação Colatina (56994510).....	431
Figura 177 – Mancha de inundação máxima simulada com o modelo HEC-RAS 1D para o município de Governador Valadares. O ponto vermelho indica a localização de registros realizados in-situ que confirmam a inundação naquele ponto.....	432
Figura 178 – Mancha de inundação máxima simulada com o modelo HEC-RAS 1D para o município de Aimorés.	433
Figura 179 – Mancha de inundação máxima simulada com o modelo HEC-RAS 1D para o município de Colatina.	433
Figura 180 – Comparação da mancha de inundação máxima simulada com o modelo HEC-RAS 1D (linha vermelha) em Aimorés com a imagem do satélite Planet do dia 27 de janeiro de 2020.	434
Figura 181 – Comparação da mancha de inundação máxima simulada com o modelo HEC-RAS 1D (linha vermelha) em Colatina com a imagem do satélite Planet do dia 28 de janeiro de 2020.	434
Figura 182 – Análise de box plot do erro (simulado – observado) entre os níveis para os 46 pontos onde houve concordância sobre a inundação do local.	437
Figura 183 – Localização dos pontos e erro da comparação entre os níveis simulados e valores levantados em campo. Trecho entre jusante da UHE Candonga e Belo Oriente.	437
Figura 184 – Localização dos pontos e erro da comparação entre os níveis simulados e valores levantados em campo. Trecho no município de Governador Valadares.....	438
Figura 185 – Localização dos pontos e erro da comparação entre os níveis simulados e valores levantados em campo. Trecho entre Tumiritinga e Baixo Guandu.	438
Figura 186 – Localização dos pontos e erro da comparação entre os níveis simulados e valores levantados em campo. Trecho entre Colatina e a foz do rio Doce.	439
Figura 187 - Exemplo de perfil de elevação extraído do Google Earth para auxílio na estimativa das profundidades das lagoas.	448
Figura 188 – Mapa do domínio global selecionado para simulação 2DH (contorno em preto) e altitudes	

(m). Contorno em branco se refere aos limites geográficos do município de Linhares.	451
Figura 189 - Composição MDT e Google Earth (acima) e malha computacional em 200 x 200m com refinamento na calha principal (abaixo) em trecho próximo ao centro de Linhares.	452
Figura 190 - Malha detalhada (5m x 5m) utilizada na simulação próximo à lagoa Nova.	453
Figura 191 - Representação esquemática do domínio para modelagem 2D.	454
Figura 192 - Localização da condição de contorno de montante.	454
Figura 193 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante no rio Doce e Lagoa Monsarás.	455
Figura 194 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante na barra do rio Riacho (ao sul).	455
Figura 195 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante na Barra Seca e rio Ipiranga.	456
Figura 196 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante em Barra Nova....	456
Figura 197 - Localização da condição de contorno ao norte.	457
Figura 198 - Representação da rugosidade de Manning para modelagem 2D. Na legenda é mostrado o valor de rugosidade adotado.	458
Figura 199 - Hidrograma de condição de contorno do evento de janeiro de 2020 (15/01/2020 a 04/02/2020).	459
Figura 200 - Cotograma de maré de condição de contorno do evento de janeiro de 2020 (15/01/2020 a 04/02/2020).	459
Figura 201 - Frequência de ocorrência de áreas úmidas baseado em observações multitemporais de satélite.	460
Figura 202 - Rede de drenagem (BHO-ANA_5K).	461
Figura 203 - Exemplo de canais e barreiras naturais: sobreposição de satélite + MDT (esquerda) e MDT (direita).	461
Figura 204 - Exemplo de canais identificados (acima) e escavado (abaixo) na margem esquerda do rio Doce – drenagem para norte.	462
Figura 205 - Exemplo de canais identificados (acima) e escavado (abaixo) na margem direita do rio Doce – drenagem para Barra do Rio Riacho.	463
Figura 206 - Exemplo de canais identificados (acima) e escavado (abaixo) na margem esquerda do rio Doce – drenagem para sul.	464
Figura 207 - Exemplos de lagoas escavadas a para representar sua profundidade, a partir da linha d'água (o valor do MDT).	465
Figura 208 - Efeito de transição de terreno de alta resolução (2m) e curvas de nível na representação do escoamento por pequenos canais e piscinões.	466

Figura 209 - Diferença entre os modelos de terreno: [MDT 2m] - [MDT Curvas de Nível].	466
Figura 210 - Linha d'água simulada para o trecho entre Colatina (seta da esquerda) e Linhares (seta da direita) para vazões em regime permanente equivalentes aos tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.	468
Figura 211 - Linha d'água simulada para o trecho entre Linhares e o mar para vazões em regime permanente equivalentes aos tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.	469
Figura 212 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente para o domínio simulado.	470
Figura 213 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente – trecho de Colatina.	471
Figura 214 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente – próximo à divisa da Linhares.	472
Figura 215 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente – próximo ao centro de Linhares.	473
Figura 216 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente – jusante do centro de Linhares.	474
Figura 217 - Resultado da mancha de inundação (máximo) para Cheia de 2020 e pontos de medição com RTK.	476
Figura 218 - Imagem do satélite Sentinel 2 tile 5m.	477
Figura 219 - Imagem do satélite Rapid-Eye ortho tile 5m para cheia de 2020.	477
Figura 220 - Resultado da mancha de inundação para evento de janeiro de 2020 em Colatina.	478
Figura 221 - Resultado da mancha de inundação para evento de janeiro de 2020 na divisa de Colatina-Linhares.	479
Figura 222 - Resultado da mancha de inundação para evento de jan 2020 no trecho inicial de Linhares.	479
Figura 223 - Resultado da mancha de inundação para evento de janeiro de 2020 - próximo à área urbanizada.	480
Figura 224 – Apêndice A: Séries históricas de vazões e concentração de sólidos suspensos totais nas estações RD023.	484
Figura 225 – Apêndice A: Séries históricas de vazões e concentração de sólidos suspensos totais nas estações RD033.	485
Figura 226 – Apêndice A: Séries históricas de vazões e concentração de sólidos suspensos totais nas estações RD044.	485
Figura 227 – Apêndice A: Séries históricas de vazões e concentração de sólidos suspensos totais nas estações RD053.	486

Figura 228 - Apêndice I: Requerimentos minerários.	514
Figura 229 - Apêndice I: Probabilidade de AVC 1.....	514
Figura 230 - Apêndice I: Unidades de Conservação na região de estudo.....	515
Figura 231 - Apêndice I: Mapa de Probabilidade de AVC 1.....	515
Figura 232 - Apêndice I: Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.	516
Figura 233 - Apêndice I: Reserva da Biosfera Espinhaço.....	516
Figura 234 - Apêndice I: Probabilidade de AVC 2.....	517
Figura 235 – Apêndice I: Probabilidade de AVC Região Bento Rodrigues e Gandarela.	517
Figura 236 - Apêndice I: 1Probabilidade de AVC Região Parque Estadual Rio Doce.	518
Figura 237 - Apêndice I: Sítio Ramsar Parque Estadual Rio Doce.	518
Figura 238 - Apêndice I: Probabilidade de AVC Região Sete Salões/Krenak.....	519
Figura 239 - Apêndice I: Probabilidade de AVC Região Degredo.	519
Figura 240 - Apêndice I: Imagem aérea Região Bento Rodrigues e Gandarela.	520
Figura 241 - Apêndice I: Imagem aérea Região Sete Salões/Krenak.....	520
Figura 242 - Apêndice I: Imagem aérea Região Degredo.	521
Figura 243 - Apêndice I: Probabilidade de AVC 3.....	521
Figura 244 - Apêndice I: Probabilidade de AVC 4.....	522
Figura 245 - Apêndice I: Altimetria da área de estudo.	522
Figura 246 - Apêndice I: Declividade da área de estudo.....	523
Figura 247 - Apêndice I: Uso do solo na área de estudo.....	523
Figura 248 - Apêndice I: Pedologia na área de estudo.....	524
Figura 249 - Apêndice I: Probabilidade de AVC 5.....	524
Figura 250 - Apêndice I: Probabilidade de AVC 6.....	525

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descritivo das estações.	60
Tabela 2 - Vazões médias diárias específicas (l/s.km ²) de estações localizadas na calha dos rios Gualaxo do Norte e do Carmo, ordenadas de montante para jusante - maiores valores em negrito.	65
Tabela 3 - Vazões médias diárias específicas (l/s.km ²) de estações localizadas na calha do rio Doce, ordenadas de montante para jusante - maiores valores em negrito.	66
Tabela 4 – Cargas de sólidos suspensos totais (máximo de linha-base e cargas de janeiro, fevereiro e março de 2020), vazões e concentrações nas estações RD019, RD023, RD033, RD044 e RD053.	72
Tabela 5 – Quantificação da área afetada pela ASER por município a jusante da UHE Candonga.	77
Tabela 6 – Quantificação da área afetada (km ²) por cheias de vários tempos de recorrência a jusante da UHE Candonga.	78
Tabela 7 – Uso do solo para ASER 2020 – trecho a jusante da UHE Risoleta Neves até a foz do rio Doce.	79
Tabela 8 - Uso do solo para cheias de vários TRs – trecho a jusante da UHE Risoleta Neves até a foz do rio Doce.	80
Tabela 9 - Datas dos eventos de cotas elevadas e das imagens correspondentes.	92
Tabela 10 - Estações virtuais utilizadas nas análises.	93
Tabela 11 - Comparação entre os dados de turbidez das estações virtuais antes e depois das cheias de 1997.	103
Tabela 12 - Comparação entre os dados de turbidez das estações virtuais antes e depois das cheias de 2013.	108
Tabela 13 - Comparação entre os dados de turbidez das estações virtuais antes e depois das cheias de 2020.	112
Tabela 14 – Cargas de material em suspensão (máximos de linha-base e pós-desastre e carga de janeiro de 2020), vazões e concentrações na estação Colatina.	179
Tabela 15 - Vazões dos demais estuários no domínio analisado.	184
Tabela 16 - Definições das categorias de serviços ecossistêmicos.	215
Tabela 17 - Sistemas ambientais identificados na área de estudo e sua descrição.	225
Tabela 18 - Distribuição dos sistemas ambientais em cada compartimento na área de estudo.	229
Tabela 19 - Grupos de beneficiários potencialmente afetados na área de estudo.	231
Tabela 20 - Serviços ecossistêmicos existentes na área de estudo.	232
Tabela 21 - Valores associados a gravidade dos danos determinada em Brasil (MPF)/ Lactec (2020).	235
Tabela 22 - Classificação do Índice de Perda de Serviço Ecossistêmico (IPSE).	237

Tabela 23 - Sistemas ambientais na área de estudo, serviços ecossistêmicos e benefícios providos pelos sistemas ambientais e potenciais grupos de beneficiários dos serviços.	244
Tabela 24 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 1.....	256
Tabela 25 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 1.	257
Tabela 26 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 2.....	262
Tabela 27 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 2A.	263
Tabela 28 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 2B.	266
Tabela 29 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 3.....	268
Tabela 30 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 3.	269
Tabela 31 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 4.....	271
Tabela 32 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 4.	273
Tabela 33 - Índice de perda dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 5.....	276
Tabela 34 - Potenciais grupos de beneficiários mais afetados.	279
Tabela 35 - Identificação de áreas de AVC 1 a 4 pelo método de Triagem de AVC.	295
Tabela 36 - Identificação de áreas de AVC 5 e 6 identificados pelo método de Triagem de AVC.	295
Tabela 37 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Bento Rodrigues e Gandarela.	296
Tabela 38 - Matriz de Análise de indicadores de AVC 2 – Região Bento Rodrigues/Gandarela.	297
Tabela 39 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região Bento Rodrigues e Gandarela.	298
Tabela 40 - Unidades de Conservação na região Bento Rodrigues e Gandarela.	298
Tabela 41 - Matriz de Análise dos indicadores relacionados ao AVC 4 – Região Bento Rodrigues e Gandarela.	299
Tabela 42 - Matriz de Análise do AVC 1 – Parque Estadual do Rio Doce.	300
Tabela 43 - Estudos de diversidade florística realizados na região do Parque Estadual do Rio Doce.	300
Tabela 44 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região Parque Estadual do Rio Doce.	301
Tabela 45 - Matriz de Análise do AVC 3 – Parque do Rio Doce.....	302
Tabela 46 - Unidades de Conservação no entorno do Parque Estadual do Rio Doce.....	303
Tabela 47 - Matriz de Análise do AVC 4 – Parque Estadual do Rio Doce.	303
Tabela 48 - Matriz de Análise do AVC 1 – APAs Ipaba.	304
Tabela 49 - Matriz de Análise do AVC 2 – APAs Ipaba.	305
Tabela 50 - Matriz de Análise do AVC 3 – APAs Ipaba.	305
Tabela 51 - Unidades de Conservação na Região APAs Ipaba.	306

Tabela 52 - Matriz de Análise do AVC 4 – APAS Ipaba.	306
Tabela 53 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Sete Salões/Krenak.....	307
Tabela 54 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região Sete Salões/Krenak.....	308
Tabela 55 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região Sete Salões/Krenak.....	308
Tabela 56 - Matriz de Análise dos indicadores de AVC 4 – Região Sete Salões/Krenak.	308
Tabela 57 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Alto Mutum.	309
Tabela 58 - Matriz de Análise de Indicadores de AVC 2 – Região Alto Mutum.	310
Tabela 59 - Matriz de Análise de Indicadores de AVC 3 – Região Alto Mutum.	310
Tabela 60 - Matriz de Análise de indicadores de AVC 4 – Alto Mutum.	310
Tabela 61 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Degredo.....	311
Tabela 62 - Matriz de Análise de indicadores de AVC 2 – Região Degredo.	312
Tabela 63 - Matriz de Análise de Indicadores do AVC 3 – Região Degredo.	312
Tabela 64 - Unidades de Conservação localizadas no Mosaico de Áreas Protegidas da foz do rio Doce.	313
Tabela 65 - Matriz de Análise do AVC 4 – Região Degredo.....	314
Tabela 66 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região RPPN Bulcão.....	314
Tabela 67 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região RPPN Bulcão.....	315
Tabela 68 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região RPPN Bulcão.....	315
Tabela 69 - Matriz de Análise do AVC 4 – Região RPPN Bulcão.....	316
Tabela 70 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Costa do Espírito Santo.	316
Tabela 71 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região Costa do Espírito Santo.	317
Tabela 72 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região Costa do Espírito Santo.	317
Tabela 73 - Unidades de Conservação localizadas na Região Costa do Espírito Santo.....	318
Tabela 74 - Matriz de Análise do AVC 4 – Região Costa do Espírito Santo.	318
Tabela 75 - Matriz de Análise do AVC 5 – Uso do território por comunidades indígenas.....	320
Tabela 76 - Matriz de Análise do AVC 5 – Uso do território por comunidades quilombolas.....	321
Tabela 77 - Matriz de Análise do AVC 5 – Uso do território por povoados e comunidades.....	322
Tabela 78 - Matriz de Análise do AVC 6 – Sítios Arqueológicos e Manifestações Culturais.	322
Tabela 79 - Análise de Níveis de Ameaças aos indicadores de AVCs 1 a 4.	326
Tabela 80 - Análise de Riscos e Ameaças dos AVCs 5 a 6.....	329
Tabela 81 - Regra de decisão para derivar níveis de risco.	332
Tabela 82 – Valor esperado para a média reduzida (y_n) função do nº de dado (n).	409
Tabela 83 – Valor esperado para o desvio padrão reduzido σ_n função do nº de dados (n).	409
Tabela 84 – Estações telemétricas utilizadas para estimativas das condições de contorno.	413

Tabela 85 – Resultados do teste de Kolmogorof – Smirnof nas distribuições de frequências testadas, apresentando se a distribuição foi aprovada (V) ou reprovada (X).	417
Tabela 86 – Vazões máximas observadas nas estações 56425000 – Rio Dantas, 56539000 – Cachoeira dos Óculos, 56719998 – Belo Oriente, 56850000 – Governador Valares (GV), 56920000 – Tumiritinga e 56994500 – Colatina, no período de 1986 a 2019.	421
Tabela 87 – Vazões máximas prováveis em função do período de retorno (Tr) para as estações localizadas no leito do Rio Doce.....	422
Tabela 88 – Comparação dos níveis observados levantados em campo com as simulações hidrodinâmicas 1D e 2D. O erro corresponde aos valores simulados – observados. Os valores nas células em cinza correspondem àqueles estimados com o modelo 2D e os demais correspondem ao modelo 1D. O ponto observado foi considerado inundado quando este se encontrava dentro da mancha de inundação simulada.....	435
Tabela 89 - Resumo das profundidades escavadas em cada lagoa.	449
Tabela 90 - Resumo das profundidades escavadas em cada lagoa (continuação).	449
Tabela 91 - Vazões simuladas em seções de controle próximas aos contornos do domínio (m ³ /s). .	475
Tabela 92 - Percentual dos volumes acumulados em seções de controle próximas aos contornos do domínio, em relação a Colatina (%).	475
Tabela 93 - Apêndice B: Gravidade e abrangência dos danos diagnosticados.	487
Tabela 94 - Apêndice C: Matriz de relacionamentos entre danos ambientais e serviços ecossistêmicos.	491
Tabela 95 - Apêndice D: incidência dos danos (alterações das propriedades e processos físico-químico-biológicos e funções ecossistêmicas) sobre os sistemas ambientais da área de estudo.....	497
Tabela 96 - Apêndice E: índice de perda de serviço ecossistêmico (IPSE) dos serviços oferecidos pelos sistemas ambientais da área de estudo.	503
Tabela 97 - Apêndice F: Classificação do ipse dos serviços ecossistêmicos por sistema ambiental...	504
Tabela 98 - Apêndice H: Descritivo das entrevistas realizadas para o estudo de AVC.	510

