

Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce

# Aditivo da Pesca

QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (METAIS E SEMIMETAIS) EM PESCADO PROVENIENTE DA ÁREA DE PROIBIÇÃO DA PESCA - REGIÃO ENTRE A BARRA DO RIACHO, EM ARACRUZ, E DEGredo/IPIRANGUINHA, EM LINHARES, LITORAL DO ESPÍRITO SANTO



<b>Documento:</b>	Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente	
<b>Considerações Gerais:</b>	Este documento refere-se ao relatório final, o qual contempla as duas campanhas previstas no quinto termo aditivo (Proposta Técnica nº 4425-2018) para a qualificação e quantificação de elementos potencialmente tóxicos (metais e semimetais) em pescado proveniente da área de proibição da pesca - região entre a Barra do Riacho, em Aracruz, e Degredo/Ipiranguinha, em Linhares, litoral do Espírito Santo.	
<b>Contrato:</b>	<b>4500173758 – Samarco/Lactec</b>	
<b>Solicitante:</b>	<b>Empresa:</b>	Ministério Público Federal
		Procuradoria da República do Município de Linhares
	<b>Endereço:</b>	Rua Governador Florentino Avidos, nº 80
	<b>Bairro:</b>	Nossa Senhora da Conceição
	<b>Cidade:</b>	Linhares/ES
	<b>CEP:</b>	29900-490
	<b>A/C:</b>	Dr. Paulo Henrique C. Trazzi
	<b>E-mail:</b>	paulotrazzi@mpf.mp.br
<b>Executante:</b>	Institutos Lactec Rodovia BR-116, km 98, nº 8813   Jardim das Américas Caixa Postal 19067   CEP 81531-980   Curitiba – PR – BR e-mail: leonardo.bastos@lactec.org.br Meio Ambiente T + 55 (41) 3361-6882	

<b>Autoria:</b>  Equipe Técnica dos Institutos Lactec	<b>Emitido por:</b>
	<hr/> Leonardo Pussieldi Bastos, M. Sc. Biólogo / CRBio 28808-07D Meio Ambiente
	<b>Aprovado por:</b>
	<hr/> Tânia Lucia Graf de Miranda, D. Sc. Engenheira Agrônoma / Crea RS 069105/D Gerente de Serviços Tecnológicos e Inovação
	<hr/> Luiz Alkimin de Lacerda, D. Sc. Engenheiro Civil / Crea PR 155674/D Gerente de Pesquisa e Inovação

### EQUIPE TÉCNICA

NOME	FORMAÇÃO	TEMA
Ernesto Goldfarb Figueira	M.Sc., Geólogo	Amostragens em campo
Leonardo Pussieldi Bastos	M.Sc., Biólogo	Amostragens em campo
Luciana Rodrigues de Souza Bastos	Dr., Bióloga	Amostragens em campo/relatório
Patricia Dammski Borges de Andrade	M.Sc., Bióloga	Amostragens em campo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos pontos de amostragem para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) em pescados (moluscos, crustáceos e peixes) capturados dentro e fora da área de proibição da pesca.....	24
Figura 2. Precipitação média (barras verdes) e mensal (círculos) na cidade de Linhares-ES nos anos de 2018 (círculos verdes) e 2019 (círculos amarelos).....	35
Figura 3. Cota do rio Doce (cm) em dois pontos de monitoramento: Governador Valadares (linha azul) e Linhares (linha verde).....	35
Figura 4. Prancha de imagens das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturadas para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha. ....	38
Figura 5. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em moluscos (lulas) pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a primeira campanha.....	55
Figura 6. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em crustáceos (camarões) pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a primeira campanha.....	66
Figura 7. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em peixes pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a primeira campanha ....	86
Figura 8. Prancha de imagens das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturadas para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha.....	106
Figura 9. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em moluscos pelos laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 no ponto amostral 1 (PT 1).....	122
Figura 10. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em crustáceos pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a segunda coleta	139
Figura 11. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em <i>Callinectes sapidus</i> (siri azul) pelos laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 nos pontos amostrais 1 (foz do rio Piraquê-Açu; barras pretas) e 5 (foz do rio Doce; barras cinzas).....	154
Figura 12. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em <i>Ucides cordatus</i> (caranguejo uça) pelos laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 nos pontos amostrais 1 (foz do rio Piraquê-Açu; barras pretas) e 8 (Guriri; barras cinzas).....	154
Figura 13. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em	

*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas) pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha..... 155

Figura 14. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em peixes pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a segunda campanha... 171

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição e coordenadas (UTM) dos pontos de amostragem para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) em pescados (moluscos, crustáceos e peixes) capturados dentro e fora da área de proibição da pesca .....	25
Tabela 2. Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos em peixes e produtos de peixes. Dados baseados no limite ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) estabelecido pela Portaria da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) nº 685/1998.....	32
Tabela 3. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em pescado. Dados baseados no limite estabelecido para alimentos ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) pela Resolução da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) RDC nº 42/2013, MERCOSUL.....	32
Tabela 4. Limites máximos de ingestão diária estabelecidos pela Instrução Normativa da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) IN nº 28/2018 <sup>b</sup> .....	32
Tabela 5. Valores de referência de ingestão diária estabelecidos a partir das concentrações da <i>Codex Alimentarius Commission</i> .....	33
Tabela 6. Valores de referência de ingestão diária estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA).....	33
Tabela 7. Lista das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturados para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha.....	37
Tabela 8. Média da concentração total dos EPTs, determinados pelo laboratório 1, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha .....	41
Tabela 9. Média da concentração total dos EPTs, determinados pelo laboratório 2, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha .....	42
Tabela 10. Média da concentração total dos EPTs, determinados pelo laboratório 3, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha .....	43
Tabela 11. Limites de quantificação para os elementos potencialmente tóxicos (EPTs) avaliados em cada um dos laboratórios acreditados e responsáveis pela realização dos ensaios .....	44
Tabela 12. Média da concentração total dos EPTs, determinada pelo laboratório 1, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a primeira campanha .....	45

Tabela 13. Média da concentração total dos EPTs, determinada pelo laboratório 2, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a primeira campanha .....	45
Tabela 14. Média da concentração total dos EPTs, determinada pelo laboratório 3, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a primeira campanha .....	46
Tabela 15. Média da concentração total de arsênio ([As] em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais e porcentagem de violação (%) em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada ou todos os laboratórios.....	48
Tabela 16. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio (As <sup>3+</sup> e As <sup>5+</sup> ) em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) e concentração total de As inorgânico (As <sup>3+</sup> + As <sup>5+</sup> em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais.....	49
Tabela 17. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico em pescados capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido por regulamentações internacionais, considerando porções 60 e 309 g.....	51
Tabela 18. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais.....	51
Tabela 19. Porcentagem de ingestão diária de metilmercúrio (MeHg) em pescados capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido pelas regulamentações internacionais, considerando-se porções 60 e 309 g .....	53
Tabela 20. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em moluscos em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral, de acordo com cada um dos laboratórios .....	56
Tabela 21. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1.....	57
Tabela 22. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2.....	57
Tabela 23. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados	

em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	58
Tabela 24. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1 .....	60
Tabela 25. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 .....	60
Tabela 26. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	61
Tabela 27. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$ e $As^{5+}$ ) e da forma orgânica de mercúrio (MeHg), em $mg.kg^{-1}$ de peso úmido, determinadas em moluscos (lulas) capturados em cada um dos pontos amostrais .....	63
Tabela 28. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico ( $As^{3+}$ + $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) presentes em moluscos capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g .....	64
Tabela 29. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em crustáceos (camarões) em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998;2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios.....	67
Tabela 30. Média das concentrações de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ ) determinadas em tecido muscular de crustáceos (camarões), capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 e 5 meses após o desastre .....	69
Tabela 31. Média das concentrações de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ ) determinadas em tecido muscular de crustáceos (camarões), capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 anos e 4 anos após o desastre .....	70
Tabela 32. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados	

de acordo com o Laboratório 1.....	72
Tabela 33. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2.....	72
Tabela 34. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3.....	73
Tabela 35. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1.....	75
Tabela 36. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2.....	75
Tabela 37. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3.....	76
Tabela 38. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$ e $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+}$ + $As^{5+}$ ) e da forma orgânica de mercúrio (MeHg), em $mg.kg^{-1}$ de peso úmido, determinadas em crustáceos (camarões) capturados em cada um dos pontos amostrais.....	77
Tabela 39. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico ( $As^{3+}$ + $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) presentes em crustáceos (camarões) capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando-se porções de 60 e 309 g.....	78
Tabela 40. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, para as diferentes espécies de camarões capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha.....	79
Tabela 41. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, para as diferentes espécies de camarões capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca,	