LISTA DE ABREVIATURAS

Ag	-	Prata
Al	-	Alumínio
As	-	Arsênio
Au	-	Ouro
B	-	Boro
Ba	-	Bário
C	-	Carbono
Cr	-	Cromo
Cu	-	Cobre
Cd	-	Cádmio
Ce	-	Cério
Cél.	-	Célula
-CH ₃	-	Radical metil
Cl ⁻	-	Íon cloreto
cm	-	Centímetro
Co	-	Cobalto
Cr	-	Cromo
Cu	-	Cobre
<i>e.g.</i>	-	Abreviação em latim que significa 'por exemplo'
<i>etc.</i>	-	Et cetera
Fe	-	Ferro
FeAsS	-	Arsenopirita
FeO(OH)	-	Goethita
g	-	Grama
Gr	-	Grave
Gvs	-	Gravíssimo
ha	-	Hectares
Hg	-	Mercúrio
hm ³	-	Hectômetros cúbicos
HNO ₃	-	Ácido nítrico
Ind.	-	Indivíduo
K ⁺	-	Íon potássio
kg	-	Quilograma
L	-	Litro
La	-	Lantânio
m	-	Metro
M	-	Molar
mA	-	Miliampère
mg	-	Miligrama
Min.	-	Minuto
Mg ²⁺	-	Íon magnésio
min	-	Minuto
mL	-	Mililitro

mm	-	Milímetro
Mn	-	Manganês
MN	-	Micronúcleo
Mo	-	Molibdênio
m/v	-	Massa por volume
µg	-	Micrograma
µl	-	Microlitro
µM	-	micrômetro
N	-	Nitrogênio
Na ⁺	-	Íon sódio
NaCl	-	Cloreto de sódio
NaOH	-	Hidróxido de sódio
Ni	-	Níquel
nM	-	Nanômetro
p.	-	Página
p.ex.	-	Por exemplo
Pb	-	Chumbo
PGr	-	Pouco grave
s	-	Segundos
S	-	Enxofre
Sb	-	Antimônio
Se	-	Selênio
Sn	-	Estanho
Ti	-	Titânio
U	-	Urânio
V	-	Vanádio
Zn	-	Zinco

LISTA DE SIGLAS

AAC	-	Atividade específica da enzima Anidrase Carbônica
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	-	Anidrase Carbônica (do inglês <i>Carbonic Anhydrase</i>)
ACAS	-	Água Central do Atlântico Sul
AChE	-	Acetilcolinesterase (do inglês <i>Acetylcholinesterase</i>)
ADME	-	Área de Disposição de Material Excedente
AET	-	<i>Apparent Effects Threshold</i>
AF	-	Assimetria Flutuante
AGERH	-	Agência Estadual de Recursos Hídricos
AGV	-	Amostrador de Grandes Volumes
AIQ	-	Armadilhas de Interceptação e Queda
AN	-	Anormalidades Nucleares
ANA	-	Agência Nacional de Águas
ANEs	-	Anormalidades Nucleares Eritrocitárias
ANOSIM	-	<i>Analysis of Similarities</i>
APA	-	Área de Proteção Ambiental
APDL	-	Área de Passagem e Deposição da Lama
APE	-	Áreas de Proteção Especial
APP	-	Áreas de Preservação Permanente
ARI	-	Áreas de Reconhecimento Internacional
ASR	-	Amostragem em Sítio Reprodutivo
AvTD	-	Média da Distinção Taxonômica
BA	-	Bahia
BC	-	Bray-Curtis
BHRD	-	Bacia Hidrográfica do rio Doce
BMWP	-	<i>Biological Monitoring Work Party</i>
C	-	Índice de Dominância de Simpson
CAP	-	Circunferência à Altura do Peito
CAR	-	Cadastro Ambiental Rural
CAT	-	Catalase
CBR	-	Índice de Suporte Califórnia
CC	-	Comprimento da Cauda
CEMAVE	-	Centro Nacional de Pesquisa para a Conservação das Aves Silvestres
CENIBRA	-	Celulose Nipo-Brasileira S.A
CES	-	Corrente Equatorial Sul
CFBio	-	Conselho Federal de Biologia
CIF	-	Comitê Interfederativo
CITES	-	Comércio Internacional de Espécies da Fauna e da Flora Selvagem Ameaçadas de Extinção
CN	-	Controle negativo
CNUC	-	Cadastro Nacional de Unidades de Conservação
CO	-	Carbono Orgânico
COD	-	<i>Crystallography Open Data</i>

COM	-	Cometa
CONAMA	-	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	-	Carbono Orgânico Total
COVs	-	Compostos Orgânicos Voláteis
CP	-	Controle positivo
CPRM	-	Serviço Geológico do Brasil
CRC	-	Comprimento Rostro-Cloacal
CREA	-	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CRQ	-	Comunidade Remanescente Quilombola
CSS	-	Concentração de Sedimentos em Suspensão
CTA	-	Capacidade de Troca Aniônica
CTBio	-	Câmara Técnica de Biodiversidade
CTC	-	Capacidade de Troca Catiônica
CTGRSA	-	Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental
CVRD	-	Complexo de Água Limpa
DA	-	Dentro ou adjacente à APDL
DAP	-	Diâmetro a Altura do Peito
DBO	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMSO	-	Dimetilsulfóxido ou sulfóxido de dimetilo
DNA	-	Ácido desoxirribonucleico (do inglês <i>deoxyribonucleic acid</i>)
DRX	-	Difratometria de Raios-X
DV	-	Direção do Vento
EDS	-	Análise Química Elementar
EDTA	-	Ácido etilenodiamino tetra-acético (do inglês <i>ethylenediamine tetraacetic acid</i>)
EET	-	Estação Ecológica do Tripuí
EO	-	Encontros Ocasionais
(US)EPA	-	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (do inglês <i>United States Environmental Protection Agency</i>)
EPTs	-	Elementos Potencialmente Tóxicos
ESPTs	-	Elementos e Substâncias Potencialmente Tóxicos
ERL	-	Faixa de Efeito Baixo
ERM	-	Efeito Rangemediano
EROD	-	Etóxiresorufina – O – deetilase
EROs	-	Espécies Reativas de Oxigênio
ES	-	Espírito Santo
ESPTs	-	Elementos ou Substâncias Potencialmente Tóxicos
ETA	-	Estação de Tratamento de Água
ETR	-	Elementos Terras Raras
ETRL	-	Elementos Terras Raras leves
ETRP	-	Elementos Terras Raras Pesados
F.O.	-	Frequência de Ocorrência
FAD	-	Flotação a Ar Dissolvido
FBDS	-	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
FC	-	Fator de Contaminação
FD	-	Índice de Diversidade Funcional

FE	- Fator de Enriquecimento
FEAM	- Fundação Estadual do Meio Ambiente
FES	- Floresta Estacional Semidecidual
FLONA	- Floresta Nacional
FMRD	- Faixa Marginal ao Rio Doce
FURG	- Universidade Federal de Rio Grande
GLIC	- Glicose
GLICOG	- Glicogênio muscular
GLM	- Modelos Lineares Generalizados
GPx	- Glutathione Peroxidase
GR	- Glutathione Redutase
GSH	- Glutathione reduzida
GST	- Glutathione S – transferase
H'	- Índice de Diversidade de Shannon-Weaver
Hb	- Hemoglobina
HE	- Hematoxilina-Eosina
HPAs	- Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
HSP	- Proteína de choque térmico (do inglês <i>heat shock protein</i>)
IAi	- Índice Alimentar
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IBR	- Índice integrado de Respostas de Biomarcadores (do inglês <i>Index of Biomarkers Responses</i>)
IC	- Intervalo de Confiança
ICMBio	- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICP-MS	- Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente (do inglês <i>Inductively coupled plasma Mass Spectrometry</i>)
ICP-OES	- Espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (do inglês <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i>)
IDE-Sistema	- Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IEDE	- Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais
IEF	- Instituto Estadual de Florestas
IEMA	- Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IGAM	- Instituto Mineiro de Gestão de Águas
IM	- Índice Mitótico
IMR	- Índice de Massa Relativa
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INRC	- Inventário Nacional de Referências Culturais
IPA	- Índice Pontual de Abundância
IPEMA	- Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica
IPHAN	- Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IQAr	- Índice de Qualidade do Ar
J	- Índice de Equabilidade de Pielou
LACT	- Lactato

LAMIR	-	Laboratório de Análise de Minerais e Rochas
LMP	-	Agarose de baixo ponto de fusão
LQ	-	Limite de Quantificação
MBM	-	Museu Botânico de Curitiba
MBR	-	Minerações Brasileiras Reunidas
MDE	-	Modelo Digital de Elevação
MDT	-	Modelo Digital do Terreno
MEV	-	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	-	Marco Fixo
MG	-	Minas Gerais
MMA	-	Ministério do Meio Ambiente
MMG	-	Mamíferos de Médio e Grande porte
MPF	-	Ministério Público Federal
MPMG	-	Ministério Público de Minas Gerais
MPP	-	Mamíferos de Pequeno Porte
MPVC	-	Policloreto de Vinila Modificado
MT	-	Metalotioneína
NBR	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NDVI	-	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NI	-	Não Identificado
NIST	-	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (do inglês <i>National Institute of Standards and Technology</i>)
NKT	-	Nitrogênio Kjeldahl Total
NMDS	-	Escalonamento Multidimensional não-métrico
NMT	-	Sistema Manual de Injeção de Elastômero
Noc	-	Navio oceanográfico
OD	-	Oxigênio Dissolvido
OMS	-	Organização Mundial da Saúde
OSM	-	Osmolalidade
PA	-	Pará
PAIA	-	Parcelas de Amostragem Integrada de Artrópodes
PALT	-	Procura Aleatória Limitada por Tempo
PASEA	-	Plano de Adequação Socioeconômico e Ambiental
PCB	-	Bifenilas Policloradas
PCH	-	Pequena Central Hidrelétrica
PCO	-	Carbonilação proteica (do inglês <i>Protein Carbonyls or carbonylation</i>)
PE	-	Parque Estadual
PEL	-	Nível de Efeitos Prováveis
PERD	-	Parque Estadual do Rio Doce
PF	-	Padrão Final
PGIRS	-	Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
pH	-	Potencial Hidrogeniônico
PI	-	Proteção Integral
PI1	-	Padrão Intermediário Fase 1
PL	-	Procura Aleatória Livre

PM	-	Material Particulado
PMN	-	Parque Natural Municipal
PMQACH	-	Programa de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano
PMQQS	-	Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos
PMSAA	-	Programa de Melhoria dos Sistemas de Abastecimento de Água
PMSB	-	Plano Municipal de Saneamento Básico
PN	-	Parque Natural
PNAP	-	Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas
PNRS	-	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	-	Precipitação
PPI	-	Proteína Plasmática
PR	-	Paraná
PRI	-	Polígono de Relações Interiônicas
PRIC	-	Polígono de Relações intercatiônicas
PSLT	-	Procura Sistematizada Limitada por Tempo
PT	-	Proteínas Totais
PTS	-	Partículas Totais em Suspensão
PV	-	Procura com Veículo
QF	-	Quadrilátero Ferrífero
QM	-	Quociente de Mistura de Jentsch
R	-	Riqueza de Margalef
RB	-	Reservas da Biosfera
RBMA	-	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RBSE	-	Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço
RCC	-	Resíduos de Construção Civil
RCD	-	Resíduos de Construção Civil e Demolição
RDDM	-	Rede Rio Doce Mar
ReBio	-	Reserva Biológica
REVIS	-	Refúgio de Vida Silvestre
RG	-	Radiação
RJ	-	Rio de Janeiro
RL	-	Reservas Legais
rpm	-	Rotações por minuto
RPPN	-	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RSCD	-	Resíduos Sólidos de Construção Civil e Demolição
RT	-	Relatório Técnico
SAA	-	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	-	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	-	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SBH	-	Sociedade Brasileira de Herpetologia
SC	-	Santa Catarina
SCOVs	-	Semi-voláteis
SDT	-	Sólidos Dissolvidos Totais
SEMAD	-	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SGR	-	Sistema Geodésico de Referência
SIAGAS	-	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	-	Sistema de Informação Geográfica
SIMPROF	-	<i>Similarity Profile</i>
SISBIO	-	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
SNUC	-	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SOD	-	Superóxido dismutase
SP	-	São Paulo
SST	-	Sólidos Suspensos Totais
TA	-	Temperatura Ambiente
TBARS	-	Substâncias Reagentes ao Ácido Tiobarbitúrico (do inglês <i>Tiobarbituric Acid Reagent Substances</i>)
TC	-	Taxa de reação catalisada
TCSA	-	Termo de Compromisso Socioambiental
TEL	-	Nível de Efeitos de Limiar
TFSA	-	Terra Fina Seca ao Ar
TH	-	Teor Hídrico
TI	-	Terras Indígenas
TMT	-	Teor Máximo Tolerável
TNC	-	Taxa de reação não catalisada
TTAC	-	Termo de Transação e Ajustamento de Conduta
UA	-	Unidade Amostral
UC	-	Unidade de Conservação
UFES	-	Universidade Federal do Espírito Santo
UFMG	-	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	-	Universidade Federal do Paraná
UHE	-	Usina Hidrelétrica
Unesco	-	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNT	-	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UR	-	Umidade Relativa do Ar
UTC	-	Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos
UTM	-	Universal Transversa de Mercator
VANT	-	Veículo Aéreo Não Tripulado
VIFE	-	Implantes Visíveis de Elastômero
VMP	-	Valor Máximo Permitido
VRQs	-	Valores de Referência de Qualidade
VV	-	Velocidade do Vento
ZA	-	Zona de Amortecimento

APRESENTAÇÃO

Com o rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão, pertencente à Samarco Minerações S.A., em 5 de novembro de 2015, foi firmado uma série de acordos judiciais ao longo do tempo. O Termo de Ajustamento Preliminar firmado entre o Ministério Público Federal, Samarco Minerações S.A., Vale S.A. e BHP Billiton Brasil Ltda., instituiu ao Lactec a incumbência de 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. As atividades do Lactec incluem assessoria técnica ao Ministério Público, além da realização de coletas, pesquisas e análises de dados de materiais da região, de modo a identificar as alterações nos meios físico, biótico e de bens arqueológicos e culturais para a obtenção de um quadro detalhado dos danos 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 do Lactec e consultores especialistas em várias áreas do conhecimento. Ao longo do tempo o Lactec já publicou uma série de relatórios e pareceres que estão disponíveis para consulta no site do Ministério Público Federal, no seguinte link: <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/atuacao-do-mpf/pareceres-e-relatorios>.

As atividades iniciaram-se pelo levantamento de dados dos ambientes afetados antes do desastre, o que culminou no Relatório de Linha-Base (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2017a-c). Na sequência, realizou-se um levantamento de dados e estudos secundários realizados após o desastre, gerando o Relatório Pós-Desastre (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2018a,b). Ambos os documentos formaram a base para o levantamento preliminar de danos ambientais decorrentes do desastre, formalizado no Relatório Metodológico de Valoração Econômica e Identificação de Danos Ambientais (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2018e).

Ressalta-se que a área do conhecimento do patrimônio arqueológico e cultural foi tema de um documento separado, denominado Relatório Consolidado de Bens Arqueológicos e Culturais (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2018c), no qual estão apresentados o levantamento de linha-base para o patrimônio arqueológico e cultural e uma avaliação das ações desenvolvidas sobre esses patrimônios até maio de 2018.

Na continuidade das atividades, foi emitido o 1º Relatório Parcial de Resultados, com os primeiros resultados parciais do diagnóstico até maio de 2018 (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2018d). Também, foi emitido um relatório contendo a Caracterização do Rejeito de Mineração do Complexo de Germano (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2018f).

Já em 2019, foi emitido o Relatório de Atualização da Linha-Base (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2019a-d), readequado dentro da abordagem ecossistêmica e complementado com informações até

outubro de 2018. Um 2º Relatório Parcial de Resultados foi emitido com resultados parciais do diagnóstico até janeiro de 2019 (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2019e).

No início de 2020 foi emitido o Relatório Parcial de Valoração Econômica dos Danos Socioambientais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020a) que aborda o detalhamento metodológico utilizado para a valoração econômica dos danos socioambientais do desastre. Na sequência foi lançado o Diagnóstico de Danos, que devido à complexidade e extensão foi dividido em cinco tomos. No TOMO I – Contextualização (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), está apresentada a introdução do estudo, os aspectos metodológicos, os dados base para os danos, a matriz de danos e conclusões. Na sequência estão apresentados os tomos por ambientes afetados denominados TOMO II – Ambientes Aquáticos Continentais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020c), TOMO III – Ambiente Terrestre e Atmosfera (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) e TOMO IV – Zona Costeira e Marinha (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020e), com os danos por ambientes afetados. No TOMO V – Patrimônio Cultural (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020f-h) é apresentado os danos sobre o patrimônio arqueológico, material e imaterial.

Ainda em 2020 foi emitido o 3º Relatório Parcial de Resultados (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i) referente aos dados coletados da cheia de 2020 no rio Doce. No mesmo período foi emitido o Relatório de Valoração Contingente (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020j) e de Diagnóstico dos danos ao patrimônio cultural nas Terras Indígenas (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020k).

Já em 2021 foi emitido o Relatório de Valoração Econômica dos Danos Socioambientais com o resultado final dessa etapa de trabalho (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2021a).

No presente Relatório de Acompanhamento de Danos, são apresentados novos resultados e o acompanhamento da evolução dos danos diagnosticados até o ano de 2020. Sua apresentação segue o formato adotado no Diagnóstico de Danos, dividido em quatro tomos, sendo o primeiro de contextualização e os demais referentes aos danos a cada ambiente avaliado. Quanto ao patrimônio cultural, o cenário dos danos e as recomendações de ações de recuperação já foram apresentados em formato de pareceres, respectivamente, BRASIL (MPF)/LACTEC (2021b) e (2020n), por isso essa temática não é tratada nesse relatório.

Cada tomo é constituído por um volume do acompanhamento de danos, contendo capítulos com numeração sequencial, sendo subdivididos em itens, ou tópicos, para a estruturação hierárquica dos textos por assuntos lógicos. Os textos estão complementados e ilustrados por figuras, gráficos, quadros e tabelas, com numeração sequencial. Também, estão apresentados documentos suplementares, que se caracterizam como relatórios técnicos que subsidiam a avaliação e acompanhamento de danos. Ao final de cada volume estão apresentadas suas respectivas referências bibliográficas. Alguns tomos ainda apresentam volumes separados para Apêndices e Anexos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	40
2	ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA O ACOMPANHAMENTO DOS DANOS	43
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS	45
3	ÁREA AFETADA PELO DESASTRE	47
3.1	ÁREA DE PASSAGEM E DEPOSIÇÃO DE LAMA	47
3.2	EXTENSÃO ESPACIAL DO ESTUDO	49
4	ANÁLISE CLIMÁTICA	50
4.1	ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES.....	50
4.2	ANÁLISE DAS VAZÕES.....	59
4.3	CONCLUSÕES ACERCA DA ANÁLISE CLIMÁTICA.....	67
5	EFEITO DAS CHEIAS NO TRANSPORTE DE REJEITOS	68
5.1	ANÁLISE DAS CARGAS.....	68
5.2	MODELAGEM DA CHEIA, COTAS DE INUNDAÇÃO E TEMPOS DE RETORNO.....	73
5.2.1	METODOLOGIA UTILIZADA PARA A MODELAGEM DA CHEIA, COTAS DE INUNDAÇÃO E TEMPOS DE RETORNO.....	73
5.2.1.1	<i>DADOS DE ENTRADA DO MODELO</i>	<i>74</i>
5.2.1.2	<i>CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO</i>	<i>75</i>
5.2.1.3	<i>USO DO SOLO E ÁREAS AFETADAS.....</i>	<i>75</i>
5.2.2	RESULTADOS OBTIDOS PARA A MODELAGEM DA CHEIA, COTAS DE INUNDAÇÃO E TEMPOS DE RETORNO	76
5.2.3	CONCLUSÕES ACERCA DA MODELAGEM DA CHEIA, COTAS DE INUNDAÇÃO E TEMPOS DE RETORNO	90
5.3	O EFEITO NAS LAGOAS	91
5.3.1	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO DO EFEITO NAS LAGOAS	91
5.3.1.1	<i>PRIMEIRA ANÁLISE - CHEIAS</i>	<i>91</i>
5.3.1.2	<i>SEGUNDA ANÁLISE – SÉRIE HISTÓRICA.....</i>	<i>92</i>
5.3.2	RESULTADOS OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DO EFEITO NAS LAGOAS.....	96
5.3.2.1	ANÁLISE DAS IMAGENS DAS CHEIAS	96

5.3.2.1.1	CHEIA DE 1997.....	98
5.3.2.1.2	CHEIA DE 2013.....	104
5.3.2.1.3	CHEIA DE 2020.....	109
5.3.2.1.4	OUTROS ANOS.....	113
5.3.2.2	ANÁLISE DAS SÉRIES HISTÓRICAS	121
5.3.2.2.1	LAGOA JUPARANÃ	121
5.3.2.2.2	LAGOAS AREAL, AREÃO E MONSARÁS	142
5.3.2.2.3	LAGOA NOVA	156
5.3.3	CONCLUSÕES OBTIDAS NA AVALIAÇÃO DO EFEITO NAS LAGOAS	175
5.4	O EFEITO NO MAR	176
5.4.1	VOLUME DE REJEITO LIBERADO AO MAR.....	176
5.4.2	ÁREA DA PASSAGEM DA PLUMA	180
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	185
6	ECOTOXICOLOGIA	187
7	MATRIZ DE DANOS.....	188
8	ANÁLISE DE DANOS SOBRE OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.....	213
8.1	ABORDAGEM/ENFOQUE SISTÊMICA(O)/SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	214
8.2	O MODELO DPSIR SISTÊMICO E A ADAPTAÇÃO AO DESASTRE DA SAMARCO	216
8.3	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS...223	
8.3.1	IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS E DIVISÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM COMPARTIMENTOS	223
8.3.2	IDENTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS, BENEFÍCIOS E BENEFICIÁRIOS.	230
8.3.3	AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM DECORRÊNCIA DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO	234
8.3.4	POTENCIAIS GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS MAIS AFETADOS.....	238
8.3.5	RESPOSTAS.....	239
8.4	RESULTADOS.....	240
8.4.1	COMPARTIMENTO 1	256
8.4.2	COMPARTIMENTO 2	261
8.4.3	COMPARTIMENTO 3	267
8.4.4	COMPARTIMENTO 4	271

8.4.5	COMPARTIMENTO 5	273
8.4.6	INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS DA PERDA RELATIVA DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	277
8.4.7	RESPOSTAS.....	280
8.5	CONCLUSÕES ACERCA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	284
9	ESTUDO DE ÁREAS COM ALTO VALOR PARA CONSERVAÇÃO	286
9.1	ALTOS VALORES DE CONSERVAÇÃO E TRIAGEM DE AVC	287
9.2	METODOLOGIA.....	289
9.2.1	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS E ESCOPO.....	289
9.2.2	COLETA DE INFORMAÇÕES PARA ANÁLISE DE AVC.....	292
9.3	RESULTADOS DETALHADOS POR ÁREA – AVC GEOAMBIENTAIS 1 A 4.....	295
9.3.1	REGIÃO BENTO RODRIGUES E GANDARELA	295
9.3.1.1	AVC 1.....	295
9.3.1.2	AVC 2.....	297
9.3.1.3	AVC 3.....	297
9.3.1.4	AVC 4.....	298
9.3.2	REGIÃO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE	299
9.3.2.1	AVC 1.....	300
9.3.2.2	AVC 2.....	301
9.3.2.3	AVC 3.....	302
9.3.2.4	AVC 4.....	303
9.3.3	REGIÃO APAS IPABA.....	304
9.3.3.1	AVC 1.....	304
9.3.3.2	AVC 2.....	304
9.3.3.3	AVC 3.....	305
9.3.4	AVC 4.....	306
9.3.5	REGIÃO SETE SALÕES/KRENAK	306
9.3.5.1	AVC 1.....	307
9.3.5.2	AVC 2.....	307
9.3.5.3	AVC 3.....	308
9.3.5.4	AVC 4.....	308
9.3.6	REGIÃO ALTO MUTUM.....	309

9.3.6.1	AVC 1.....	309
9.3.6.2	AVC 2.....	309
9.3.6.3	AVC 3.....	310
9.3.6.4	AVC 4.....	310
9.3.7	REGIÃO DEGREDO	311
9.3.7.1	AVC 1.....	311
9.3.7.2	AVC 2.....	312
9.3.7.3	AVC 3.....	312
9.3.7.4	AVC 4.....	313
9.3.8	REGIÃO RPPN BULCÃO.....	314
9.3.8.1	AVC 1.....	314
9.3.8.2	AVC 2.....	315
9.3.8.3	AVC 3.....	315
9.3.8.4	AVC 4.....	315
9.3.9	REGIÃO COSTA DO ESPÍRITO SANTO	316
9.3.9.1	AVC 1.....	316
9.3.9.2	AVC 2.....	316
9.3.9.3	AVC 3.....	317
9.3.9.4	AVC 4.....	318
9.4	RESULTADOS DETALHADOS POR ÁREA - AVC SOCIOCULTURAL 5 E 6	319
9.4.1	AVC 5 – USO DO TERRITÓRIO POR COMUNIDADES INDÍGENAS	319
9.4.2	AVC 5 – USO DO TERRITÓRIO POR COMUNIDADES QUILOMBOLAS.....	320
9.4.3	AVC 5 – USO DO TERRITÓRIO POR COMUNIDADES E POVOADOS AO LONGO DO RIO DOCE	321
9.4.4	AVC 6 – SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS E MANIFESTAÇÕES CULTURAIS	322
9.5	ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE AMEAÇA	325
9.6	AVALIAÇÃO DE RISCOS E RECOMENDAÇÕES	332
9.6.1	RECOMENDAÇÕES GERAIS DE GERENCIAMENTO E MANEJO	332
9.6.2	RECOMENDAÇÕES ESPECÍFICAS DE GERENCIAMENTO E MANEJO	337
10	ANÁLISE INTEGRADA	339
10.1.	REVISÃO DO CONTEXTO DO DESASTRE DA SAMARCO E DO DIAGNÓSTICO DOS DANOS SOCIOAMBIENTAIS	339

10.2. ACOMPANHAMENTO DOS DANOS E INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS	345
11 CONCLUSÕES.....	359
12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	370
GLOSSÁRIO	383
DOCUMENTOS SUPLEMENTARES	406
MODELAGEM UNIDIMENSIONAL: “SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA CHEIA DE 2020 NO RIO DOCE E CENÁRIOS DE TEMPO DE RETORNO”	406
MODELAGEM BIDIMENSIONAL “SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA CHEIA DE 2020 NO RIO DOCE E CENÁRIOS DE TEMPO DE RETORNO”	447
APÊNDICE A	484
APÊNDICE B	487
APÊNDICE C	491
APÊNDICE D	497
APÊNDICE E.....	503
APÊNDICE F.....	504
APÊNDICE G	505
APÊNDICE H	510
APÊNDICE I	514

1 INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de Fundão, que afetou a bacia do rio Doce e região costeira adjacente, causou danos socioambientais em uma escala sem precedentes, em termos de extensão espacial e temporal. Conforme trabalhos efetuados pelo Lactec, foram diagnosticados mais de 90 danos, reversíveis e irreversíveis, em diversas escalas de gravidade (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). A extensão e a complexidade do desastre demandaram um amplo estudo científico, pautado nas melhores técnicas para identificação e mensuração destes danos sobre o meio ambiente e o patrimônio cultural, o que acabou por gerar um extenso volume de dados, relacionados a pesquisas bibliográficas, levantamentos de campo e análises laboratoriais pré e pós-desastre.

Assim, após dois anos de estudo, entre 2018 e 2019, sendo um de monitoramento, foi possível obter resultados consistentes que caracterizaram os danos nos ambientes afetados com as suas respectivas mensurações em relação à linha-base, além de sua relação com o rompimento da barragem de Fundão. No ano de 2020, foram publicados os resultados do Diagnóstico dos Danos Socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão tendo em vista os diversos compartimentos ambientais afetados: Aquático Continental (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020c); Terrestre e Atmosfera (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d); Zona Costeira e Marinha (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020e). Além disso foram também apresentados os danos sobre o Patrimônio Cultural, incluindo os Bens Materiais, Imateriais e Arqueológicos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020f-h). A partir destes estudos, foi possível fornecer respostas sobre questões como a toxicidade do rejeito, a contaminação das águas, do solo, do ar, da flora, da fauna e dos bens culturais afetados pelo desastre. No entanto, também se notou a necessidade de manutenção dos monitoramentos, uma vez que grande parte dos danos continua acontecendo na região e mesmo aqueles diagnosticados como cessados, foram relacionados à efeitos persistentes que já afetaram e/ou afetarão outras tantas matrizes, como o caso da supressão da vegetação nativa, por exemplo.

Pelos dados obtidos, até o presente momento, relativamente aos elementos e substâncias potencialmente tóxicos (ESPTs) aportados em decorrência do desastre, observou-se que as diferentes espécies químicas avaliadas estiveram e estão presentes nos mais variados meios, estando a sua disponibilidade e toxicidade relativas às dinâmicas ambientais ocorrentes. Assim, onde houver ameaças de danos graves ou irreversíveis e falta de plena certeza científica sobre a magnitude e reversibilidade dos danos, é imperativo o investimento em medidas de controle para evitar maior degradação ambiental e riscos à saúde humana (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). Temporalmente, dados da literatura científica relativa aos tempos de residência de determinados elementos no ambiente estimam poder chegar a permanências da ordem de 1400 anos para espécies químicas presentes em menores concentrações, como o caso Mn^{2+} , estando a sua remoção associada à oxidação

e deposição em sedimentos (SKEAFF; DURBEUIL; BRIGHAM, 2002; PINTILIE et al., 2007; WOOD, 2012; ALI; KHAN; ILAHI, 2019; SZIKSZAY, 2012; LÉCUYER, 2016).

Na conclusão do Diagnóstico de Danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), constou-se, porém, que até o fechamento do relatório não havia ocorrido nenhum grande evento de cheia, com exceção daquele de janeiro de 2016 (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020m). Também, foi levantado que, na ocorrência desses eventos, os efeitos do desastre poderiam voltar a ser observados ou até magnificados, uma vez que o rejeito poderia ser disponibilizado, das margens e sedimentos, sendo os seus ESPTs transportados no ambiente aquático (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). No início de 2020, a alta pluviosidade na região provocou a ocorrência de um evento de cheia considerável no rio Doce, o que demandou investigação sobre os potenciais danos socioambientais relacionáveis ao rompimento da barragem de Fundão, os quais foram apresentados em documento específico com uma avaliação geral das alterações provocadas, a partir de informações compiladas, com base em estudos de campo, de levantamentos planialtimétricos, avaliações hidrometeorológicas e atmosféricas, além de dados analíticos referentes aos resultados de amostras de água, de solos e de sedimentos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i). Tal evento, comprovou as hipóteses doravante levantadas a respeito da necessidade de acompanhamento da evolução dos danos, especialmente no que diz respeito aos aspectos ambientais, de modo a ampliar a robustez do diagnóstico efetuado.

O presente relatório apresenta resultados no que diz respeito à evolução e aos desdobramentos dos danos decorrentes do desastre até o ano de 2020. Especificamente nesse documento, buscou-se agregar as informações e os resultados transversais a todos os ambientes, sendo iniciado com a abordagem metodológica para o acompanhamento de danos, seguido da atualização da área afetada pelo desastre, considerando a área de passagem e deposição de lama (APDL) de 2016. Na sequência, é apresentada a análise climática da bacia do rio Doce, com enfoque nas precipitações e alteração da vazão, correlacionado com o efeito das cheias no transporte de rejeitos. Neste estudo, foi então levantada a área de susceptibilidade ao extravasamento de rejeito, considerando não apenas o verificado na cheia de 2020, como também pela modelagem de cheia, levantamento das cotas de inundação e tempos de retorno (TRs) para 5, 10, 25, 50 e 100 anos obtidas para a jusante do reservatório de Candonga até a foz do rio Doce.

Neste relatório, porém em volume específico, também são apresentados os resultados dos estudos de Ecotoxicologia, desenvolvidos para os diversos grupamentos de flora e fauna, os quais: flora aquática continental, peixes, anfíbios, tartarugas-marinhas, aves, pequenos mamíferos, médios e grandes mamíferos e cetáceos. Por fim, a revisão da matriz de danos é apresentada, juntamente com a análise do efeito destes sobre os serviços ecossistêmicos e o estudo de áreas com alto valor para conservação.

O documento foi concluído com relação à análise integrada dos resultados e conclusões acerca do acompanhamento dos danos, estando consolidado com as referências bibliográficas citadas ao longo do texto, glossário, documentos suplementares e apêndices. Respective anexos citados ao longo do texto são apresentados em volumes a parte desse documento, integrantes ao TOMO I.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA O ACOMPANHAMENTO DOS DANOS

A abordagem metodológica para o acompanhamento dos danos ambientais diagnosticados como decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia hidrográfica do rio Doce e região costeira adjacente seguiu a mesma premissa utilizada na etapa de diagnóstico e detalhada no TOMO I (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). O diagnóstico teve como etapa inicial a identificação dos danos advindos do rompimento da barragem de Fundão no meio ambiente e patrimônio cultural. Na sequência, buscou-se a mensuração destes pela análise comparativa de indicadores socioambientais antes e após o desastre, sendo, nesta etapa, avaliadas as eventuais alterações na tendência e reversibilidade com base nos dados obtidos no período de 2020 (sendo a gravidade considerada imutável).

Conforme mencionado no diagnóstico, a questão mais importante, em termos metodológicos, é que um desastre é um fenômeno em processo, que se desdobra no tempo e no espaço (VALENCIO, 2009), afetando o ambiente e a comunidade humana em uma dimensão espacial e temporal potencialmente maior do que o local e a data em que se deu o evento original. Relativamente ao tempo, o presente documento aborda a evolução dos danos ocorridos do desastre até o ano de 2020, considerando a hipótese levantada, na ocasião da conclusão e análise integrada do diagnóstico, de dinamicidade dos ambientes e efeitos decorrentes do desastre, principalmente na ocorrência de cheias na bacia em estudo, como a ocorrida no primeiro trimestre de 2020 e que promoveu alterações significativas capturadas em relatório específico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i), somada a potencialidade dos EPTs de se acumularem ao longo do tempo na biota, sendo magnificados ao longo das cadeias tróficas.

Logo, esse relatório de acompanhamento visou abordar os danos ainda em andamento, com a mesma metodologia já aplicada no diagnóstico. Também, visou identificar ou mensurar danos que à época do diagnóstico não foram possíveis de realizar, seja pela necessidade de novas investigações ou pelo maior tempo demandado para que o dano se manifestasse.

Da mesma forma que para o diagnóstico, o acompanhamento de danos foi pautado em extensivas pesquisas de campo e trabalhos secundários realizados na região antes e após o evento. Contou com levantamento bibliográfico 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 tiveram relação aos temas de estudo na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. As informações também foram obtidas nos

órgãos oficiais, universidades, instituições de pesquisa e demais entidades, e complementadas com os trabalhos de campo para a validação ou o refinamento desses dados ou informações.

Mais uma vez, seguindo as recomendações descritas em Brasil (MPF, 2014), buscou-se a aplicação do máximo rigor técnico na identificação e mensuração de danos, com o registro de todos os métodos, técnicas e tempos de obtenção de dados, prezando pela transparência nas conclusões. Novamente, partiu-se do modelo conceitual proposto para o diagnóstico, baseado nas quatro situações de origem do dano: (i) ações mecânicas; (ii) interações físicas, químicas e/ou biológicas, (iii) ações emergenciais e (iv) ações reparatórias, sendo este considerado como uma forma de identificar a origem e a causa dos danos, relacionando-os aos aspectos específicos do desastre. Além disso, ele serviu de norteador para as perguntas que o acompanhamento de danos buscou responder, quais sejam:

- Qual a extensão espacial total da área de passagem e deposição da lama (APDL)?
- Qual a área potencial de susceptibilidade ao extravasamento dos rejeitos?
- Quais os efeitos da expansão da extensão espacial sobre o meio ambiente?
- Como os ambientes continuam sendo afetados?
- Foram diagnosticados novos danos e/ou foram encontradas diferenças nos danos já diagnosticados?
- Quais danos foram mais significativos em cada ambiente?
- Como os serviços ecossistêmicos foram afetados pelo desastre?
- Houve alterações no comportamento dos danos desde o diagnóstico?
- Qual o cenário para o comportamento dos danos no futuro?

A abordagem metodológica adotada para o acompanhamento foi, então, a aplicação dos métodos tradicionais de avaliação de danos e a adoção da abordagem ecossistêmica para o entendimento global, sendo o diagnóstico uma premissa inicial, a partir da qual têm-se a sua identificação, seguida da mensuração, a partir de um ou mais indicadores, comparando-os com os dados de linha-base, quando possível, pontos de controle e/ou legislação ambiental, nacional e internacional (como referência complementar).