durante a primeira campanha.....	80
Tabela 42. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, para as diferentes espécies de camarões capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha.....	81
Tabela 43. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido), em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais .....	84
Tabela 44. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em peixes em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios .....	87
Tabela 45. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio (As <sup>3+</sup> e As <sup>5+</sup> em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) e concentração total de As inorgânico (As <sup>3+</sup> + As <sup>5+</sup> em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinadas em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais .....	87
Tabela 46. Média das concentrações de EPTs (mg.kg <sup>-1</sup> ) determinadas em tecido muscular de peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pré-desastre (linha base).....	90
Tabela 47. Média das concentrações de EPTs (mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) determinadas em tecido muscular de peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 anos e 4 anos após o desastre .....	91
Tabela 48. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1 .....	93
Tabela 49. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 .....	93
Tabela 50. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	94
Tabela 51. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de	

acordo com o Laboratório 1 .....	96
Tabela 52. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 .....	96
Tabela 53. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	97
Tabela 54. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) presentes em peixes capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g .....	99
Tabela 55. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a primeira campanha.....	101
Tabela 56. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a primeira campanha.....	102
Tabela 57. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a primeira campanha.....	103
Tabela 58. Lista das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturados para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha .....	105
Tabela 59. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha.....	109
Tabela 60. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha.....	110
Tabela 61. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha.....	111
Tabela 62. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda	

campanha.....	113
Tabela 63. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha.....	113
Tabela 64. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha.....	114
Tabela 65. Média da concentração de arsênio ([As] em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais e porcentagem de violação (%) em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada ou todos os laboratórios.....	116
Tabela 66. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio (As <sup>3+</sup> e As <sup>5+</sup> em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) e concentração total de As inorgânico (As <sup>3+</sup> + As <sup>5+</sup> em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais.....	117
Tabela 67. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido pelas regulamentações internacionais, considerando porções 60 e 309 g.....	118
Tabela 68. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido), em cada um dos pontos amostrais .....	119
Tabela 69. Porcentagem de ingestão diária de metilmercúrio (MeHg) em pescados capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido pelas regulamentações internacionais, considerando porções 60 e 309 g.....	120
Tabela 70. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em moluscos em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) no ponto amostral 1 (PT 1) de acordo com cada um dos laboratórios .....	122
Tabela 71. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 .....	124
Tabela 72. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratórios (Lab) 1, 2 e 3.....	124
Tabela 73. Média da concentração total de arsênio (As <sup>3+</sup> e As <sup>5+</sup> ) e da forma orgânica de mercúrio (MeHg), em mg.kg <sup>-1</sup> de peso úmido, determinadas em moluscos capturados no PT 1 e suas respectivas	

porcentagens de ingestão diária, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g.....	125
Tabela 74. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, nas três espécies de moluscos capturadas no ponto amostral 1 (foz do Piraquê-Açu), durante a segunda campanha .....	127
Tabela 75. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, nas três espécies de moluscos capturadas no ponto amostral 1 (foz do Piraquê-Açu), durante a segunda campanha .....	127
Tabela 76. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, nas três espécies de moluscos capturadas no ponto amostral 1 (foz do Piraquê-Açu), durante a segunda campanha .....	127
Tabela 77. Porcentagem de violação em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada espécie de molusco capturado no ponto 1, de acordo com os laboratórios (Lab) 1, 2 e 3.....	128
Tabela 78. Média das concentrações de EPTs ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) determinadas em moluscos bivalves capturados em Santa Cruz/Aracruz: Comparação entre o estudo atual e estudos pré-desastre (linha base).....	130
Tabela 79. Média das concentrações de EPTs ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) determinadas em moluscos bivalves capturados em Santa Cruz/Aracruz: Comparação entre o estudo atual e o estudo realizado logo após o desastre .....	131
Tabela 80. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratório 1 .....	133
Tabela 81. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratório 2 .....	133
Tabela 82. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratório 3 .....	133
Tabela 83. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratório 1 .....	135
Tabela 84. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos,	

capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratório 2 .....	135
Tabela 85. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratório 3 .....	135
Tabela 86. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$ e $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+}$ + $As^{5+}$ ), em $mg.kg^{-1}$ de peso úmido, determinadas nas diferentes espécies de moluscos capturadas no PT 1 e porcentagem de ingestão diária do As inorgânico, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g.....	136
Tabela 87. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em crustáceos em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios .....	139
Tabela 88. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1 .....	141
Tabela 89. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 .....	141
Tabela 90. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	142
Tabela 91. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1 .....	144
Tabela 92. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g -	

Resultados de acordo com o Laboratório 2 .....	144
Tabela 93. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	145
Tabela 94. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$ e $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+}$ + $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg), em $mg.kg^{-1}$ de peso úmido, determinadas em crustáceos capturadas nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha .....	146
Tabela 95. Porcentagens de ingestão diária para As inorgânico ( $As^{3+}$ + $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) em crustáceos, em relação aos limites máximos estabelecidos em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g .....	147
Tabela 96. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, nas espécies de crustáceos capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha .....	149
Tabela 97. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, nas espécies de crustáceos capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha .....	150
Tabela 98. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, nas espécies de crustáceos capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha .....	151
Tabela 99. Porcentagem de violação de As em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada espécie de crustáceo capturados nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, de acordo com os laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 .....	153
Tabela 100. Média das concentrações de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ ) determinadas em tecido muscular de <i>Ucides cordatus</i> capturados no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu): Comparação entre o estudo atual e estudo pretérito (pós-desastre) realizado entre 2 anos e 3 anos após o desastre.....	156
Tabela 101. Média das concentrações de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ ) determinadas em tecido muscular de camarões da espécie <i>Xiphopenaeus kroyeri</i> (camarão 7 barbas), capturados nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudo pretérito (pós desastre) realizado entre 2 e 5 meses após o desastre .....	158
Tabela 102. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de <i>Callinectes sapidus</i>	

(siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1 ..... 161

Tabela 103. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 ..... 161

Tabela 104. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 ..... 162

Tabela 105. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1 ..... 164

Tabela 106. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 ..... 164

Tabela 107. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 ..... 165

Tabela 108. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+}$  +  $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg), em  $mg \cdot kg^{-1}$  de peso úmido, determinadas nas diferentes espécies de crustáceos capturadas nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha ..... 166

Tabela 109. Porcentagens de ingestão diária para As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) nas diferentes espécies de crustáceos, em relação aos limites máximos estabelecidos em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g.....	168
Tabela 110. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; $mg.kg^{-1}$ de peso úmido), em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais .....	169
Tabela 111. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em peixes em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios .....	172
Tabela 112. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$ e $As^{5+}$ em $mg.kg^{-1}$ de peso úmido) e concentração total de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ em $mg.kg^{-1}$ de peso úmido) determinadas em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais .....	172
Tabela 113. Média das concentrações de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ em peso úmido) determinadas em tecido muscular de peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual (segunda campanha) com estudos pré-desastre (linha base) .....	174
Tabela 114. Média das concentrações de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ de peso úmido) determinadas em tecido muscular peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 anos e 4 anos após o desastre .....	175
Tabela 115. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1.....	177
Tabela 116. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2.....	177
Tabela 117. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3.....	178
Tabela 118. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1.....	180

Tabela 119. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2 .....	180
Tabela 120. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3 .....	181
Tabela 121. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) presentes em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g .....	183
Tabela 122. Média da concentração de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ de peso úmido), determinados pelo laboratório 1, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a segunda campanha .....	184
Tabela 123. Média da concentração de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ de peso úmido), determinados pelo laboratório 2, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a segunda campanha .....	185
Tabela 124. Média da concentração de EPTs ( $mg.kg^{-1}$ de peso úmido), determinados pelo laboratório 3, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a segunda campanha .....	186

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>23</b>
	2.1 Amostragem.....	23
	2.2 Obtenção, processamento e acondicionamento das amostras .....	27
	2.3 Análises das amostras .....	27
	2.4 Análises dos resultados.....	29
<b>3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>34</b>
	3.1 Campanha 1 – estação chuvosa .....	34
	3.2 Campanha 2 – estação seca .....	104
<b>4</b>	<b>Considerações Finais</b> .....	<b>187</b>
<b>5</b>	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>189</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>201</b>
	ANEXO A - Tabela de descrição das 118 espécies utilizadas como recurso pesqueiro na região estuarina do rio Doce e área marinha adjacente.....	201
	ANEXO B - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 1 (Tommasi Ambiental) .....	204
	ANEXO C - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus).....	205
	ANEXO D - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 3 (Bioagri - Merieux).....	206
	ANEXO E - Laudos das análises de determinação da concentração de arsênio inorgânico (As <sup>3+</sup> e As <sup>5+</sup> ) e metilmercúrio (MeHg) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus).....	207
	ANEXO F - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos	

potencialmente tóxicos (EPTs) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 1 (Tommasi Ambiental).....	208
ANEXO G - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus).....	209
ANEXO H - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 3 (Bioagri - Merieux).....	210
ANEXO I - Laudos das análises de determinação da concentração de arsênio inorgânico ( $As^{3+}$ e $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus).....	211

## 1 INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Fundão, pertencente ao complexo de Germano, da empresa Samarco Minerações S.A., ocorreu às 15:30h do dia 05 de novembro de 2015. Essa barragem era situada em uma região de cabeceira da bacia hidrográfica do rio Doce, na cidade de Mariana, estado de Minas Gerais. Com o rompimento, ocorreu a liberação de um volume estimado de 43,8 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração (minério de ferro), além de água e materiais utilizados em sua construção (revisado em BRASIL (MPF)/LACTEC, 2018).