Do mesmo modo, para a execução dos estudos de acompanhamento de danos, foi mantida uma equipe multidisciplinar composta por pesquisadores do Lactec e consultores especialistas em várias áreas do conhecimento, abrangendo os seguintes temas: geologia, geotecnia, solos, qualidade do ar, hidrologia, sedimentos, qualidade das águas superficiais, águas subterrâneas, saneamento, fitoplâncton, zooplâncton, fauna bentônica, flora, ictiofauna, entomofauna, herpetofauna, quelônios, avifauna, mastofauna (incluindo os cetáceos), quiropteroфаuna, áreas protegidas, ecotoxicologia e química ambiental. A metodologia específica empregada para a coleta de informações primárias e

secundárias para cada tema abordado, está descrita nas respectivas seções, sendo adotada uma base de dados geoespacial comum a todos, conforme também efetuado no diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS

Para a avaliação de danos, novamente adotou-se a classificação de modo a sintetizar a sua magnitude e consequências. Conforme já apresentado no TOMO I do diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), a classificação dos danos socioambientais levou em consideração os atributos abrangência, gravidade, reversibilidade e tendência. No acompanhamento, foi mantida essa mesma classificação, sendo os danos revisados especialmente em relação à tendência. Além disso foi acrescido um quinto atributo, denominado importância, conforme apresentado na Figura 1. Para cada um dos atributos foram adotadas classes padronizadas que estão devidamente explicadas em cada dano e sintetizadas na matriz de danos apresentada no item 7 desse documento.

Figura 1 – Atributos de classificação dos danos socioambientais



Elaborado por: Lactec, 2021.

O atributo tendência refere-se à extensão temporal do dano, visando caracterizar se o mesmo já foi cessado ou não. Ressalta-se que essa avaliação se baseia somente na ocorrência do dano, sem levar em consideração a recuperação do ambiente. Um exemplo é a supressão de vegetação nativa pela passagem da lama, que já foi cessada, mas cujos efeitos e recuperação levarão ainda muitos anos. Caso o dano permaneça acontecendo, é apresentada a tendência a partir de 2021, dividida entre tende a reduzir ou tende a aumentar. A tendência à redução significa que, ao longo do tempo, o dano

minimiza, tendendo a ser cessado. Já a tendência de aumento, significa que o dano permanece acontecendo ou piorando ao longo do tempo, sem perspectiva cessão.

Há, ainda, os danos cujos indicadores apontam que o mesmo já cessou, entretanto possuem características tais que, dependendo das condições do ambiente, podem voltar a acontecer. Diferentemente do adotado no diagnóstico, no acompanhamento de danos esses casos foram tratados como danos cessados, porém com ressalvas, uma vez que o dano demanda o monitoramento e o controle periódico pois pode voltar a ocorrer.

Como consequência da análise de tendência dos danos, para cada dano considerado ainda não cessado foi elaborado o cenário, buscando esclarecer essa tendência e possível tempo de recuperação necessário. Esse item é apresentado na sequência de cada dano, dentro de seu respectivo tomo.

O atributo importância representa o grau de significância relativa entre os danos. É baseado na relação dos danos socioambientais identificados com os serviços ecossistêmicos afetados. A partir deste levantamento de SEs, item 8 desse documento, especificamente o APÊNDICE C que apresenta a matriz de relacionamentos entre danos e serviços, foi possível contabilizar quantos destes foram afetados por cada dano. A partir disso foi adotada a seguinte escala:

- Danos que afetaram menos de 8 serviços ecossistêmicos, representam menos de 30% dos serviços que poderiam ter sido afetados, então foram classificados como importantes;
- Danos que afetaram de 8 a 18 serviços ecossistêmicos, representam entre 30 a 70% dos serviços que poderiam ter sido afetados, então foram classificados como muito importantes;
- Danos que afetaram mais que 18 serviços ecossistêmicos, representam mais de 70% dos serviços que poderiam ter sido afetados, então foram classificados como prioritários.

A classificação de importância visou apontar os danos cujas características são consideradas mais nocivas ao ambiente, fornecendo base para definição de ações prioritárias para a recuperação. Nesse sentido, também foi apresentado no relatório de acompanhamento de danos sugestões de ações necessárias para monitoramento, mitigação e compensação dos danos, conforme os ambientes afetados. Esse item consta em cada um dos tomos dos ambientes.

Ressalta-se que a classificação de importância não foi aplicada aos danos sobre o patrimônio cultural, pois possuem relações intrínsecas com os danos socioeconômicos. Assim a priorização de ações sobre o patrimônio cultural deverá ser definida em conjunto com os demais danos sociais e econômicos.

3 ÁREA AFETADA PELO DESASTRE

A área de estudo do acompanhamento dos danos ambientais levou em consideração a extensão espacial aplicada para o diagnóstico e detalhada no Tomo I do referido relatório (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), no trecho entre Fundão e a UHE Risoleta Neves, acrescida da análise efetuada posteriormente em decorrência do evento pluviométrico da cheia de 2016, retratado em parecer específico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i), no trecho entre a UHE Risoleta Neves e a foz do rio Doce.

Embora seja, neste item, descrito o recorte espacial efetuado nos estudos realizados, reforça-se que, desde o diagnóstico, optou-se por não se fixar uma área afetada, uma vez que a abrangência do dano sobre o meio ambiente e o patrimônio cultural foi verificado como bastante diverso entre cada componente estudado. Assim, o que se delimitou foi a extensão por onde a lama de rejeitos passou e se depositou, tal qual foi avaliada, a partir de modelos matemáticos que compreenderam os tempos de retorno (TRs) de 5 a 100 anos, para determinar eventuais áreas de susceptibilidade futura, em decorrência de eventos pluviométricos. Destaca-se que, neste contexto, a abrangência do dano pode ultrapassar esses limites, sendo, tal qual para a grande maioria dos danos, essencial o monitoramento constante.

Esta área de estudo, então, tal qual reportado no Diagnóstico dos Danos Socioambientais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), variou conforme as áreas de conhecimento, sendo, de forma geral, caracterizados três ambientes principais afetados, os quais foram alvo de levantamento de danos desde a etapa de diagnóstico, os quais são: “Ambientes Aquáticos Continentais”, definidos como a massa de água doce sobre a superfície terrestre, isto é, rios, lagos, lagoas e reservatórios; substratos não consolidados ou consolidados associados ao fundo do sistema aquático, definida como zona bêntica; biota aquática, retratados no TOMO II; “Ambiente Terrestre e Atmosfera”, que abrangeu a superfície e o subsolo da estrutura física adjacente às planícies de inundação dos corpos d’água atingidos, incluindo a flora e fauna, além da atmosfera, agregado ao ambiente terrestre pois relaciona-se diretamente a este, cujo acompanhamento foi abordado no TOMO III; e “Zona Costeira e Marinha”, englobando estuários, praias e manguezais, o ambiente marinho, na porção oceânica adjacente à foz do rio Doce, e o banco de Abrolhos, apresentada no TOMO IV. Ressalta-se que a área afetada no âmbito do patrimônio cultural já foi apresentada no TOMO V do Diagnóstico de Danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020f-h)

3.1 ÁREA DE PASSAGEM E DEPOSIÇÃO DE LAMA

A ruptura de Fundão originou uma onda de cheia de grande magnitude, que percorreu inicialmente os rios Gualaxo do Norte e Carmo, os quais formam o rio Doce após sua confluência. No

rio Doce, do barramento de Fundão, danificado, até chegar ao reservatório de Candonga (UHE Risoleta Neves), a onda de cheia ficou parcialmente retida pelo barramento, sendo que grande parte dos rejeitos ficou depositada nos leitos e nas margens dos rios a sua montante. A extensão espacial inicial do desastre, localizada no Compartimento 1 e doravante denominada de Área de Passagem e Deposição de Lama, ou APDL, foi apresentada no TOMO I do Diagnóstico de Danos Socioambientais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). Como resultado, obteve-se uma área de 2.380,76 ha ou 23,8 km² nos municípios de Mariana, Barra Longa, Ponte Nova, Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce.

O vertedor da UHE Risoleta Neves, no entanto, permaneceu aberto, para não comprometer a estrutura da barragem e, com isso, a parte mais fina dos rejeitos de Fundão passou para jusante e percorreu o curso do rio Doce até sua foz, adentrando no mar.

Logo após ao desastre, em janeiro de 2016, devido à alta pluviosidade na bacia, ocorreu uma cheia significativa que promoveu a ressuspensão e remobilização dos rejeitos depositados. Assim, levantamentos de campo foram efetuados, baseados em observações *in loco* por levantamento de cotas da lama depositada nas margens, bem como das marcas nas encostas e árvores, e principalmente o uso de imagens de satélite e ortoimagens. Estes resultados foram avaliados concomitantemente com novos dados disponibilizados ao Lactec posteriormente à elaboração e publicação do Diagnóstico de Danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), permitindo o refinamento da delimitação da APDL, até então definida apenas para C1, para toda a bacia, sendo, a partir de C2, levada em consideração a modelagem hidrodinâmica efetuada pelo modelo HEC-RAS (modelo hidrodinâmico desenvolvido no “Hydrologic Engineering Center”, entidade do “Corps of Engineers” dos Estados Unidos) (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i). As áreas alagadas estimadas pela modelagem hidrodinâmica simulando a cheia de janeiro de 2016 foram definidas como a APDL-2016 na região a jusante de Candonga, e foram posteriormente somadas à área da APDL no Compartimento 1, calculada no TOMO I do Diagnóstico de Danos Socioambientais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). Assim, constatou-se a afetação, a jusante de Candonga, em área continental, de um total de 899,02 km² que corresponde a área extracalha.

Conforme detalhado no referido parecer, no qual são apresentadas as metodologias e resultados obtidos para a modelagem hidrodinâmica do trecho continental (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i), os municípios com a maior área atingida pela APDL-2016 foram Linhares, com 565,11 km², e Aracruz, com 62,60 km². Estes municípios têm grande parte com áreas planas junto a foz do rio Doce. Neste trecho, em período de seca, o rio corre dentro de sua calha. Durante as estações chuvosas, que geralmente ocorrem de dezembro a março, principalmente na incidência de eventos extremos de cheia, nos momentos de pico da vazão o rio extravasa a calha e alaga esta imensa área extremamente plana e que geralmente corresponde a outras bacias hidrográficas vizinhas. Cidades com área urbana ribeirinha como Governador Valadares, Colatina, Aimores e Baixo Gaundu, tiveram área afetada de 40,06 km², 30,41 km², 6,30 km² e 18,57 km² respectivamente.

Ao todo, a área de passagem e deposição dos rejeitos de mineração advindos do rompimento da barragem de Fundão abrangeu 922,8 km², desde Fundão, em Mariana (MG), até a foz do rio Doce, em Linhares (ES), passando por 43 municípios em Minas Gerais e no Espírito Santo (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i).

Na região costeira, conforme detalhado no TOMO I do Diagnóstico de Danos Socioambientais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), a pluma proveniente do desastre se espalhou por uma extensão junto à costa, de 93 km para norte (até o município de São Mateus – Es) e 325 km para o sul (até o município de Campos dos Goytacazes – RJ), tendo uma largura variável, de avanço para o mar, entre de 12 a 23 km.

3.2 EXTENSÃO ESPACIAL DO ESTUDO

Novamente, para o acompanhamento dos danos, a extensão espacial considerada a respeito do alcance da lama envolveu uma compartimentação da bacia do rio Doce, a qual foi efetuada a partir da adoção de critérios geomorfológicos, assim como as características específicas dos locais estudados, de forma similar ao realizado no diagnóstico dos danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

Assim, mais uma vez, para os rios atingidos e seu entorno no ambiente terrestre, foram definidos três compartimentos, relativos às características geomorfológicas do terreno e da presença das usinas hidrelétricas: o Compartimento 1, trecho desde a barragem de Fundão até a UHE Risoleta Neves, onde grande parte do volume de rejeitos ficou retido; o Compartimento 2, desde a UHE Risoleta Neves até a UHE Mascarenhas, próximo à divisa entre os estados de Minas Gerais e do Espírito Santo; e, o Compartimento 3, iniciado na UHE Mascarenhas até o limite com o Compartimento 4, definido neste estudo como estuário. Como não existe uma delimitação territorial específica do estuário do rio Doce, adotou-se, desde o diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), como iniciando na estação amostral C1, localizado a aproximadamente 7 km da linha da costa, em Regência, Linhares (ES), abrangendo a calha do rio Doce e entorno até a sua foz. O Compartimento 4 engloba o estuário do rio Doce, a Lagoa ou Laguna Monsarás e o estuário do rio Piraquê-açu (confluência com o rio Piraquê-mirim). Já o Compartimento 5 é a porção marinha da área abrangida pelo diagnóstico, delimitada por um raio de aproximadamente 80 km a partir da foz do rio Doce, raio este definido de modo a englobar o ponto amostral mais ao sul (próximo da foz do rio Piraquê-açu) e o ponto mais ao norte (manguezal do rio Mariricu). Estão contemplados no Compartimento 5, também, as faixas de praia arenosa e os manguezais.

4 ANÁLISE CLIMÁTICA

No relatório da linha-base foram realizadas análises climáticas das vazões e precipitações na bacia do rio Doce para o período pré-desastre (BRASIL MPF/LACTEC, 2017a). No Tomo I (BRASIL MPF/LACTEC, 2020b), foi apresentada uma análise comparativa entre as precipitações e vazões do pós-desastre até dezembro de 2018. Nesta seção, é apresentada uma extensão daquele estudo até setembro de 2020, quando termina a estação seca na bacia do rio Doce. Durante esta análise, são apresentados alguns aspectos da cheia de 2020 do ponto de vista da precipitação e da vazão.

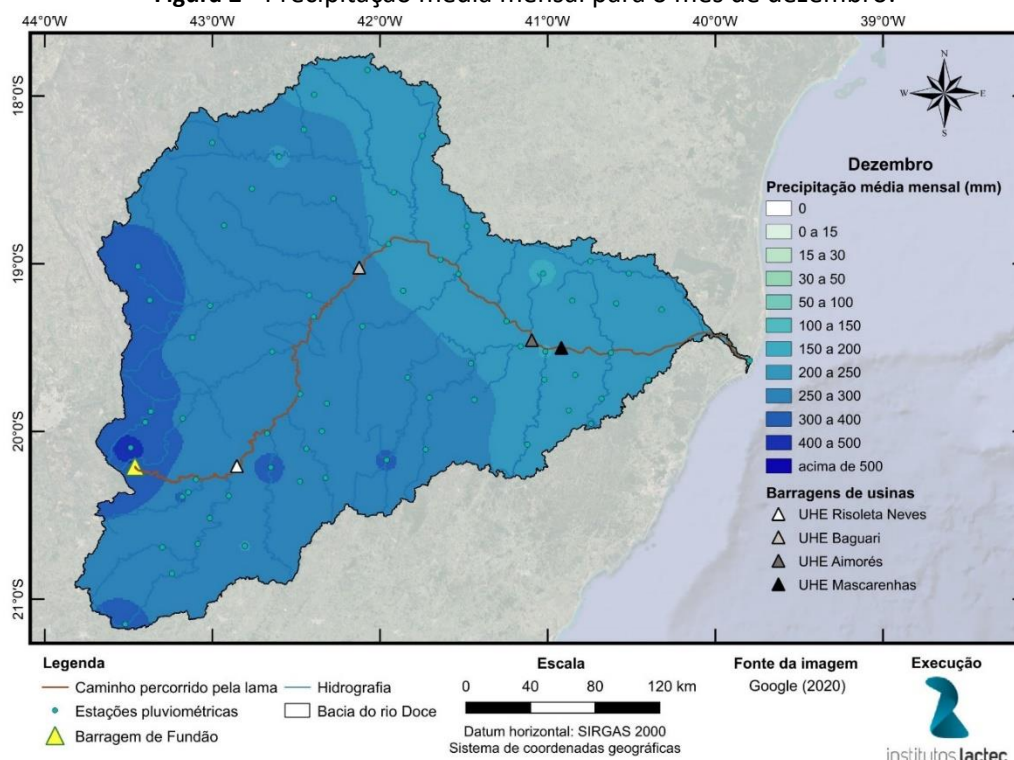
A metodologia aplicada foi a mesma já relatada na análise climática do Tomo I (BRASIL MPF/LACTEC, 2020b). Os dados utilizados foram coletados do banco de dados da Agência Nacional de Águas do Brasil (ANA, 2020). Foram selecionadas as estações convencionais já utilizadas na linha-base e, quando não havia dados nos meses mais recentes, estações telemétricas foram utilizadas (caso estivessem disponíveis nos mesmos locais das convencionais) para preenchimento de vazios na série.

No caso das vazões, também foram utilizados os dados de estações da Renova, pois suas séries temporais trazem informações importantes, sobretudo na região do Compartimento I, onde há escassez de dados no banco da ANA.

4.1 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES

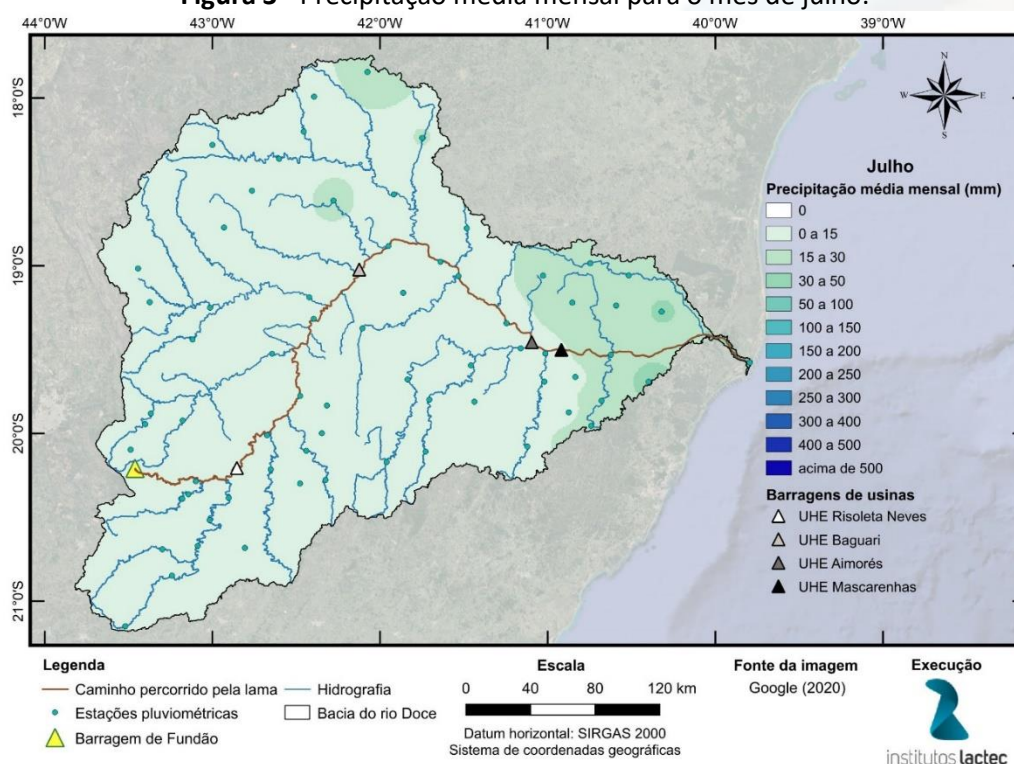
A estação chuvosa na bacia começa no mês de outubro e estende-se até o mês de março, enquanto a estação seca vai de abril até setembro. O contraste entre estes dois períodos fica bastante evidente quando comparamos a precipitação média de dezembro, que é o mês mais chuvoso historicamente (Figura 2), com julho, o mês mais seco (Figura 3).

Figura 2 - Precipitação média mensal para o mês de dezembro.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 3 - Precipitação média mensal para o mês de julho.

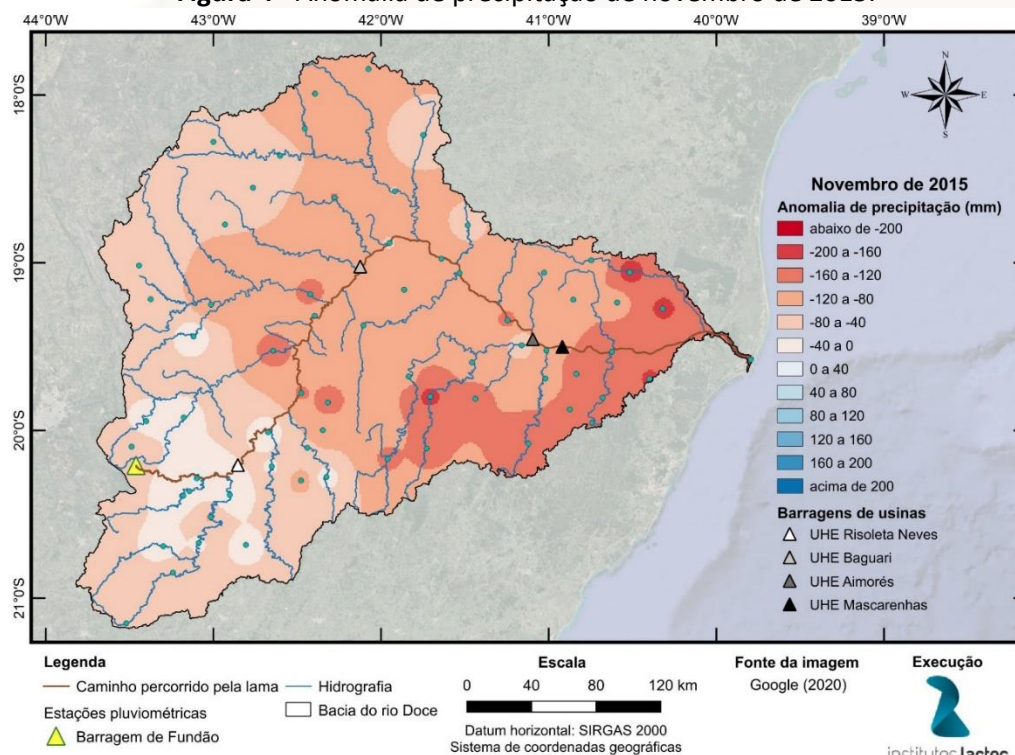


Fonte: Lactec (2020).

Sendo assim, a disponibilidade hídrica na bacia do rio Doce é muito sensível a variações de precipitação da estação chuvosa.

Analisando a anomalias de precipitação do mês de novembro de 2015 (mês da ocorrência do desastre), notamos que a precipitação ficou abaixo da média em quase toda a bacia (Figura 4), sendo este um padrão bastante comum no período pós-desastre.

Figura 4 - Anomalia de precipitação de novembro de 2015.

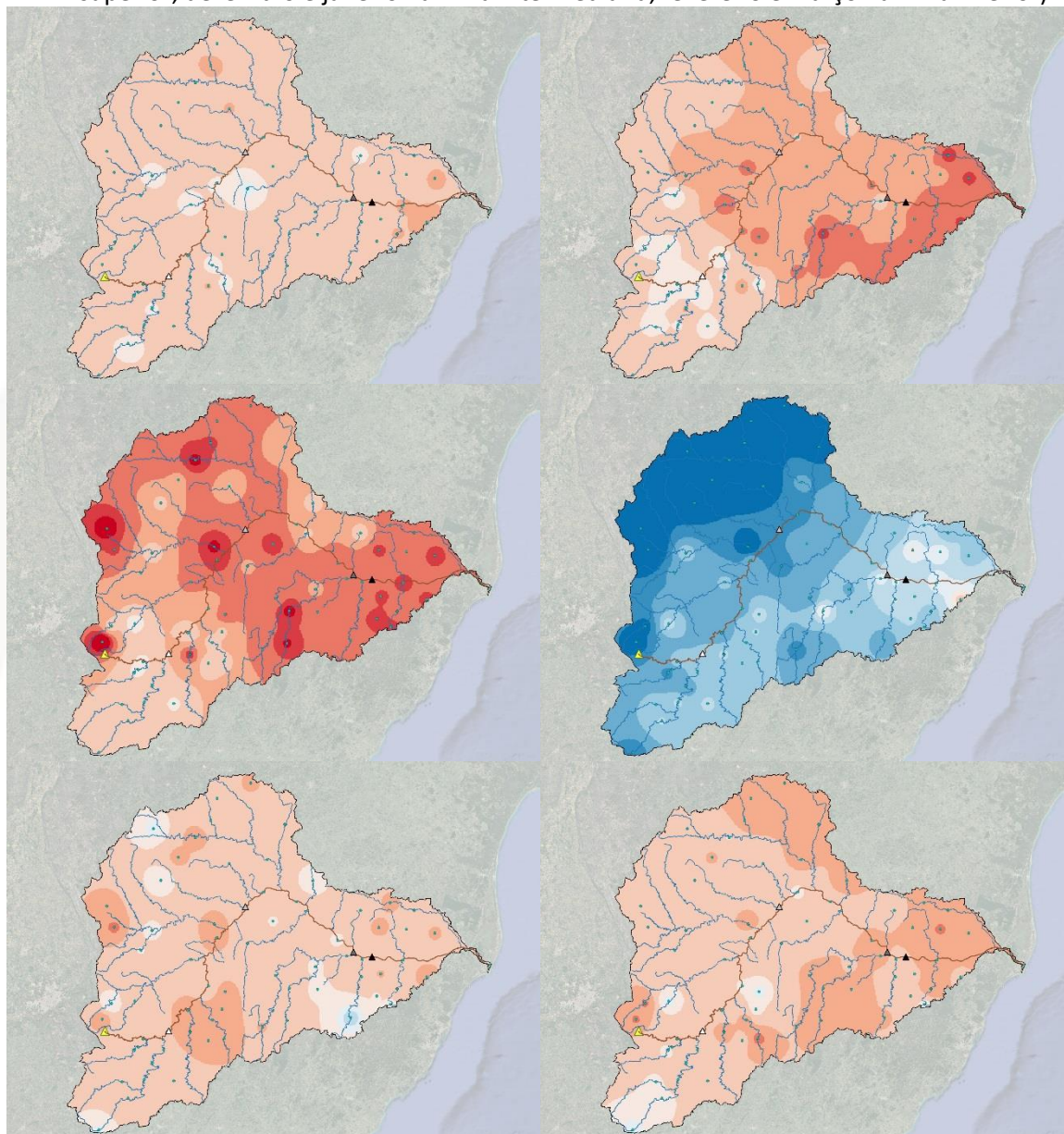


Fonte: Lactec (2020).

Com a mesma escala de cores da Figura 4, são apresentadas as anomalias de precipitação de todos os meses das estações chuvosas no período pós-desastre.

Na Figura 5 estão mostradas as anomalias para a estação chuvosa de 2015-2016. Exceto pelo mês de janeiro de 2016, os demais apresentaram chuva abaixo da média histórica, sendo dezembro o mês relativamente mais seco do que o histórico. Embora o fato da primeira cheia após o desastre tenha ocorrido logo no primeiro mês de 2016 e contribuído diretamente para um aumento de turbidez no rio Doce naquele período, as consequências poderiam ter sido ainda maiores caso os meses anteriores fossem mais chuvosos, causando um incremento da vazão no rio principal da bacia e espalhando uma quantidade ainda maior do rejeito nos compartimentos após a UHE Risoleta Neves.

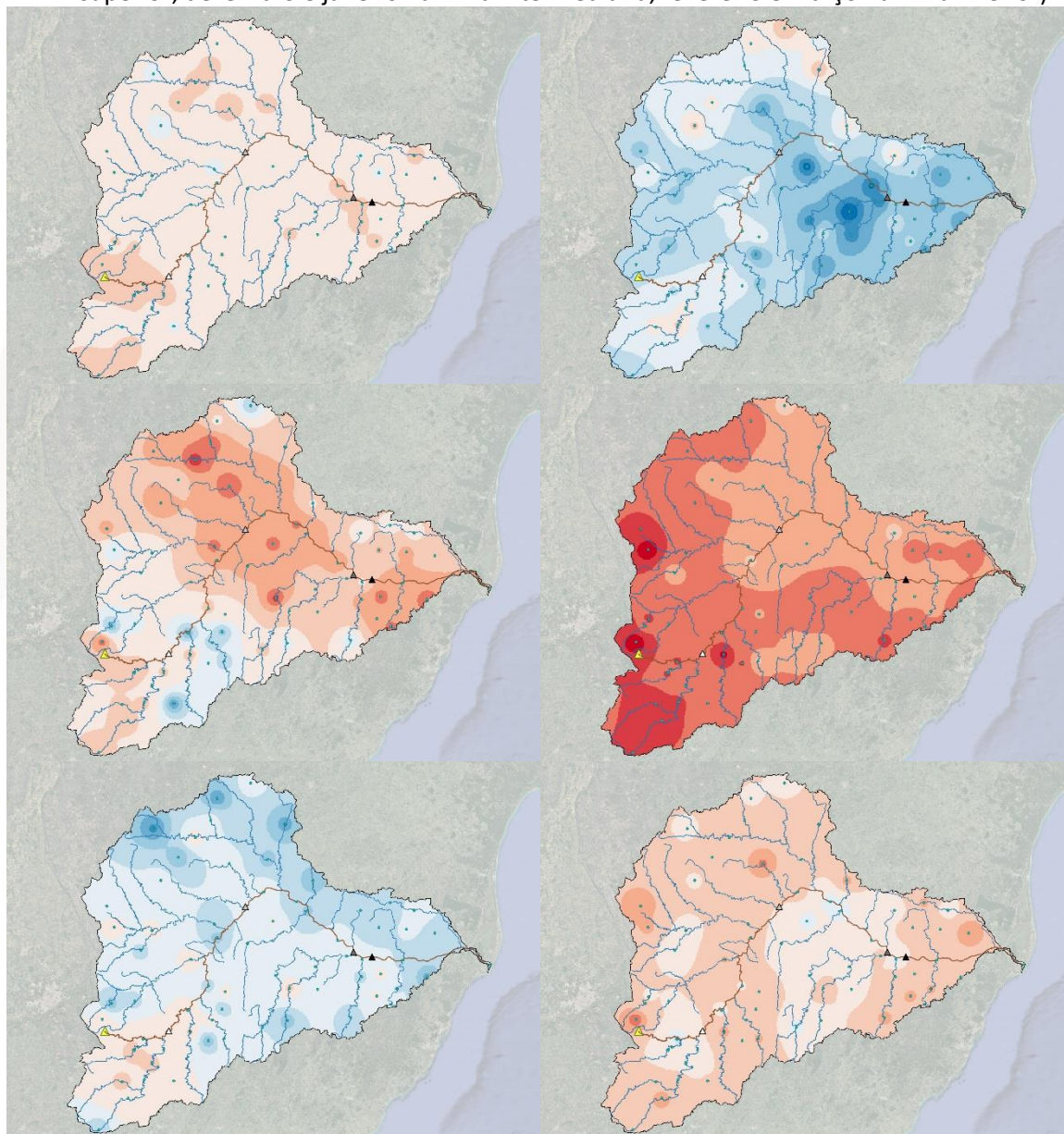
Figura 5 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2015-2016 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).



Fonte: Lactec (2020).

No período chuvoso 2016-2017 (Figura 6) o cenário foi parecido com o ano anterior, mas, desta vez, apenas novembro de 2016 e fevereiro de 2017 apresentaram chuva acima da média em boa parte da bacia, ainda que não na intensidade de janeiro de 2016. Dezembro de 2017 teve alguns pontos levemente acima da média na porção mais à montante da bacia e janeiro de 2017 foi bastante seco, sobretudo na região mais ao sul, próxima à barragem de Fundão.

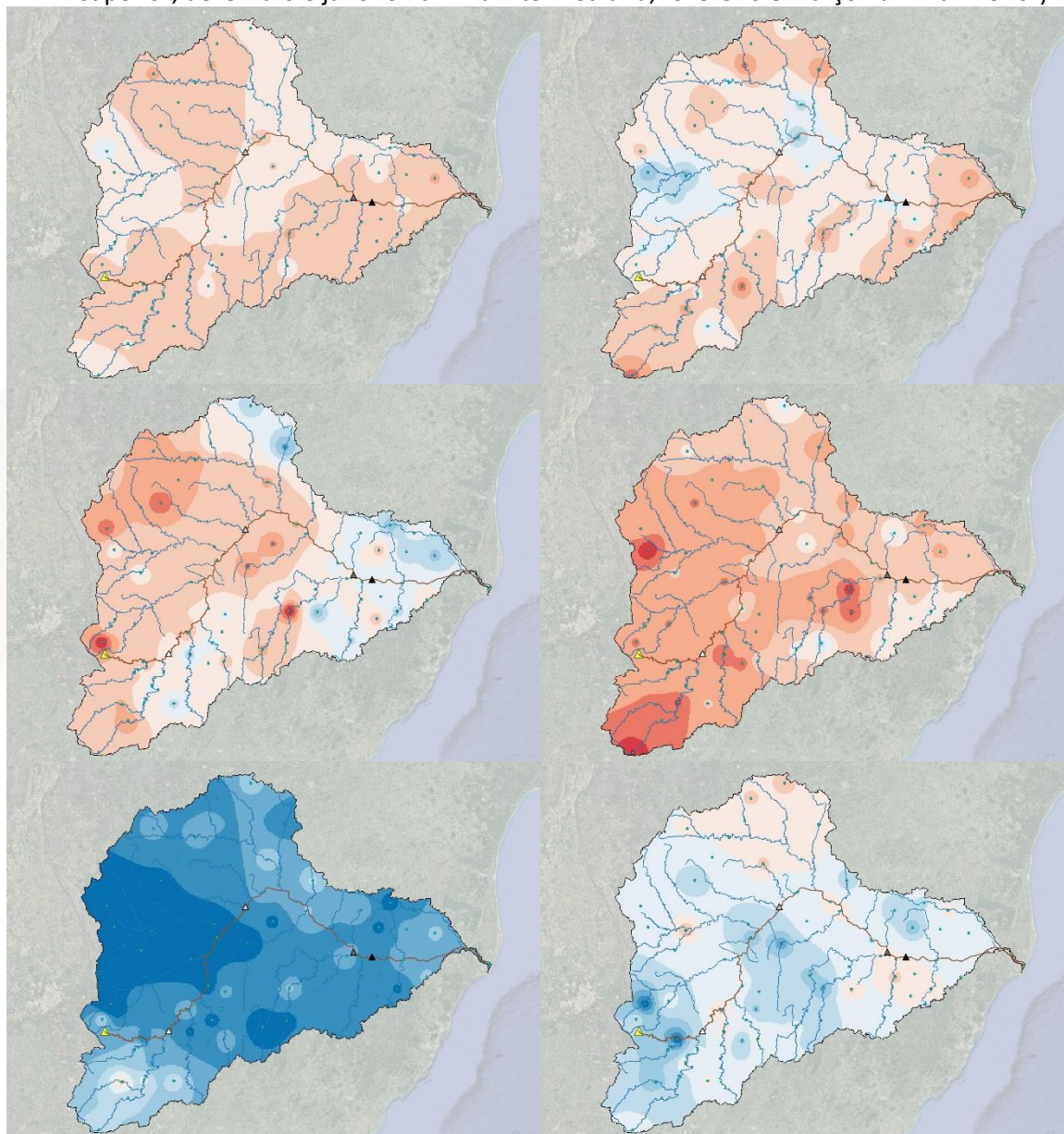
Figura 6 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2016-2017 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).



Fonte: Lactec (2020).

Para o período de 2017-2018 (Figura 7), o cenário foi muito parecido com o de 2015-2016, com um mês muito acima da média (fevereiro de 2018). Entretanto, como dezembro e janeiro são os meses mais significativos do período chuvoso e não apresentaram chuvas consideráveis neste período, a contribuição de fevereiro não foi suficiente para que fosse visto um episódio importante de cheia de rio Doce, como aquele verificado em 2016.