No dia 21 de novembro de 2015, a lama de rejeitos chegou à foz do rio Doce. Estudos indicam que a pluma de lama atingiu uma área de 392 km<sup>2</sup>, se considerada regiões com maior concentração de rejeito, e, 6.197 km<sup>2</sup> se considerada a pluma de rejeitos com menor concentração de sedimento (FAURG, 2016; ICMBio 2016). Carmo et al. (2017) sugerem que, um ano após o desastre, a pluma tenha se espalhado por mais de 770 km<sup>2</sup> da região marinha, com cerca de 170 km de praias atingidas, tanto ao norte quanto ao sul da foz do rio Doce. De acordo com dados compilados e apresentados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2017) a pluma atingiu toda a costa dos estados do Espírito Santo, além do extremo sul da Bahia e extremo norte do Rio Janeiro, em proporções, concentrações e momentos distintos (ICMBio, 2017).

As modelagens realizadas pelo LACTEC indicam que a pluma atingiu uma extensão de aproximadamente 515,53 km de costa, em intensidade de sólidos suspensos que variam de 1 a acima de 504 mg/L. No entanto, devido as características particulares do material quanto a granulometria e a quantidade ainda disponível ao longo de toda a calha do rio Doce, será, por muito tempo, remobilizado e disponibilizado para o ambiente por influência da sazonalidade, em especial quanto ao regime de chuvas na região (IBAMA, 2015; FERNANDES et al., 2016; UERJ, 2016; HATJE et al., 2017; UFES, 2017). O material pode ser transportado por longas distâncias (UFES, 2017), uma vez que no ambiente marinho, a pluma de rejeitos sofrerá, ainda, a influência de vários fatores sobre sua dispersão como, por exemplo, ventos superficiais, correntes, ondas, vazão e, especialmente, turbidez do rio Doce (IBAMA, 2016; UERJ, 2016; ICMBio, 2017; UFES, 2017).

A descarga de resíduos de processos minerários é uma ameaça grave para a qualidade da água, sedimentos, para a vida de organismos aquáticos e pessoas que vivem a jusante de barragens, devido a presença de elementos potencialmente tóxicos (EPTs), tais como metais e semimetais, em sua composição (HORA et al., 2012; POEMAS, 2015; FERNANDES et al., 2016; LOTTERMOSER, 2010 *apud* GUERRA et al., 2017; HATJE et al., 2017). Esses elementos não se degradam facilmente e permanecem por longo período de tempo no ambiente, onde passam por diferentes transformações químicas, especialmente complexação com outros elementos e substâncias presentes na coluna d'água. Assim,

materiais particulados em suspensão são importantes meios de transporte de EPTs no ambiente aquático. Porém, quando ocorre redução na velocidade da corrente de água, o material em suspensão é gradualmente depositado, sendo os sedimentos o destino final desses elementos (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; CHAPMAN et al., 1996; SKEAFF; DURBEUIL; BRIGHAM, 2002; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; PINTILIE et al., 2007; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; PACHANA, WATTANAKORNSIRI, NANUAM, 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; SARMIENTO et al., 2011; WOOD, 2012; SALES, 2013; SOUZA et al., 2015; IBAMA, 2016; ALI; KHAN; 2018; ALI; KHAN; ILAHI, 2019).

Ao serem incorporados aos sedimentos, metais e semimetais tornam-se menos biodisponíveis, ou seja, quando em fase aquosa são mais facilmente absorvidos pelos organismos. No entanto, é válido ressaltar que o sedimento é um compartimento ativo, que não somente acumula estes elementos, mas também, tem papel fundamental na reposição, redistribuição e biodisponibilização dos mesmos para a coluna d'água e, conseqüentemente, à biota aquática (BEVILACQUA, 1996; SKEAFF; DURBEUIL; BRIGHAM, 2002; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; PINTILIE et al., 2007; VAREJÃO, 2008; SARMIENTO et al., 2011; WOOD, 2012; SALES, 2013; PUPPIM, 2014; SOUZA et al., 2015; FERNANDES et al., 2016; IBAMA, 2016; MAIA, 2017; JUNCÁ et al., 2017; ALI; KHAN; 2018; ALI; KHAN; ILAHI, 2019), atuando como fonte potencial de poluição difusa no ambiente aquático (SILVA, 2010).

Mudança nos padrões de concentração de elementos potencialmente tóxicos nos corpos hídricos tem impacto significativo nesse ambiente, especialmente aos seres vivos que ali habitam (WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIKINMAA, 2014; PUPPIM, 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). A potencialidade tóxica desses elementos sobre os organismos é dependente, não somente da concentração total no meio, mas do tempo e nível de exposição, da rota de absorção (oral, cutânea, branquial), da capacidade absorptiva e de defesa dos organismos e, também, de como a especificidade química do elemento afeta a distribuição nesses organismos (ANDRADE, 2003; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; MORAIS, 2009; RHODES, 2010; PEREIRA et al., 2010; WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIKINMAA, 2014; PUPPIM, 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; SOUZA et al., 2015; FAURG, 2016; ICMBio, 2016; ALI; KHAN; 2018).

Por possuírem grande afinidade por moléculas que contenham átomos de nitrogênio e enxofre, ligam-se facilmente a proteínas e macromoléculas celulares, bloqueando, deslocando o íon essencial ou alterando a conformação estrutural ativa de biomoléculas, comprometendo, deste modo, diferentes funções fisiológicas dos organismos (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; QUEIROZ, 2006; MORAIS, 2009; WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIKINMAA, 2014; PUPPIM, 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; FERNANDES et al., 2016; FAURG, 2016; IBAMA,

2016; ICMBio, 2016; ALI; KHAN; 2018). Além disso, devido à baixa mobilidade apresentada por estes elementos, os mesmos podem ser facilmente acumulados, pois, ligam-se covalentemente a átomos de carbono em grupos orgânicos. Como exemplo tem o metil (-CH<sub>3</sub>), originando compostos organometálicos, que, quando neutros, tendem a ser lipossolúveis e, portanto, atravessam facilmente as membranas biológicas, atingindo, conseqüentemente, vários componentes orgânicos e interferindo no funcionamento de todo o organismo (MORAIS, 2009; WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; NIKINMAA, 2014).

Está bem documentado na literatura que animais que vivem em ambientes aquáticos quimicamente poluídos irão, cedo ou tarde, adquirir uma carga destes poluentes (WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIKINMAA, 2014; PUPPIM, 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; YANCHEVA et al., 2015; FAURG, 2016; ICMBio, 2016; ALI; KHAN; 2018; ALI; KHAN; ILAHI, 2019). Muitos organismos tendem a acumular metais e semimetais e outros contaminantes em seus tecidos, mesmo quando a água possui níveis desses compostos abaixo da concentração máxima permitida pela legislação (YANCHEVA et al., 2015; CABRAL; RISSO; MARTINEZ, 2018; ALI; KHAN; 2018; ALI; KHAN; ILAHI, 2019). Esse processo, denominado bioacumulação, ocorre porque determinadas espécies químicas prejudiciais tendem a seguir as mesmas vias bioquímicas dos elementos essenciais. Além disso, grande parte destas espécies químicas tende a sorção e complexação, formando, em alguns casos, compostos de mais fácil assimilação pelos seres vivos (MALAGRINO; MESQUITA; SOUSA, 2002; PACHANA; WATTANAKORNIRI; NANUAM, 2010; NIENCHESKI et al., 2014; YANCHEVA et al., 2015; CABRAL; RISSO; MARTINEZ, 2018; ALI; KHAN; 2018). Deste modo, concentrações aparentemente baixas na coluna d'água e sedimento não indicam ausência de absorção e efeitos dos mesmos sobre a biota.