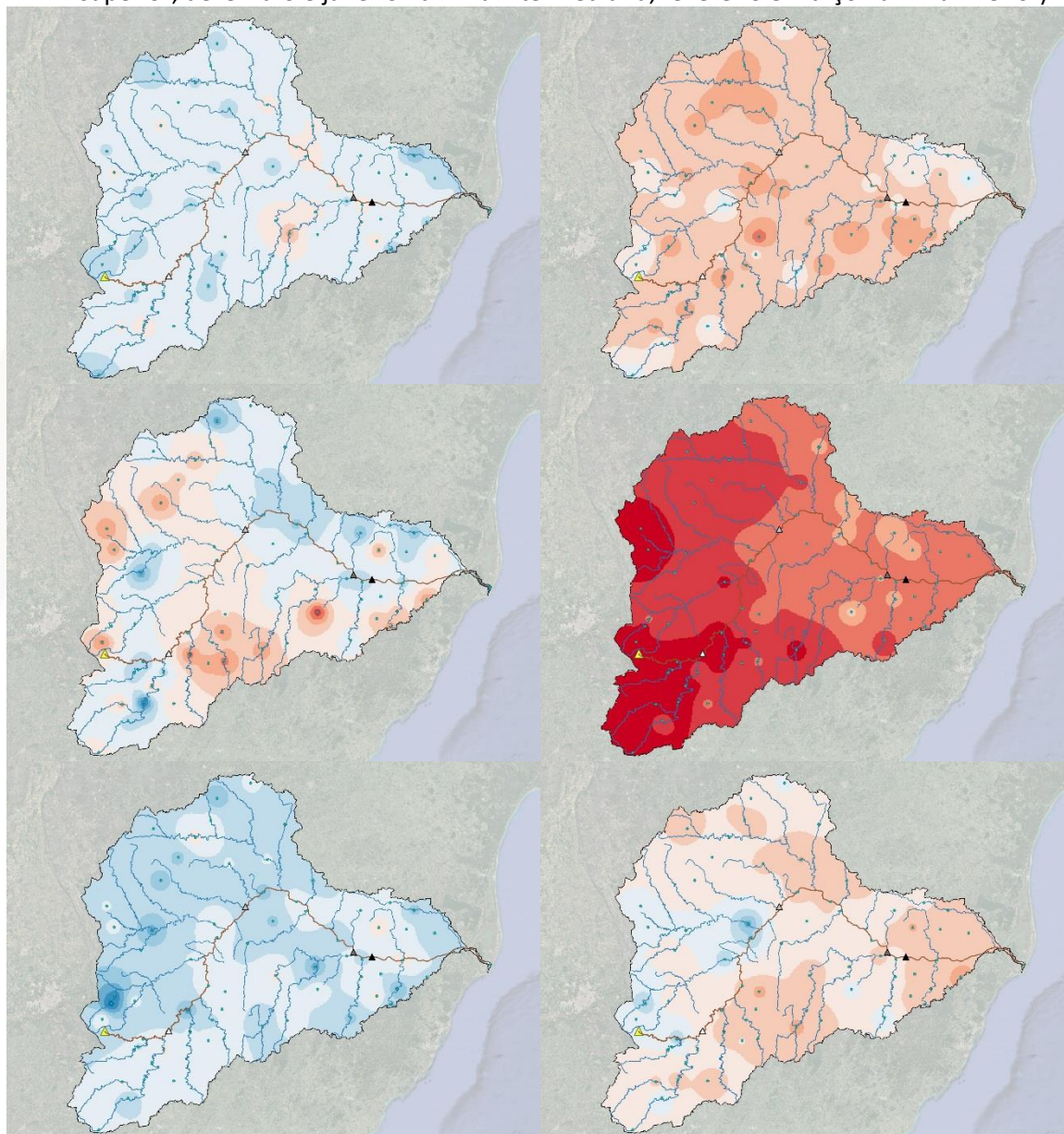
Figura 7 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2017-2018 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).



Fonte: Lactec (2020).

No ano hidrológico 2018-2019 (Figura 8), o destaque foi o mês de janeiro, bastante seco, enquanto os demais apresentaram média próxima à histórica.

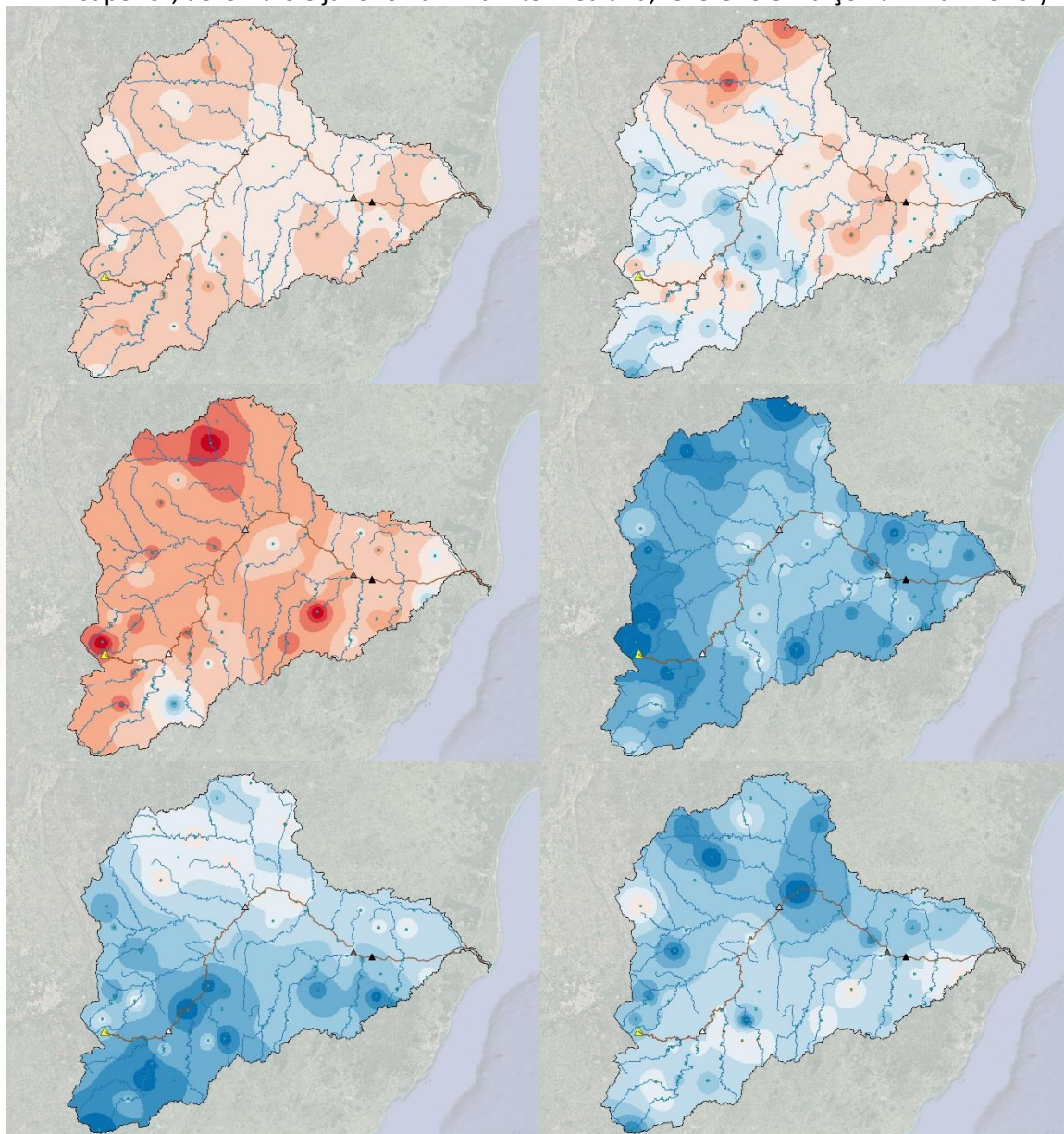
Figura 8 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2018-2019 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).



Fonte: Lactec (2020).

Já no período de 2019-2020, ocorreram três meses com chuvas acima da média (janeiro, fevereiro e março de 2020). A grande vazão de 2020, foi influenciada por uma maior quantidade de chuva na região próxima à barragem de Fundão (onde nascem os principais afluentes do rio Doce), além do fato dos meses anteriores não terem sido tão secos como em 2015-2016. Estes fatores contribuíram para que a vazão de janeiro de 2020 fosse mais alta do que em 2016.

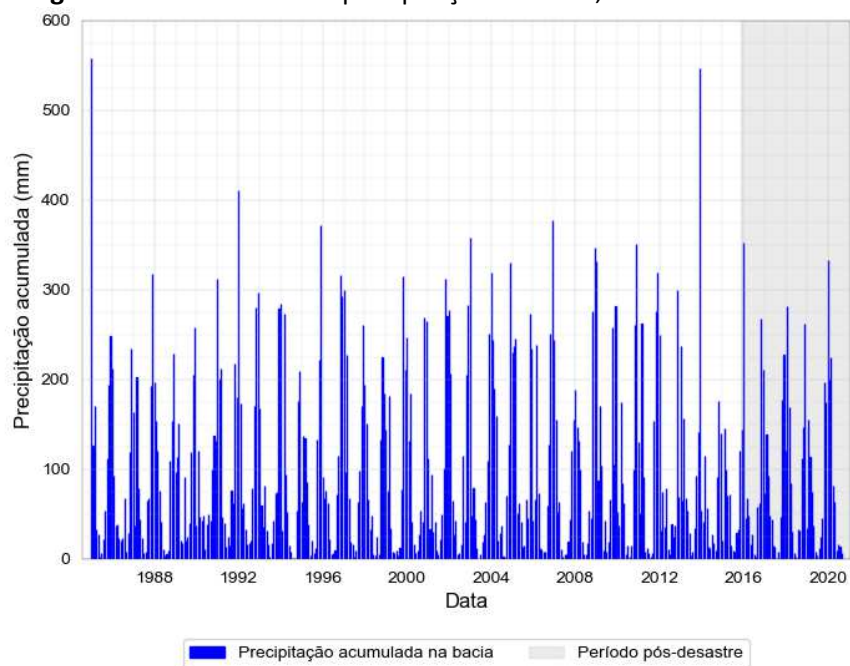
Figura 9 - Anomalia de precipitação da estação chuvosa 2019-2020 (outubro e novembro na linha superior; dezembro e janeiro na linha intermediária; fevereiro e março na linha inferior).



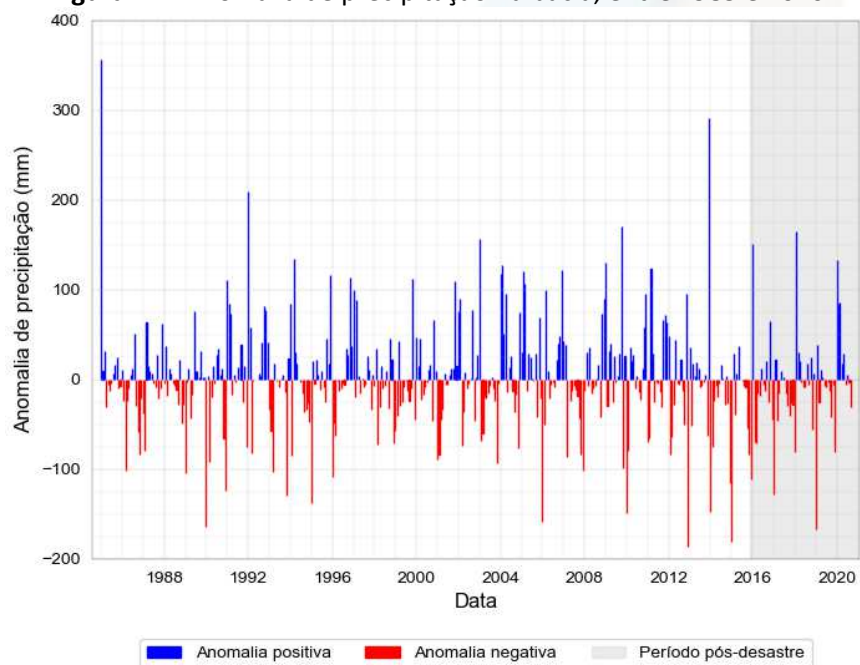
Fonte: Lactec (2020).

Numa perspectiva histórica em relação à precipitação, o período pós-desastre ficou marcado por chuvas abaixo da média, como é possível notar pela Figura 10, que mostra a precipitação acumulada mensal média na bacia e pela Figura 11 que apresenta as anomalias de precipitação (acumulado do mês menos a média histórica para aquele mês).

Na precipitação mensal, considerando toda a bacia, o evento de 2016 chegou a superar o de 2020. A própria anomalia de 2018 superou as demais. Entretanto, grandes chuvas localizadas podem produzir eventos de vazão consideráveis, principalmente se as condições anteriores das vazões forem favoráveis, como está apresentado no item de análise das vazões.

Figura 10 - Acumulado de precipitação na bacia, entre 1985 e 2020.

Fonte: Lactec (2020).

Figura 11 - Anomalia de precipitação na bacia, entre 1985 e 2020.

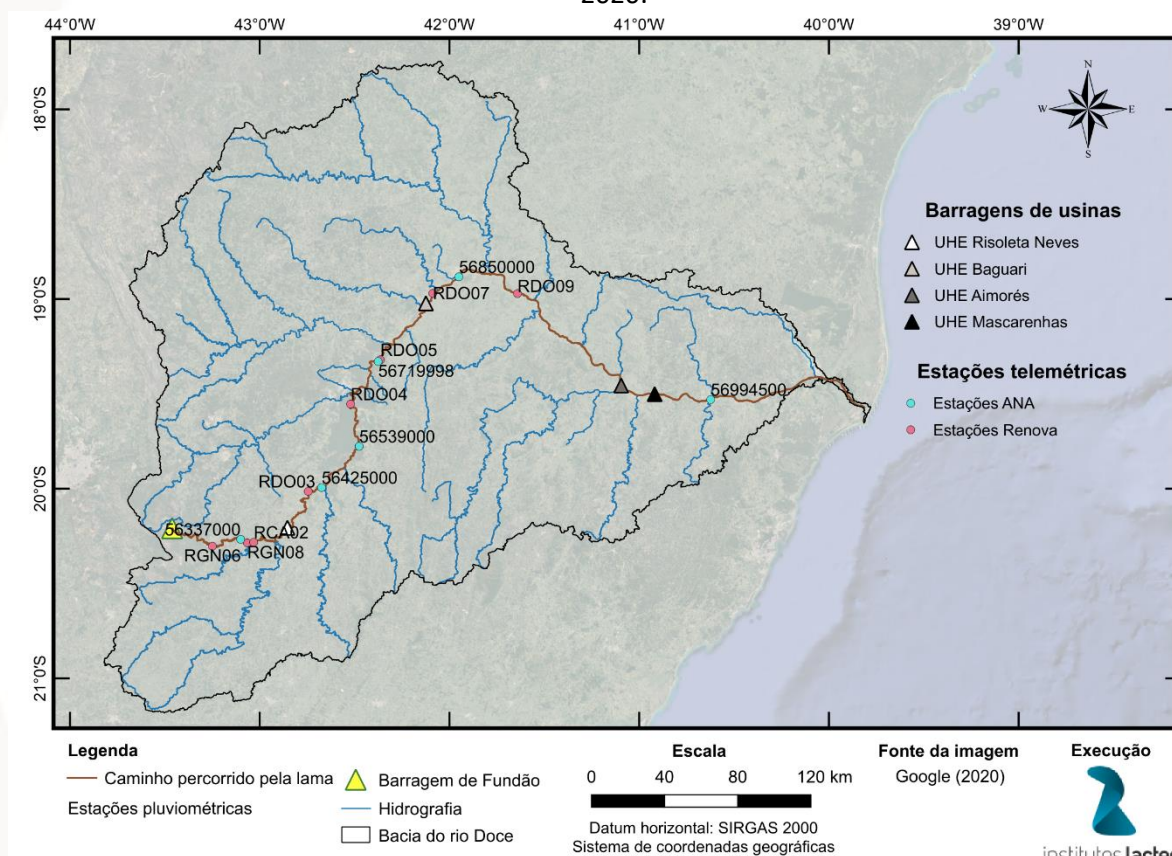
Fonte: Lactec (2020).

4.2 ANÁLISE DAS VAZÕES

Na análise do item 4.2, foi apresentado o comportamento da precipitação na bacia em relação à média histórica. Olhando para estações fluviométricas localizadas no rio Doce, é possível entender melhor como as vazões foram mais altas em alguns locais e porque em janeiro de 2016 e em fevereiro de 2018, as cheias não foram mais significativas. Na análise atual das vazões, a metodologia aplicada foi a mesma da análise climática do Tomo I (BRASIL MPF/LACTEC, 2020b).

Na Figura 12 está apresentada a localização de estações fluviométricas localizadas na calha do rio Doce já analisadas na linha-base e no Tomo I (chamadas aqui de estações ANA) e algumas estações da Renova, utilizadas aqui para complementar a análise da cheia de 2020 (BRASIL MPF/LACTEC, 2020b). Na Tabela 1 está mostrado um descritivo das estações apresentadas na Figura 12.

Figura 12 – Localização de estações fluviométricas utilizadas na análise comparativa da cheia de 2020.



Fonte: Lactec (2020).

Tabela 1 - Descritivo das estações.

Código	Nome	Rio	Área (km²)
RGN06	Gualaxo do Norte 06 - Mariana	Gualaxo do Norte	284
56337000	Fazenda Ocidente	Gualaxo do Norte	529
RGN08	Gualaxo do Norte 08 - Barra Longa	Gualaxo do Norte	569
RCA02	Carmo 02 - Barra Longa	do Carmo	2176
RDO03	Doce 03 - S. D. do Prata	Doce	10058
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	Doce	10100
56539000	Cachoeira dos Óculos	Doce	15900
RDO04	Doce 04 - Bom Jesus do Galho	Doce	17841
56719998	Belo Oriente	Doce	24200
RDO0	Doce 05 - Belo Oriente	Doce	24629
RDO07	Doce 07 - Periquito	Doce	39104
56850000	Governador Valadares	Doce	40500
RDO09	Doce 09 - Tumiritinga	Doce	56035
56994510	Colatina Corpo de Bombeiros	Doce	76400

Como as estações ANA possuem uma série mais longa de dados, foram utilizadas aqui como base para a extensão do estudo da análise climática apresentada no Tomo I (BRASIL MPF/LACTEC, 2020b).

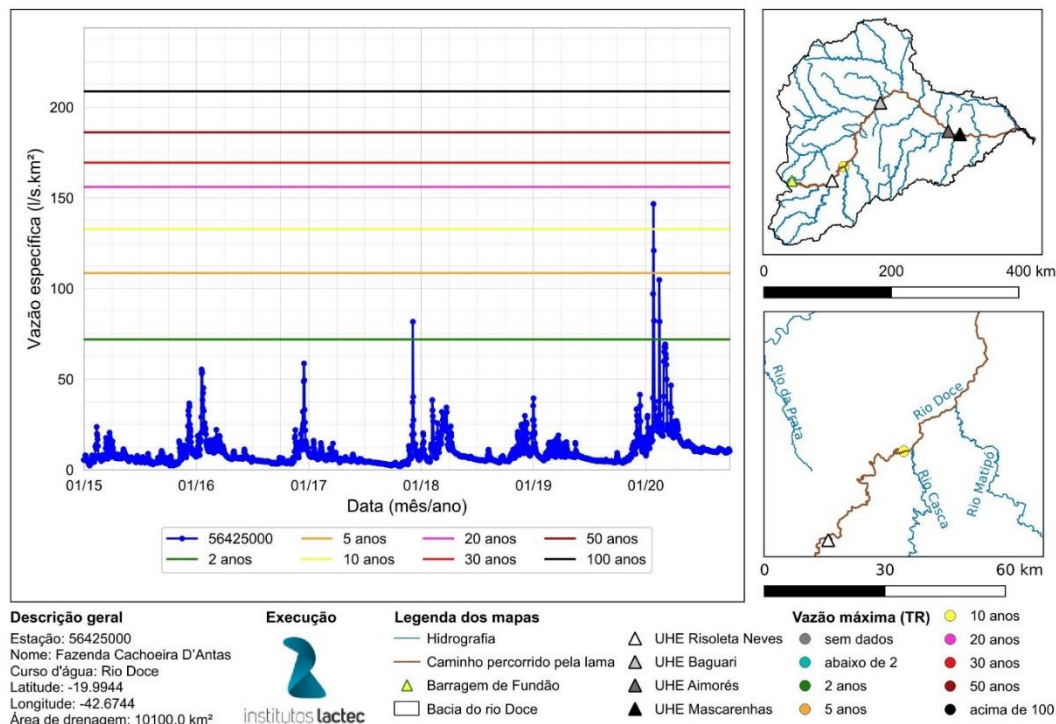
Nas Figura 13 e Figura 14 estão mostradas a série de vazões da estação 56425000 (Fazenda Cachoeira D'Antas) em comparação com as vazões máximas e mínimas daquele posto fluviométrico.

O maior episódio de vazão do pós-desastre foi o de janeiro de 2020, atingindo um valor próximo da máxima correspondente a um tempo de retorno de 20 anos (Figura 13). Até 2018, as vazões mínimas ultrapassaram o limiar da $Q_{7,10}$ em todos os anos, incluindo 2018. Apenas em 2018, a série se desloca para um limiar mais alto, produzindo uma condição mais propícia para eventos de cheia mais intensos, como foi o de janeiro de 2020. Comportamento semelhante foi observado na estação de Governador Valadares (56850000), mostrado na Figura 15. Na cheia de 2020, a máxima obtida foi próxima a uma vazão com tempo de retorno de 20 anos, como encontrado na Fazenda Cachoeira D'Antas.

Ao observar os dados de vazões mínimas (Figura 16), notou-se a ocorrência de resultados inferiores ao limiar da $Q_{7,10}$ em 2019, mas, em média acima daqueles encontrados nos anos anteriores.

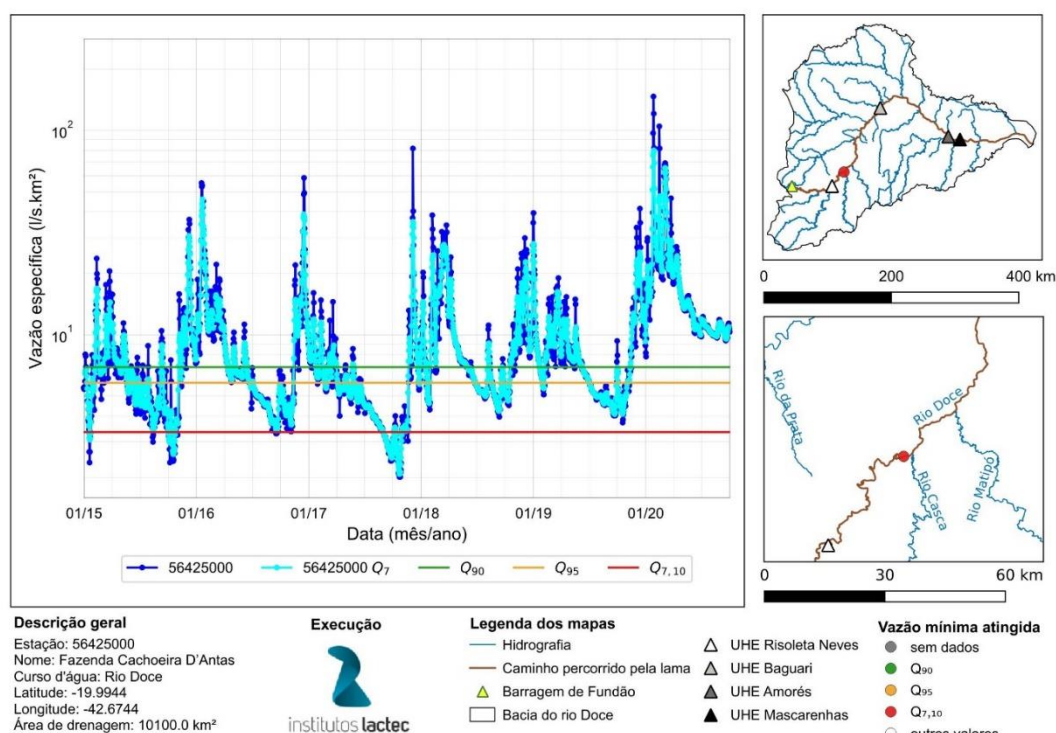
A região mais próxima da foz do rio Doce, é representada pela estação de Colatina (56994500), apresentada aqui na Figura 17 e na Figura 18. As vazões máximas foram relativamente menores, ficando abaixo do patamar de 10 anos. Na análise das vazões mínimas, observou-se um comportamento similar à de Governador Valadares, ainda cruzando o limiar da $Q_{7,10}$ em 2019.

Figura 13 - Vazões máximas e série de vazões médias diárias específicas da estação 56425000 no pós-desastre.



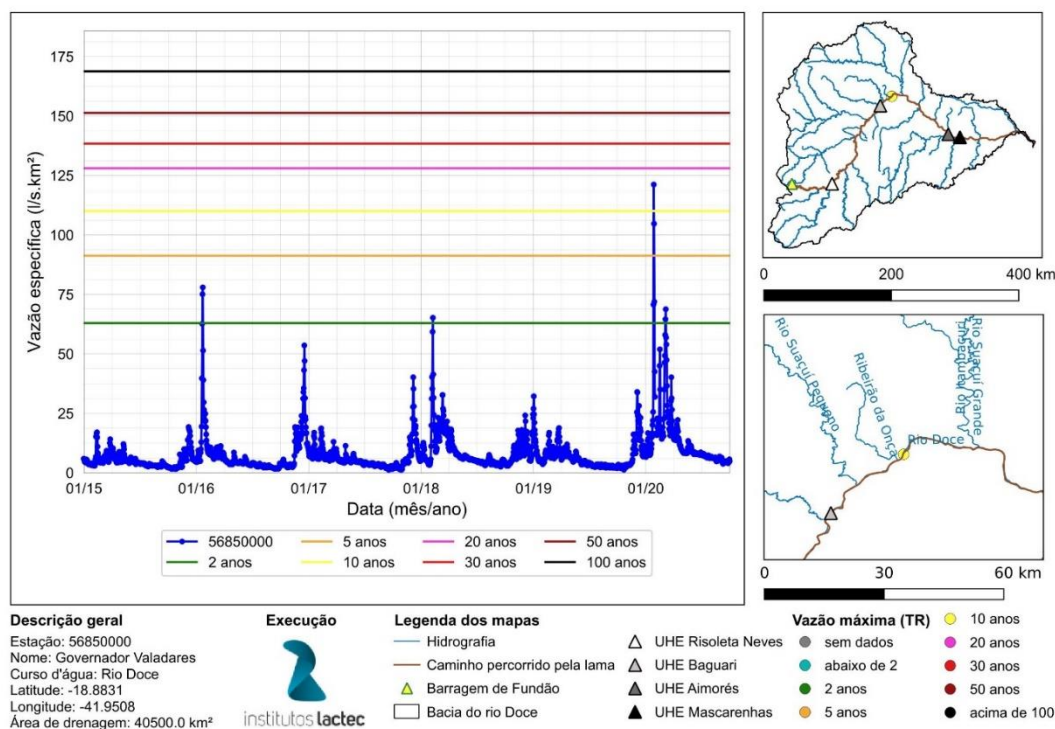
Fonte: Lactec (2020).

Figura 14 – Vazões mínimas e série de vazões médias diárias (e de 7 dias) específicas para a estação 56425000 no pós-desastre.



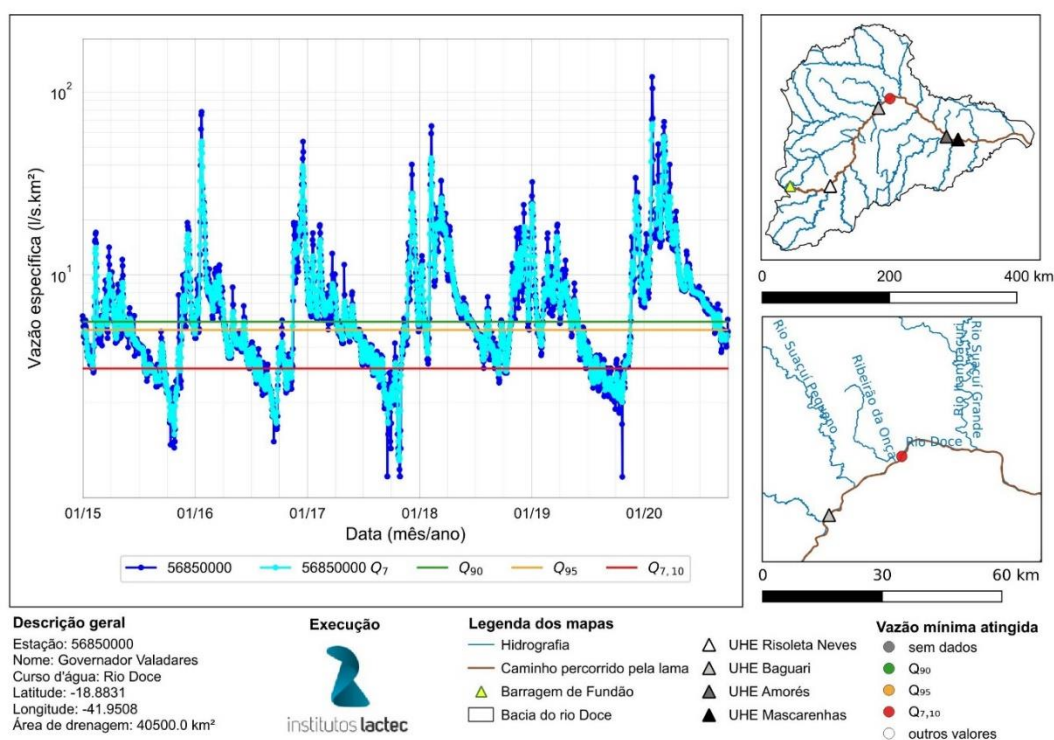
Fonte: Lactec (2020).

Figura 15 - Vazões máximas e série de vazões médias diárias específicas da estação 56850000 no pós-desastre.



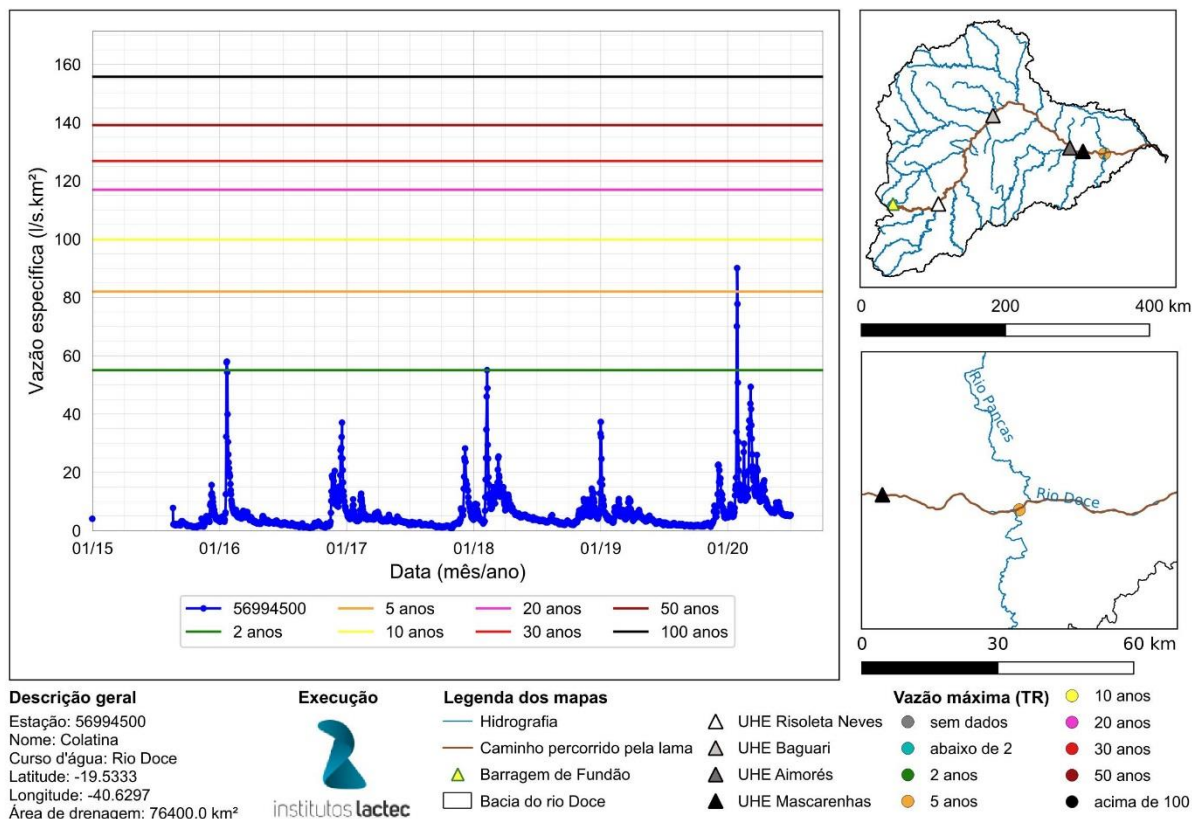
Fonte: Lactec (2020).

Figura 16 - Vazões mínimas e série de vazões médias diárias (e de 7 dias) específicas para a estação 56850000 no pós-desastre.



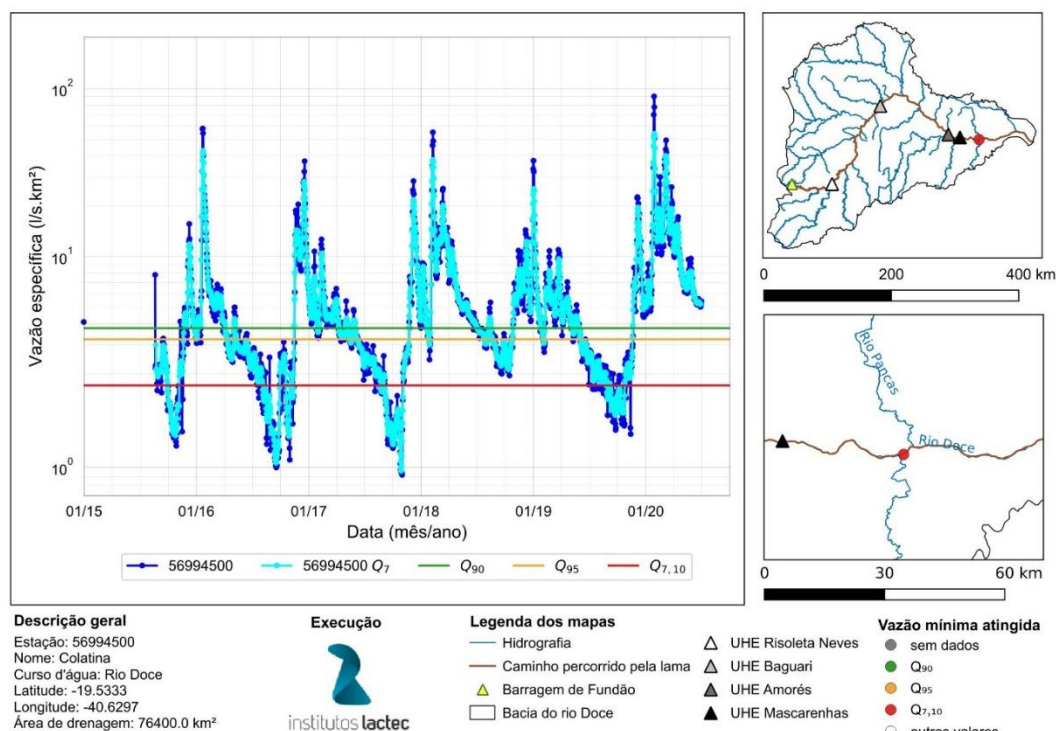
Fonte: Lactec (2020).

Figura 17 - Vazões máximas e série de vazões médias diárias específicas da estação 56994500 no pós-desastre.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 18 - Vazões mínimas e série de vazões médias diárias (e de 7 dias) específicas para a estação 56994500 no pós-desastre.



Fonte: Lactec (2020).

Notou-se, com isso, que, no pós-desastre, a cheia de 2020 foi o evento mais significativo até então.

Pela Figura 12, tem-se apenas uma estação ANA no Compartimento I (de Fundão até UHE Risoleta Neves), sendo que esta não possui dados no período da cheia de 2020. Assim, para analisar este evento neste Compartimento, focou-se nas estações da Renova.

Na Figura 19 e na Tabela 2 estão apresentadas a série temporal das vazões específicas das estações localizadas entre Fundão e Risoleta Neves, durante a cheia de 2020.