Assim, ao serem absorvidos, e, conseqüentemente, acumulados pelos organismos, atingem níveis altamente tóxicos e, até mesmo, fatais. É válido ressaltar que vários contaminantes podem atingir altas concentrações na biota devido ao aumento progressivo das concentrações ao longo dos diferentes níveis da cadeia trófica. Nesta condição, denominada de biomagnificação, organismos que se posicionam no topo da cadeia alimentar apresentariam concentrações mais elevadas e tóxicas destes elementos (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; MORAIS, 2009; WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIENCHESKI et al., 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; NIKINMAA, 2014; YANCHEVA et al., 2015; FERNANDES et al., 2016; ALI; KHAN; 2018). Desta forma, o conhecimento sobre a concentração, mobilidade, disponibilidade, bioacumulação e efeitos destes elementos tóxicos, é de extrema importância para caracterização dos riscos, impactos e danos causados pelos mesmos ao ecossistema. Adicionalmente, devido ao tempo de permanência no

ambiente, e a forma como estes elementos se comportam ao longo da cadeia trófica, o estudo destes elementos passa, também, a apresentar relevância quanto ao acúmulo no ambiente, recursos pesqueiros e, conseqüentemente, à saúde humana.

Desde a ocorrência do rompimento da barragem de Fundão, há mais de quatro anos, muitos estudos foram e, ainda estão sendo desenvolvidos por instituições públicas e privadas, com o intuito de se compreender quais os impactos do rejeito extravasado sobre a biota e o meio ambiente em geral. Muitas dúvidas em relação a contaminação e a viabilidade do pescado para consumo humano ainda existem. Várias cidades acometidas pela passagem da onda de rejeitos tinham a pesca como uma das principais atividades, tanto relacionada à subsistência, quanto para geração de renda. Por precaução, até que estudos mais conclusivos fossem desenvolvidos, desde a chegada da lama na região da foz, a pesca foi legalmente interrompida pela Justiça Federal do Espírito Santo [processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0) datada de 17/02/2016], em uma faixa delimitada ao sul pela Barra do Riacho, no município de Aracruz, ao norte pela praia de Degredo, no município de Linhares, e ao leste até onde a plataforma continental alcança 25 metros

Uma vez que o termo contaminação é utilizado para designar a presença de uma substância química em uma amostra, sem que seja necessária evidência de que a presença da mesma causa danos (CRATHORNE et al., 1996), esse estudo teve como objetivo avaliar a contaminação do pescado proveniente da região costeiro-marinha-estuarina adjacentes à foz do rio Doce, no estado do Espírito Santo, a qual, independentemente da fonte, pode inviabilizar o consumo do pescado pela população. Mais especificamente, teve como objetivo qualificar e quantificar a presença de elementos potencialmente tóxicos (metais e semimetais) na carne de pescado (entenda-se moluscos, crustáceos e peixes) obtidos na área de proibição da pesca e, em áreas adjacentes a ela, de modo a subsidiar a decisão judicial sobre a manutenção ou não da proibição/interdição da pesca, conforme processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0).

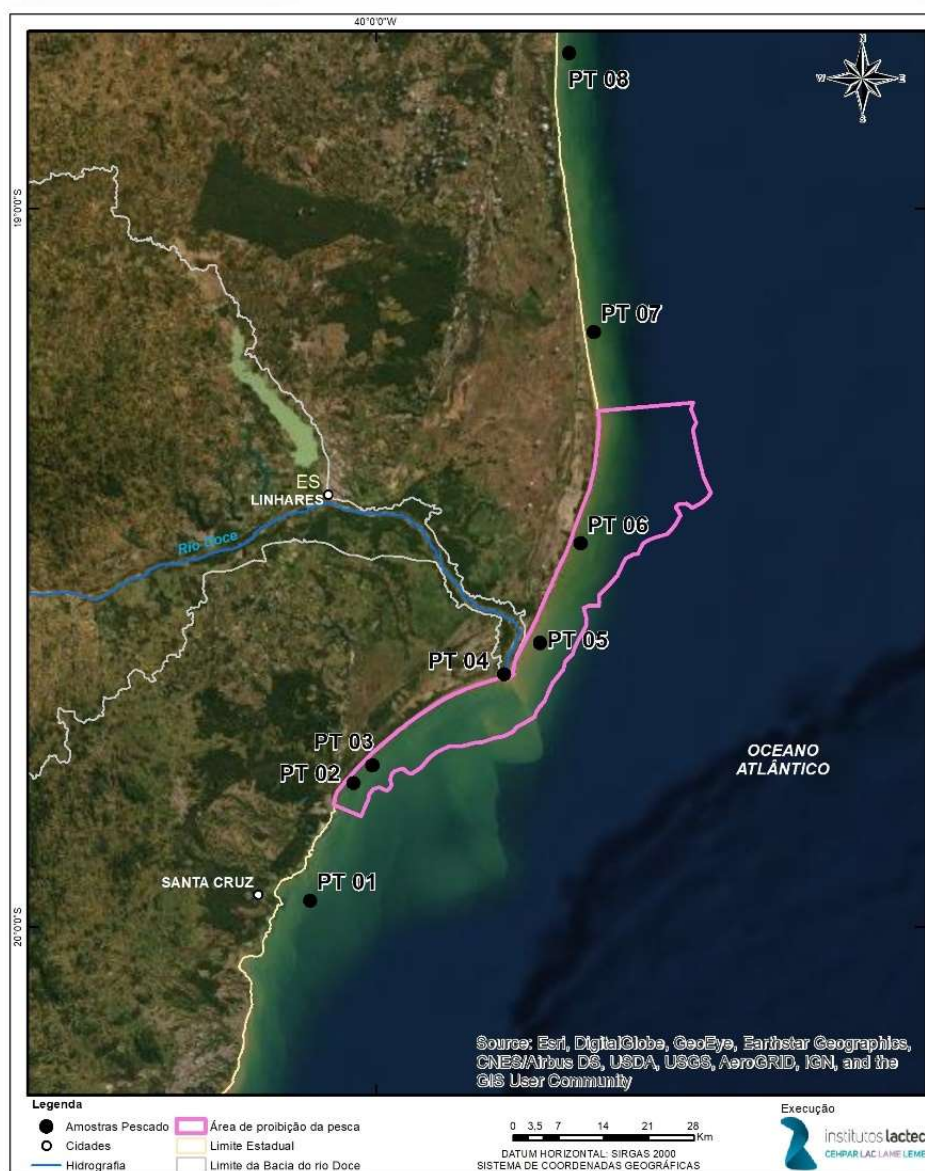
## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Amostragem**

Para o desenvolvimento do presente estudo foram amostrados 8 pontos dispostos entre os municípios de Aracruz e São Matheus, litoral do Espírito Santo, os quais apresentam diferentes ictiocenoses e gradientes de contaminação. Desses, 5 pontos foram distribuídos ao longo da extensão da área de proibição da pesca e 3 pontos fora desta área, sendo um alocado ao sul da área de proibição, e dois alocados ao norte da mesma. Todos os pontos contemplam a Região Central do Programa

REVIZEE (Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva) do Ministério do Meio Ambiente (Figura 1, Tabela 1).

**Figura 1. Localização dos pontos de amostragem para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) em pescados (moluscos, crustáceos e peixes) capturados dentro e fora da área de proibição da pesca**



**Tabela 1. Descrição e coordenadas (UTM) dos pontos de amostragem para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) em pescados (moluscos, crustáceos e peixes) capturados dentro e fora da área de proibição da pesca**

Pontos	Localização	Sul	Leste	Descrição
PT 1	Foz do rio Piraquê-açu	7792163	385822	Ponto localizado em frente a foz do rio Piraquê-açu, ambiente marinho.
PT 2	Barra do Riacho	7810324	392082	Ponto localizado no ambiente marinho, em frente a Foz do rio Riacho.
PT 3	Vila do Riacho	7813091	394797	Ponto localizado no ambiente marinho, entre Barra do Riacho e Regência.
PT 4	Estuário do rio Doce	7827206	413941	Ponto localizado no ambiente estuarino da Foz do rio Doce, incluindo a zona de arrebenção em frente a Foz.
PT 5	Foz do rio Doce	7832096	419190	Ponto localizado no ambiente marinho, ao norte da Foz do rio Doce.
PT 6	Degredo	7847414	424997	Ponto localizado no ambiente marinho, ao norte do Distrito de Degredo.
PT 7	Pontal do Ipiranga	7879942	426840	Ponto localizado no ambiente marinho, em frente ao distrito de Pontal do Ipiranga.
PT 8	Guriri	7922986	422993	Ponto localizado no ambiente marinho, em Barra Seca.