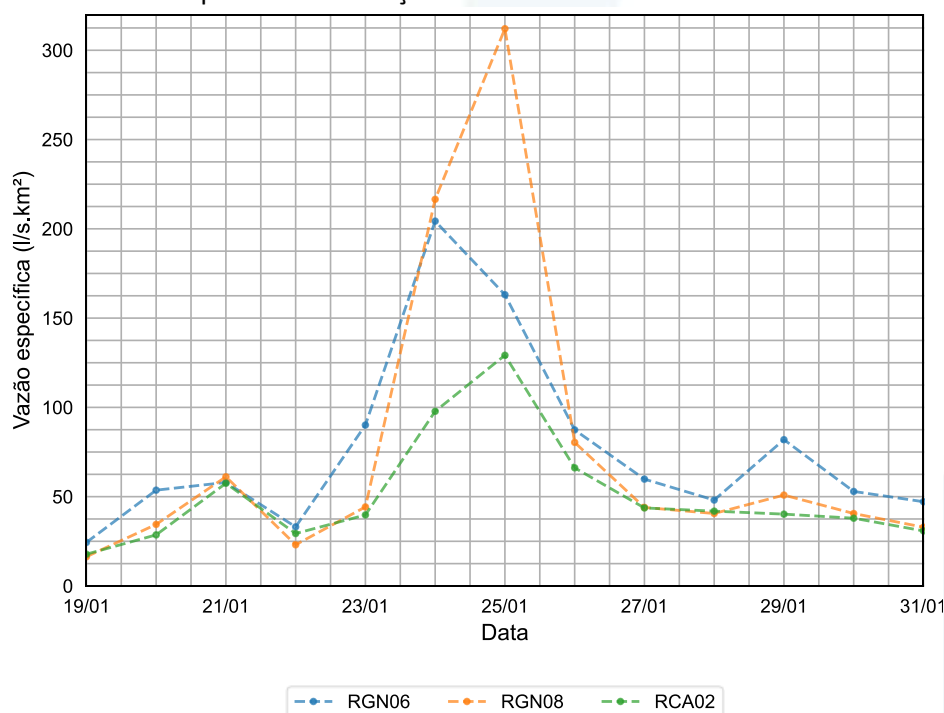
A maior vazão específica foi encontrada na estação RGN08. Nas estações com dados neste compartimento, não houve uma série longa o suficiente para uma análise de vazões máximas de modo que não foi realizada uma análise de tempo de recorrência (TR) diretamente naqueles conjuntos de dados.

Alternativamente, há uma estação da ANA muito próxima da RGN08 (56337000), cuja área é também muito parecida com a estação do Barra Longa. Apesar de possuir uma série longa, os registros de 2020 (se foram realizados) não estavam disponíveis até o momento do fechamento deste relatório.

Para a estação 56337000, a vazão específica para uma TR de 5 anos foi de 314 l/s.km², valor um pouco mais alto do que apresentado pela estação RGN08.

A análise do evento de cheia na região após o Compartimento I foi realizada com base nos resultados apresentados na Figura 20 e a Tabela 3.

Figura 19 - Vazões específicas de estações localizadas nos rios Gualaxo do Norte e do Carmo.

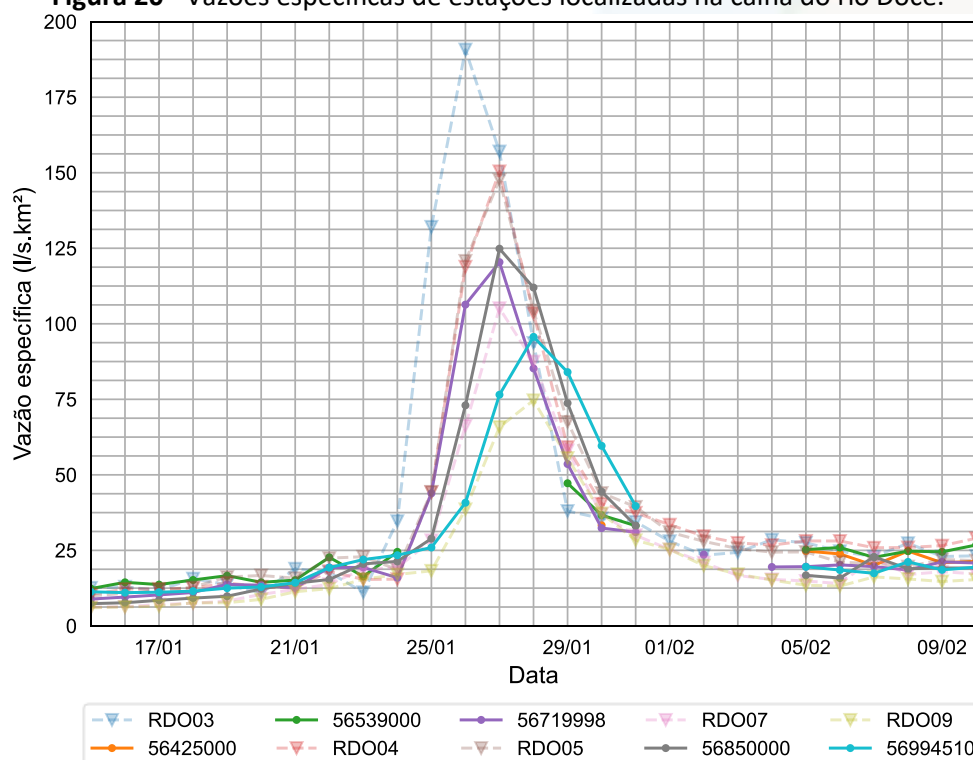


Fonte: Lactec (2020).

Tabela 2 - Vazões médias diárias específicas (l/s.km²) de estações localizadas na calha dos rios Gualaxo do Norte e do Carmo, ordenadas de montante para jusante - maiores valores em negrito.

Data	RGN06	RGN08	RCA02
19/01/2020	24,38	16,37	17,77
20/01/2020	53,64	34,45	28,59
21/01/2020	57,97	61,12	57,49
22/01/2020	33,09	23,05	29,34
23/01/2020	90,12	44,25	39,75
24/01/2020	204,31	216,53	97,80
25/01/2020	163,11	312,08	129,19
26/01/2020	87,38	80,38	66,14
27/01/2020	59,81	43,96	43,69
28/01/2020	48,09	40,57	41,88
29/01/2020	81,91	50,89	40,21
30/01/2020	52,92	40,56	37,92
31/01/2020	47,17	32,90	30,82

Figura 20 - Vazões específicas de estações localizadas na calha do rio Doce.



Fonte: Lactec (2020).

Tabela 3 - Vazões médias diárias específicas (l/s.km²) de estações localizadas na calha do rio Doce, ordenadas de montante para jusante - maiores valores em negrito.

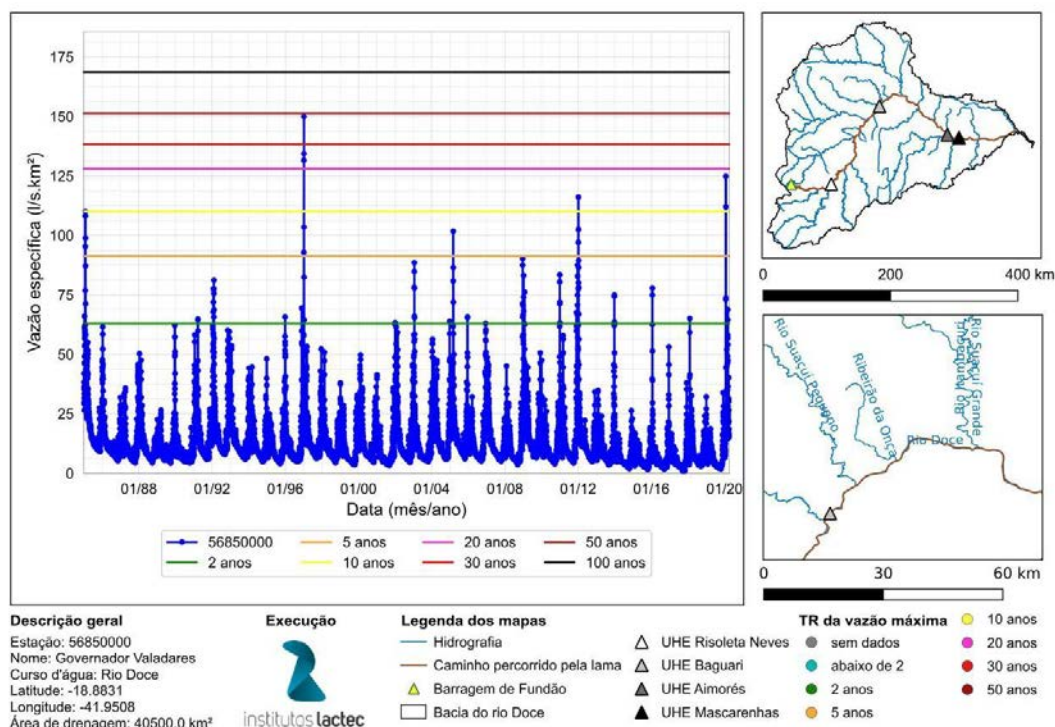
Data	DO03	56425000	56539000	DO04	56719998	DO05	DO07	56850000	DO09	56994510
23/01	1,11		16,39	5,38	19,35	22,90	18,79	20,52	15,42	21,95
24/01	4,65		24,52	15,46	15,95	18,64	19,27	21,35	17,02	23,41
25/01	32,09			44,22	43,88	44,37	28,32	28,89	18,23	25,94
26/01	90,76			118,87	106,36	120,81	66,23	73,00	38,58	40,77
27/01	57,02			150,44	120,40	147,65	105,15	124,86	65,80	76,52
28/01	3,65			103,42	85,23	104,38	87,49	111,99	74,68	95,67
29/01	38,02		47,21	59,16	53,59	67,52	58,06	73,75	55,56	84,00
30/01	5,55	33,31	36,66	40,40	2,38	44,00	6,95	4,42	7,22	9,60
31/01	4,43		33,15	37,43	31,04	39,40	30,00	33,21	28,34	39,67
01/02	28,03			33,50	0,00	31,04	25,29		25,28	
02/02	23,39			29,71	23,62	27,99	20,94		19,97	
03/02	24,33			27,47	0,00	25,58	16,67		17,12	
04/02	28,53			26,73	19,50	24,41	15,39		15,17	
05/02	27,49		25,27	28,13	19,61	24,47	14,87		13,46	19,56

Notou-se que o pico de vazão média diária se deu entre os dias 26 e 28 de janeiro de 2020. Para cálculo da vazão média diária foram considerados apenas os dias com pelo menos 80% de dados disponíveis. Assim, nas estações 56425000 e 56539000, os maiores valores indicados provavelmente não refletiram a máxima do período e devem ter ocorrido antes ou até o dia 27 de janeiro.

Entretanto, com base em estações próximas, podemos inferir que as séries da Renova indicam na região vazões de tempo de retorno de até 75 anos (caso da RDO04). RDO03 e RDO05 também atingiram TRs acima de Governador Valadares (50 e 40 anos, respectivamente). Já para RDO07 e RDO09 os tempos de retorno ficariam em 10 e 5 anos.

Na Figura 21 pode ser observada a mesma análise já apresentada para a estação de Governador Valadares, mas agora incluindo todo o período da linha-base (1985-2015). Notou-se que a vazão diária máxima obtida em na estação não foi só a maior do período pós-desastre, mas também a segunda maior desde 1985.

Figura 21 - Vazões médias diárias específicas e vazões máximas na estação Governador Valadares, com dados da linha-base e pós-desastre.



Fonte: Lactec (2020).

4.3 CONCLUSÕES ACERCA DA ANÁLISE CLIMÁTICA

A cheia de 2020 foi o maior evento de vazão na calha do rio Doce no período do pós-desastre.

Dentre as estações mais longas, com um mínimo de dados para uma estimativa razoável das vazões máximas para diferentes tempos de retorno, a estação de Governador Valadares apresentou o maior valor (TR de 20 anos, aproximadamente). Isto representou não só o pico da estação para o período pós-desastre, mas também o segundo maior valor desde o início da linha base levantada (1985).

O tempo de retorno das vazões foi bastante variado entre as estações analisadas (entre 5 e 75 anos). Esta variação é explicada pela heterogeneidade da distribuição da precipitação na bacia hidrográfica do rio Doce e também pelas condições prévias das vazões, uma vez que nas estações onde foi registrada uma vazão com maior tempo de retorno, o limiar da $Q_{7,10}$ já havia sido superado.

Outros eventos de elevada precipitação mensal foram registrados neste período, entretanto, condições de solo mais seco e as diferentes distribuições da precipitação na bacia, geraram um cenário menos favorável a uma cheia extrema.

O aumento recente das vazões, vencendo a barreira da $Q_{7,10}$, pode proporcionar nos próximos anos, condições mais favoráveis a uma cheia de magnitude ainda maior do que o observado em janeiro de 2020.

5 EFEITO DAS CHEIAS NO TRANSPORTE DE REJEITOS

No mês de janeiro de 2020, conforme apresentado no item 4, foi registrada a maior cheia na bacia no rio Doce desde o rompimento da barragem de Fundão, com vazões que apresentaram período de retorno entre 5 e 75 anos.

Em períodos de chuva mais intensos, estima-se um aumento de transporte de material dissolvido e suspenso, aumentando as cargas ao longo dos rios em virtude da lavagem e ressuspensão dos sedimentos nos reservatórios e na calha. Isso ocorre conjuntamente ao aporte de material depositado nas margens e nos solos do entorno, o que, no contexto do desastre, representou a disponibilização de volumes significativos de rejeito. Assim, neste item está apresentada a avaliação quali-quantitativa da água para o primeiro trimestre do ano de 2020; a modelagem da cheia; cotas de inundação e tempos de retorno, tal qual os efeitos no mar e nas lagoas.

5.1 ANÁLISE DAS CARGAS

Conforme já discutido no relatório Brasil (MPF)/LACTEC (2020c), a associação dos aspectos de quantidade (vazões) e qualidade da água, para uma mesma seção fluvial, é realizada utilizando-se o conceito de carga ($t \text{ dia}^{-1}$), reflexo da integração da resposta hidrológica com a condição de qualidade dada pela concentração do poluente (TUCCI, 1998; FORMIGONI et al., 2011). Cargas elevadas podem ocorrer devido a três fatores: 1) as vazões são elevadas e as concentrações estão dentro do limite estabelecido pela legislação; 2) as vazões são baixas, no entanto, as concentrações estão acima do limite estabelecido pela legislação e 3) tanto vazões quanto concentrações são elevadas (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2020c). De qualquer forma, cargas elevadas, e acima das cargas naturais, são associados ao desastre e descrevem a dimensão e a persistência do dano.

Neste item foram avaliadas as cargas de sólidos suspensos totais em janeiro, fevereiro e março de 2020, período no qual está inserida a cheia de 2020. O parâmetro de sólidos suspensos foi escolhido para a presente avaliação, devido a maior frequência do monitoramento e devido a representatividade do mesmo para descrever o transporte de rejeito. Estas cargas foram comparadas em relação ao máximo de linha-base. É importante destacar que as cargas de linha-base e pós-desastre até o ano de 2019 foram avaliadas nos relatórios Brasil (MPF)/LACTEC (2020c) e no relatório suplementar de cargas, apresentado no TOMO II do presente relatório.

Para a presente avaliação foram considerados os dados de qualidade da água com foco nos sólidos suspensos totais disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (monitorados mensalmente em 2020) e dados de quantidade de água (vazões) obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb), da Agência Nacional de Águas (ANA). As análises para os demais

parâmetros de qualidade de água não são mostradas aqui em detalhe, já que mostram o mesmo efeito. Para a avaliação quali-quantitativa do período chuvoso de 2020 foram analisados os dados das seguintes estações de monitoramento de qualidade da água localizadas no rio Doce, no compartimento 2: RD019 (municípios de Rio Casca/MG e São Domingos do Prata/MG), RD023 (municípios Marliéria/MG e Pingo d'Água/MG), RD033 (municípios de Belo Oriente/MG e Bugre/MG), RD044 (município de Governador Valadares/MG) e RD053 (municípios de Galileia/MG e Tumiritinga/MG), cuja localização é apresentada na Figura 22. Na presente avaliação não foram considerados dados da estação RD071, no rio do Carmo, pois os dados de vazão não se mostraram disponíveis até a data de elaboração deste documento. Na estação RD053, os dados de vazões estavam disponíveis até o dia 31/01/2020. Portanto, foi realizada uma complementação da série de vazões com resultados de modelagem hidrodinâmica do período da cheia de 2020, conforme apresentados no item 5.2. A complementação dos dados foi realizada no período de 01/02/2020 à 10/02/2020.

Para mais detalhes dos dados utilizados nesta avaliação, devem ser consultados os documentos Brasil (MPF)/LACTEC (2020c) e o Relatório Suplementar Avaliação quali-quantitativa de estações de monitoramento do rio Doce: resultados para o ano de 2019 e do cálculo de cargas cumulativas excedentes, apresentado no TOMO II do presente relatório. A seguir são apresentados os resultados para as cargas no período de janeiro a março de 2020.

Na Figura 23 está apresentada a série de vazões e concentração de sólidos suspensos totais na estação RD019 no ano de 2020. De acordo com a referida figura, o monitoramento de qualidade da água em janeiro/2020 neste local (no dia 16/01/2020) ocorreu anteriormente ao pico da cheia (26/01/2020 na estação RD019). Este mesmo comportamento foi observado para as estações RD023 (20/01/2020), RD033 (23/01/2020) e RD044 (23/01/2020). O monitoramento de qualidade da água na estação RD053 ocorreu no dia 28/01/2020 e, portanto, ocorreu junto ao pico da cheia. As séries históricas de vazões e concentração de sólidos suspensos totais nas estações RD023, RD033, RD044 e RD053 são apresentadas no APÊNDICE A

A partir dos dados de quantidade e qualidade da água, foram calculadas as cargas para os primeiros meses do ano de 2020 (janeiro, fevereiro e março). Estes resultados foram comparados com os valores máximos de linha-base de cargas de sólidos suspensos totais. Para mais detalhes sobre as cargas máximas de linha-base e avaliação das cargas no pós-desastre, podem ser consultados os relatórios Brasil (MPF)/LACTEC (2020c) e o Relatório Suplementar de Cargas, apresentado no TOMO II do presente documento.