Em cada um dos pontos de coleta foram contratados pescadores da região, uma vez que estes detêm o conhecimento de quais os locais mais propícios para a pesca. As metodologias de coleta foram diferenciadas em cada um dos pontos e utilizadas técnicas passivas e ativas compatíveis com os diferentes ambientes, de modo a se obter o máximo de espécies dos grupos-alvo a serem avaliados. Basicamente, os equipamentos/técnicas de pesca utilizados foram:

- Redes de arrasto de praia e ambientes rasos, 20 metros de comprimento e 2 metros de altura, com saco central de 5 metros de comprimento e malha multifilamento de 5 mm, operadas com auxílio de dois suportes (calões) nas extremidades para dois arrastos de 20 minutos cada;
- Redes de arrasto cônica, com portas e ensacador, operada no fundo ou no ambiente pelágico por embarcação de pesca da região. Foram realizados dois arrastos com duração definida juntamente com os pescadores, de 40 minutos em período de maré de quadratura, quando ocorre menor variação entre as marés do dia;

- Baterias de redes de espera simples com malhas variando desde 1,5 a 16 cm de entre nós não adjacentes, permanecendo ativa por todo o período de amostragem (cerca de 16h) em cada local/ponto amostral;
- Arremessos de tarrafa: realizados vários arremessos em cada ponto amostral (malhas 1,5 e 2,5 cm - 10 m de circunferência);
- Coleta manual e armadilhas.

Dados de pesca do estado do Espírito Santo (IBAMA, 2009; UFES, 2013; LEMM/LEIDETEC/GIAIA, 2016) indicam a ocorrência de 118 espécies exploradas como recurso pesqueiro na região marinha-estuarina adjacente ao rio Doce, sendo, uma espécie de lula, uma espécie de polvo, cinco espécies de camarão, duas espécies de lagosta, uma de siri e 108 espécies de peixes ósseos e cartilagosos (ANEXO A). Para as amostragens, os esforços de coleta se concentraram na obtenção de, no mínimo, nove (9) espécies, sendo, três (3) espécies de peixes de diferentes níveis tróficos (espécies onívoras, carnívoras, detritívoras, etc.); duas espécies de camarão (as mais consumidas na região); uma espécie de lula; uma espécie de siri; uma espécie de ostra e uma espécie de caranguejo. Além disso, foram considerados como critérios de amostragem: (a) ser uma espécie frequentemente utilizada para consumo pela população local; (b) apresentar, durante o momento da amostragem, tamanho comercial; (c) não estar em período de defeso (ou seja, período que visa proteger os organismos aquáticos durante as fases mais críticas de seus ciclos de vida e/ou mais vulneráveis à captura como, por exemplo, época reprodutiva). Assim, as espécies que não se enquadraram nos critérios previamente estabelecidos foram substituídas, quando possível, por outra de mesmo grupo taxonômico e importância comercial, conforme espécies descritas no ANEXO A.

As amostragens foram realizadas com o objetivo de capturar vinte (20) exemplares de cada uma das espécies dos diferentes grupos taxonômicos selecionados e/ou disponíveis em cada um dos pontos. Esse número de indivíduos foi calculado de acordo com TRIOLA (1999) e LEVINE et al. (2000), de modo a se obter uma amostra populacional mínima, com intervalo de confiança de 95%. Porém, para algumas espécies, não foi possível realizar a amostragem de modo a contemplar 20 indivíduos. Para essas espécies foi realizado o esforço para obtenção de, no mínimo, 10 indivíduos, ou então, utilizou-se, para a realização das amostragens e, conseqüentemente, análises, o número máximo de organismos disponíveis após a realização do esforço de captura predeterminado para as coletas.

## 2.2 Obtenção, processamento e acondicionamento das amostras

Imediatamente após a coleta, os animais foram crioanestesiados, pesados, medidos, e fotografados para posterior identificação até nível de espécie. Para os organismos que ainda se encontravam vivos, foram adotados os seguintes procedimentos de eutanásia: secção da medula espinhal (conforme previsto na portaria CFBio nº 148/2012) para peixes; crioanestesia total seguida de remoção da carapaça, no caso de crustáceos; crioanestesia total, no caso de moluscos. Em seguida, os animais foram submetidos à remoção de fragmentos musculares ou partes moles, no caso de moluscos bivalves como mexilhões e ostras, necessários às análises químicas. A remoção/manipulação dos tecidos foi realizada com o auxílio de faca de cerâmica e material cirúrgico de aço inoxidável ou plástico (descartável), de modo a evitar qualquer tipo de contaminação por parte do material de manipulação. Todas as amostras coletadas foram acondicionadas em frascos plásticos (do tipo criogênico) previamente lavados com ácido nítrico ultra-puro (Merk®) e enxaguados com água ultra-pura (Milli-Q®). Imediatamente após o acondicionamento, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido, onde permaneceram até a chegada no laboratório do Instituto Lactec, em Curitiba. No laboratório, as mesmas foram transferidas e mantidas em freezer a -80 °C até o envio para os laboratórios onde foram realizadas as análises. Para o envio, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor devidamente isoladas com manta térmica e preenchidas com gelo seco. No destino, as mesmas foram transferidas para freezers a -20 °C, onde foram mantidas até o momento do processamento necessário às análises.

## 2.3 Análises das amostras

Todas as amostras de músculo foram submetidas às análises das concentrações totais dos seguintes elementos potencialmente tóxicos (EPTs): prata (Ag), alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), antimônio (Sb), selênio (Se), estanho (Sn), zinco (Zn). Adicionalmente, as amostras foram analisadas quanto as concentrações de arsênio inorgânico (nas formas III e V) e metilmercúrio (MeHg). As amostras foram enviadas para análises em quatro (4) laboratórios distintos. As amostras para análise das concentrações totais dos EPTs foram enviadas para três (3) laboratórios com acreditação para a realização deste tipo de análise. Os laboratórios selecionados para a realização dessas análises foram: Tommasi Ambiental (localizado no estado do Espírito Santo, denominado apenas como laboratório 1); Hidroquímica (Empresa do grupo Oceanus, localizado no estado do Rio de Janeiro, denominado apenas como laboratório 2) e Bioagri Ambiental (Empresa do grupo Merieux

NutriSciences, localizado no estado do Paraná, denominado apenas como laboratório 3). Porém, os elementos arsênio inorgânico (nas formas  $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) não possuem métodos acreditados em laboratórios nacionais e internacionais. Deste modo, as análises de determinação dos mesmos foram encaminhadas para um laboratório não acreditado para esta análise, mas, com ampla experiência na realização dessas determinações. O laboratório selecionado foi, inicialmente, o Laboratório de Química Industrial e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. No entanto, devido ao não atendimento dos prazos, o contrato com este laboratório foi rescindido e o Laboratório Hidroquímica do Grupo Oceanus, previamente denominado como laboratório 2, assumiu as análises.

O preparo das amostras para a determinação total dos EPTs supracitados ocorreu conforme protocolos estabelecidos pela norma nº 3052 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 1996). A determinação dos elementos, por sua vez, foi realizada por Espectrômetro de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP MS) nos três laboratórios acreditados para as análises. Para garantir a qualidade, acurácia e exatidão das análises, a quantificação das amostras foi realizada utilizando-se curvas de calibração com dez níveis de concentração, linear, nas quais os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram iguais ou maiores que 0,99. Os padrões de calibração para construir a curva analítica dos elementos foram preparados a partir de padrões adquiridos de Absolute Standards Inc (Hamden, Connecticut, EUA) com ISO GUIDE 34, todos rastreáveis NIST ("National Institute of Standards and Technology"). Adicionalmente, foram analisados "brancos", para os quais todos os procedimentos para a preparação e análise das amostras foram realizados, porém, na ausência da amostra.

A concentração dos elementos foi calculada utilizando-se a expressão abaixo:

$$C (mg.kg^{-1}) = \frac{c (\mu g.L^{-1}) * V (mL)}{m(g) * 1000}$$

Onde:

C é a concentração final em  $mg.kg^{-1}$ ;

c é a concentração em  $\mu g.L^{-1}$  lida em solução;

V é o volume final da solução em mL;

m é a massa da amostra em g;

e 1000 é o fator de conversão de  $\mu g.kg^{-1}$  para  $mg.kg^{-1}$ .

Os resultados foram expressos nos laudos dos laboratórios 1 e 2 em  $mg.kg^{-1}$  de peso seco, uma vez que foram utilizadas para digestão, amostras desidratadas. No entanto, os resultados obtidos pelo

laboratório 3 foram apresentados em  $\text{mg.kg}^{-1}$  de peso úmido. No presente relatório, os resultados serão todos apresentados em  $\text{mg.kg}^{-1}$  de peso úmido, de modo a facilitar a comparação com estudos prévios realizados nas regiões amostradas. Para tanto, os resultados que foram apresentados pelos laboratórios em base seca foram convertidos à base úmida. Os laudos referentes aos resultados das concentrações totais dos EPTs estão disponibilizados nos ANEXOS B, C, D (primeira amostragem) e F, G, H (segunda amostragem).

Para a determinação das espécies de arsênio ( $\text{As}^{3+}$  e  $\text{As}^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg), as amostras foram abertas e as espécies extraídas, utilizando-se fosfato de amônio e cloridrato de L-cisteína, de modo a se obter uma solução que permitisse a leitura das espécies de arsênio (As) e mercúrio (Hg), respectivamente. O método analítico empregado para a separação das espécies foi a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), com detecção por espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) e quantificação por padronização externa, utilizando-se a regressão linear. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram iguais ou maiores que 0,99. Os laudos referentes aos resultados das concentrações das espécies de As inorgânico ( $\text{As}^{3+}$  e  $\text{As}^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) estão disponibilizados nos ANEXOS E (primeira amostragem) e I (segunda amostragem).

## 2.4 Análises dos resultados

Os dados obtidos de cada um dos laboratórios foram tabulados e separados por ponto de coleta, grupo taxonômico e espécies. Em seguida, foram submetidos à análise de variância de uma via, One-way ANOVA seguido do teste *post hoc* de Tukey para localização das diferenças entre os pontos e para um mesmo grupo taxonômico ou espécie. Para dados que não apresentaram normalidade (ou homogeneidade de variâncias), foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, que corresponde ao teste não paramétrico para a análise de variância de uma via (R 3.6®, pacotes Stats, Car e FSA). Para todos os resultados, o nível de significância considerado foi menor ou igual a 0,05 ( $p \leq 0,05$ ).

Após a realização das análises estatísticas, os resultados médios foram plotados em tabelas e gráficos para facilitar a visualização das diferenças entre as concentrações dos elementos avaliados, e comparados aos limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) pelos documentos de lei: Portaria nº 685/1998 e RDC nº 42/2013. Os elementos As, Cd, Hg e Pb possuem limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em ambos os documentos de lei citados (Tabela 2 e Tabela 3). No entanto, apesar dos elementos Al, Ba, Co, Fe, Mn, Se e o metilmercúrio (MeHg), não estarem inseridos nestes documentos da legislação brasileira, os mesmos foram avaliados, uma vez que são considerados

nocivos à saúde humana, a partir de uma determinada concentração, pela *Codex Alimentarius Commission* (OMS/FAO, 2016). O Brasil é membro da *Codex Alimentarius Commission* desde a década de 70 e utiliza os documentos gerados por esta comissão internacional como referência para a sua legislação. Segundo documento gerado pela ANVISA “Os temas incluídos nas agendas dos Comitês do *Codex Alimentarius* e nos termos de referências dos grupos de trabalho estão alinhados às competências legais atribuídas pela Lei nº 9782, de 1999 à ANVISA. Assim, o resultado das discussões internacionais impacta diretamente no trabalho de avaliação de risco e de regulamentação da área de alimentos da ANVISA. As decisões acordadas nos respectivos comitês subsidiam, portanto, as ações de controle sanitário de alimentos da Agência” (ANVISA, 2018a). É importante ressaltar que a concentração de contaminantes inorgânicos nos alimentos devem ser os mais baixos possíveis (ANVISA, 2013), deste modo, para os elementos cujos limites máximos estabelecidos divergem entre os documentos supracitados da ANVISA, foi considerado o valor legislado mais restritivo, uma vez que é essencial garantir a proteção da saúde pública.

Os resultados também foram comparados à dados de linha-base obtidos de estudos realizados em cada uma das regiões amostradas. No entanto, é válido ressaltar que a base de dados prévia ao desastre e, especificamente, para a área delimitada pela proibição da pesca, é bastante escassa, assim, os dados de toda a região costeira marinha e estuarina do Espírito Santo foram levados em consideração. Adicionalmente, dados técnico-científicos que tenham sido gerados desde a ocorrência do desastre (estudos pós desastre) também foram utilizados, inclusive, aqueles gerados fora da área específica proposta, ou seja, fora da área de proibição da pesca.

Além dessas comparações, as médias de cada um dos elementos obtidas para cada um dos grupos taxonômicos, capturados em cada um dos pontos amostrais, foram submetidas ao cálculo da porcentagem de contribuição da concentração de EPTs em relação às concentrações máximas permitidas para ingestão diária, semanal ou mensal. Para os elementos Cr, Cu, Fe, Mn, Se e Zn foi utilizada a Instrução Normativa da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) IN nº 28, de 26 de julho de 2018, que “Estabelece as listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares” (Tabela 4), enquanto para os elementos Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, metilmercúrio (MeHg), Sn, Pb e Zn foi utilizada a *Codex Alimentarius Commission* (OMS/FAO, 2016), que dispõe sobre o “Limite máximo de contaminantes e toxinas em alimentos” (Tabela 5). Além disso, foram utilizados para comparação os valores regulamentados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA), disponível no *site* sobre Informação Integrada de Risco (US EPA, 2019; Tabela 6).

Para o cálculo da porcentagem de contribuição da concentração dos EPTs encontrada nos pescados avaliados no presente estudo, em relação às concentrações máximas permitidas pelas resoluções supracitadas, foi utilizada uma estimativa da ingestão de EPTs em um cenário conservador, seguindo os mesmos parâmetros adotados na Nota Técnica nº 8/2019/SEI/GEARE/GGALI/DIRE2/ANVISA. Assim, foi considerada uma porção média de peixe consumida diariamente de 60 g (para pequenos consumidores) ou 309 g (para grandes consumidores) e, quando necessário, o peso corpóreo considerado foi de um indivíduo de 60 kg. Dessa forma, com os valores máximos legislados e as concentrações de EPTs encontradas nos diferentes espécimes avaliados, foi estimada a porcentagem do limite máximo de ingestão diária, para uma porção de 60 g ou 309 g, nas diferentes localidades amostradas. É válido ressaltar que esse cálculo não corresponde a uma análise de risco, mas sim, uma estimativa da porcentagem de contribuição da concentração encontrada nos pescados avaliados em relação aos limites máximos permitidos para ingestão diária, semanal ou mensal. Apesar disso, é importante mencionar que Risco é a “probabilidade de perigo/ameaça para o homem e/ou para o meio ambiente que pode acarretar alguma consequência”<sup>1</sup> e que a presença de elementos químicos é reconhecida como uma situação de risco. Os compostos químicos são elementos ou combinações que, por sua quantidade, concentração, características físicas ou toxicológicas, representam risco imediato ou potencial à saúde humana ou ao ambiente”<sup>2</sup>. Assim, o conhecimento sobre a porcentagem de contribuição das concentrações encontradas nos organismos em relação aos limites máximos permitidos, é de extrema importância para caracterização dos riscos, impactos e danos que podem ser causados ao ambiente e à população.

---

<sup>1</sup>Definição baseada em dicionário, disponível em [https://www.google.com/search?q=risco+defini%C3%A7%C3%A3o&rlz=1C1CHZL\\_pt-BRBR750BR750&oq=ris&aqs=chrome.0.69i59j69i57j69i59j0i5.1391j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=risco+defini%C3%A7%C3%A3o&rlz=1C1CHZL_pt-BRBR750BR750&oq=ris&aqs=chrome.0.69i59j69i57j69i59j0i5.1391j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

<sup>2</sup>Disponível em <http://portalms.saude.gov.br/images/pdf/2015/janeiro/06/Avaliacao-de-Risco---Diretrizes-MS.pdf>

**Tabela 2. Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos em peixes e produtos de peixes. Dados baseados no limite (mg.kg<sup>-1</sup>) estabelecido pela Portaria da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) nº 685/1998.**

Elemento	Concentrações	
Arsênio (As)	1,0	
Cádmio (Cd)	1,0	
Chumbo (Pb)	2,0	
Mercúrio (Hg)	Predadores	1,0
	Não predadores	0,5

**Tabela 3. Limites máximos de contaminantes inorgânicos em pescado. Dados baseados no limite estabelecido para alimentos (mg.kg<sup>-1</sup>) pela Resolução da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) RDC nº 42/2013, MERCOSUL.**

Elemento	Alimento						
	Peixes crus, congelados ou refrigerados	Peixes bonito, carapeba, enguia, tainha, jurel, imperador, cavala, sardinha, atum e linguado	Peixe melva	Peixes espada e anchova	Moluscos cefalópodes	Moluscos bivalves	Crustáceos
Arsênio (As)	1,0	-	-	-	1,0	1,0	1,0
Cádmio (Cd)	-	0,1	0,2	0,3	2,0	2,0	0,5
Chumbo (Pb)	0,3	-	-	-	1,0	1,5	0,5
Mercúrio (Hg)	Predadores	1,0	-	-	0,5	0,5	0,5
	Não predadores	0,5	-	-	-	-	-

**Tabela 4. Limites máximos de ingestão diária estabelecidos pela Instrução Normativa da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) IN nº 28/2018<sup>b</sup>.**

Elemento	Limite máximo diário (mg)
Cromo (Cr)	0,25
Cobre (Cu)	8,97
Ferro (Fe)	34,31
Manganês (Mn)	1,66
Selênio (Se)	0,32
Zinco (Zn)	29,59

**Tabela 5. Valores de referência de ingestão diária estabelecidos a partir das concentrações da *Codex Alimentarius Commission***

Elementos	<i>Codex alimentarius</i> (mg de EPT/kg de peso corpóreo)	Limite máximo diário (mg) para uma pessoa de 60 kg de peso corpóreo
Alumínio (Al)	2 (PTWI)	17,14
Arsênio (As)	0,003 (BMDL <sub>0,5</sub> )	0,18
Cádmio (Cd)	0,025 (PTMI)	0,05
Chumbo (Pb)	0,025 (PTWI) <sup>b</sup>	0,21
Cobre (Cu)	0,05 – 0,5 (PMTDI)	3
Estanho (Sn)	14 (PTWI)	120
Ferro (Fe)	0,8 (PMTDI)	48
Mercúrio (Hg)	0,004 (PTWI) <sup>a</sup>	0,034
Metilmercúrio (MeHg)	0,0016 (PTWI)	0,014
Zinco (Zn)	0,3-1 (PMTDI)	18

PTWI (Provisional tolerable weekly intake - Ingestão tolerável semanal provisória); BMDL<sub>0,5</sub> (Benchmark dose lower limit - Limite inferior da dose de referência); PTMI (Provisional tolerable monthly intake – Ingestão tolerável mensal provisória); PMTDI (Provisional maximum tolerable daily intake – Máxima ingestão diária tolerável provisória).

<sup>a</sup> para a avaliação do risco de consumo de Hg proveniente de pescado é recomendado considerar o limite estabelecido para metil mercúrio (MeHg).

<sup>b</sup> PTWI para Pb, foi revogado por ser considerado inadequado para assegurar a proteção à saúde, porém, na ausência de outro valor legislado, o mesmo foi utilizado neste estudo para fins comparativos.

**Tabela 6. Valores de referência de ingestão diária estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA)**

Elementos	<i>US EPA (IRIS)</i> (mg de EPT/kg de peso corpóreo)	Limite máximo diário (mg) para uma pessoa de 60 kg de peso corpóreo
Antimônio (Sb)	0,0004	0,024
Arsênio (As)	0,0003	0,018
Bário (Ba)	0,2	12
Cádmio (Cd)	0,0001	0,006
Manganês (Mn)	0,14	8,4
Mercúrio (Hg)	0,0003	0,018
Prata (Ag)	0,005	0,3
Selênio (Se)	0,005	0,3
Zinco (Zn)	0,003	0,18

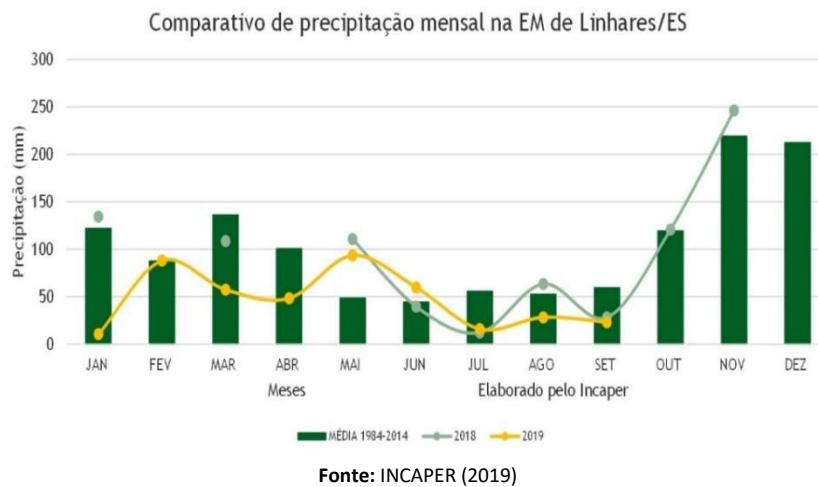
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este relatório corresponde aos resultados obtidos em duas campanhas de amostragem, conforme estabelecido pelo quinto termo aditivo (Proposta Técnica nº 4425-2018), para a qualificação e quantificação de elementos potencialmente tóxicos (metais e semimetais), presentes em pescado proveniente da área de proibição da pesca - região entre a Barra do Riacho, em Aracruz, e Degredo/Ipiranguinha, em Linhares, litoral do Espírito Santo. Para melhor apresentação dos dados os resultados foram subitemizados de acordo com as campanhas.

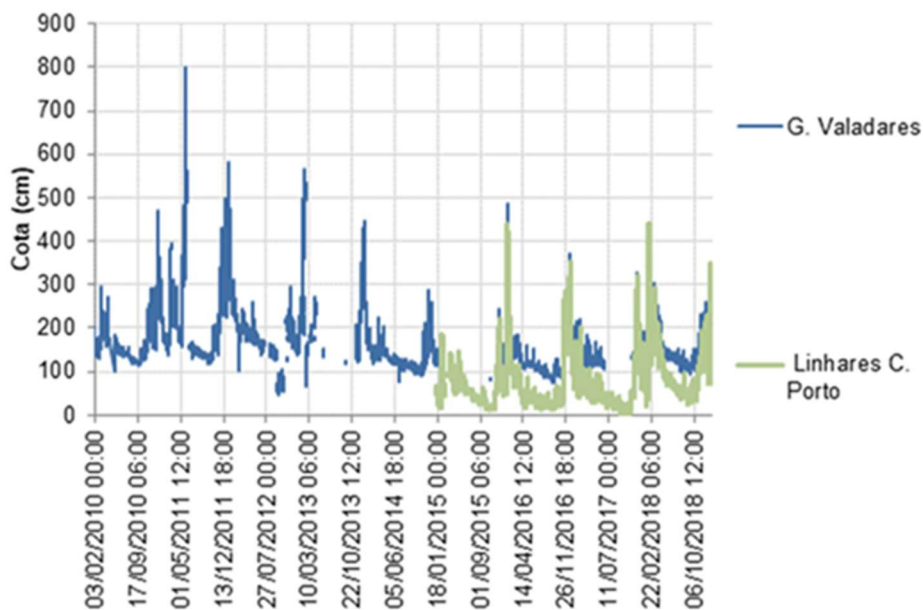
#### 3.1 Campanha 1 – estação chuvosa

A primeira campanha foi realizada entre os dias 31 de março a 10 de abril de 2019 e, embora tenha objetivado contemplar a estação chuvosa, não representou a realidade da referida estação. A campanha estava agendada para ocorrer entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019, mas, devido aos trâmites de contratação e a atipicidade quanto ao volume pluviométrico no período, o qual encontrou-se bem abaixo da média histórica da região, a campanha foi postergada. Levantamentos realizados na cidade de Linhares demonstraram que o mês de janeiro de 2019 (mês que normalmente é um dos mais chuvosos) apresentou um extenso período sem chuvas (Figura 2), o que fez com que o nível do rio Doce baixasse significativamente, deixando-o com características de período seco (Figura 3). Muito embora as amostragens sejam realizadas na região costeira, é sabido que o regime de chuvas ao longo de toda a extensão da bacia do rio Doce interfere sobre o aporte de água, materiais e sedimentos na foz do mesmo e, conseqüentemente, na área marinha adjacente (IBAMA, 2016; UERJ, 2016; ICMBio, 2017; UFES, 2017). Assim, esta condição pluviométrica atípica ao longo de toda a extensão da bacia do rio Doce foi previamente informada, e, a decisão quanto a manutenção da campanha em período atípico de pluviosidade, bem como a realização da campanha em período fora do previamente estabelecido, foi embasada contratualmente.

**Figura 2. Precipitação média (barras verdes) e mensal (círculos) na cidade de Linhares-ES nos anos de 2018 (círculos verdes) e 2019 (círculos amarelos)**



**Figura 3. Cota do rio Doce (cm) em dois pontos de monitoramento: Governador Valadares (linha azul) e Linhares (linha verde)**



Fonte: Dados fornecidos pela Fundação Renova, baseado em resultados do monitoramento pluviométrico do PMQQS

Durante a primeira campanha amostral, foram capturados 2.271 organismos, divididos em uma espécie de molusco, três espécies de crustáceos e doze espécies de peixes (Tabela 7 e Figura 4). Os organismos foram separados em 605 amostras. Cada uma dessas amostras foi composta por 4 tubos que foram encaminhados separadamente a cada um dos laboratórios. É importante mencionar que, apesar do esforço realizado e do emprego de diferentes técnicas de captura, foram amostrados apenas exemplares de peixes de hábito alimentar carnívoro (Tabela 7). Além disso, não foram

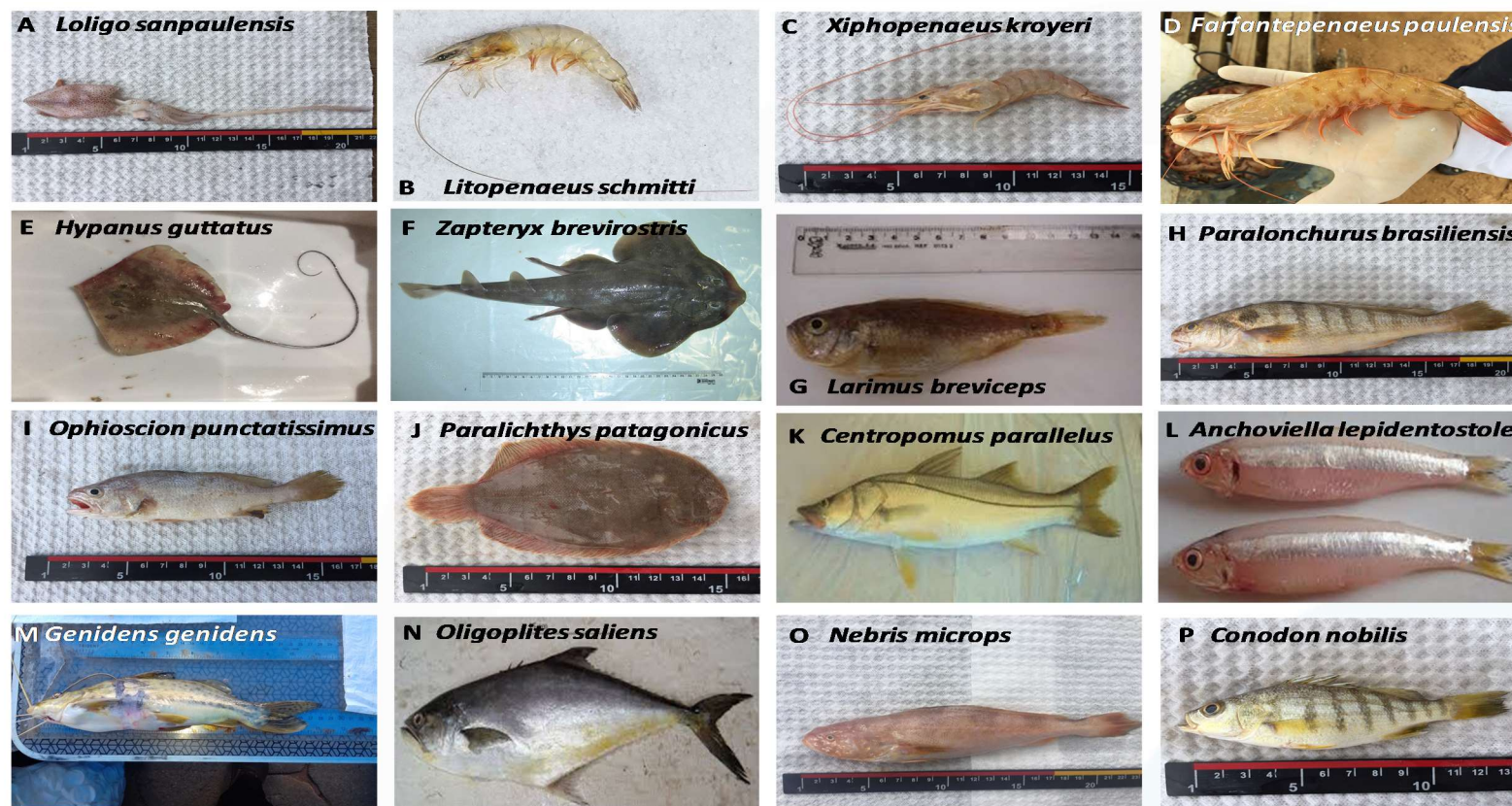
amostrados ostras, siris e caranguejos. As ostras foram encontradas apenas em tamanhos fora do padrão para amostragem; os siris, que normalmente são facilmente obtidos nos arrastos de camarão, não ocorreram. Os caranguejos estavam no período de defeso nos diferentes locais de amostragem (PMSM, 2019; SEAMA, 2019), portanto, deixaram de ser amostrados.

A redução no número de amostras em relação ao número total de indivíduos amostrados ocorreu devido à necessidade de realização de *pools* para compor a massa mínima exigida pelos laboratórios, que é de 5 g de tecido úmido por tubo de amostra. Esses *pools* foram realizados principalmente para as amostras de camarões, lulas e de alguns peixes pequenos. Devido a isso, as amostras não foram consideradas como contraprovas, mas sim, como amostras distintas, enviadas para diferentes laboratórios.

**Tabela 7. Lista das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturados para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

Ponto	Grupo taxonômico	Espécie	Nome comum	Hábito alimentar
PT 1	Moluscos	<i>Loligo sanpaulensis</i>	Lula	Carnívoro
	Crustáceos	<i>Litopenaeus schmitti</i>	Camarão branco	Omnívoro
		<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
		<i>Farfantepenaeus paulensis</i>	Camarão rosa	Omnívoro
		<i>Hypanus guttatus</i>	Raia-lixo	Carnívoro
	Peixes cartilagosos	<i>Zapteryx brevirostris</i>	Cação viola ou raia viola	Carnívoro
		Peixes ósseos	<i>Larimus breviceps</i>	Cangoá ou oveva
	<i>Paralonchurus brasiliensis</i>		Maria Luísa	Carnívoro
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura		Carnívoro	
<i>Paralichthys patagonicus</i>	Linguado		Carnívoro	
PT 2	Moluscos	<i>Loligo sanpaulensis</i>	Lula	Carnívoro
	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Larimus breviceps</i>	Cangoá ou Oveva	Carnívoro
		<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralichthys patagonicus</i>	Linguado	Carnívoro
PT 3	Moluscos	<i>Loligo sanpaulensis</i>	Lula	Carnívoro
	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Larimus breviceps</i>	Cangoá ou Oveva	Carnívoro
		<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
<i>Paralichthys patagonicus</i>		Linguado	Carnívoro	
PT 4	Peixes ósseos	<i>Centropomus parallelus</i>	Robalo	Carnívoro
		<i>Anchoviella lepidentostole</i>	Manjuba	Carnívoro
		<i>Genidens genidens</i>	Bagre	Carnívoro
		<i>Oligoplites saliens</i>	Guaivira	Carnívoro
PT 5	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
PT 6	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Nebris micros</i>	Pescadinha ou pescada banana	Carnívoro
		<i>Genidens genidens</i>	Bagre	Carnívoro
PT 7	Moluscos	<i>Loligo sanpaulensis</i>	Lula	Carnívoro
	Crustáceos	<i>Litopenaeus schmitti</i>	Camarão branco	Omnívoro
		<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
		<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
	Peixes ósseos	<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Conodon nobilis</i>	Roncador	Carnívoro
PT 8	Moluscos	<i>Loligo sanpaulensis</i>	Lula	Carnívoro
	Crustáceos	<i>Litopenaeus schmitti</i>	Camarão branco	Omnívoro
		<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Nebris microps</i>	Pescadinha ou pescada banana	Carnívoro

Figura 4. Prancha de imagens das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturadas para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha.



Fontes: Lactec (imagens A, C, D, E, H, I, J, M, O e P); Instituto Brasil Agosto (imagem B, disponível em <http://brasilagosto.org/camarao-branco/>, acesso realizado em 15/10/2019); Edge Science (imagem F, disponível em <http://www.edgeofexistence.org/species/shortnose-guitarfish/>, acesso realizado em 15/10/2019); Mackenzie (imagem G, disponível em [https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/47/Graduacao/CCBS/Cursos/Ciencias\\_Biologicas/TCC/TCC\\_1\\_2017/Nayara\\_Calmon\\_Rosa.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/47/Graduacao/CCBS/Cursos/Ciencias_Biologicas/TCC/TCC_1_2017/Nayara_Calmon_Rosa.pdf), acesso realizado em 15/10/2019); Peixes desportivos do mundo (imagem K, disponível em <http://peixesdesportivosdomundo.blogspot.com/2012/03/o-camurim-obeso-centropomus-parallelus.html>, acesso realizado em 15/10/2019); Fish Bio System (imagem L, disponível em [www.fishbiosystem.ru](http://www.fishbiosystem.ru), acesso realizado em 15/10/2019); FishBase (imagem O, disponível em <https://www.fishbase.se/photos/ThumbnailsSummary.php?ID=1000>, acesso realizado em 15/10/2019).

Os resultados das análises realizadas em tecido muscular de pescado, para qualificação e quantificação total de EPTs, foram obtidos dos três (3) laboratórios acreditados. Os resultados fornecidos pelo laboratório 1 indicaram a presença de todos os elementos avaliados em todos os pontos e grupos taxonômicos amostrados (Tabela 8).

De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 2, os elementos Sb e Sn não foram detectados em nenhum grupo taxonômico dos oito pontos amostrais. Do mesmo modo, o elemento Ag não foi detectado nos grupos taxonômicos dos pontos 1, 2 e 4, nem em crustáceos dos pontos 3, 6, 7 e 8, tampouco, em peixes dos pontos 3, 5, 7 e 8. O elemento Cd só foi detectado em moluscos capturados nos pontos 1, 2, 3, 7 e 8. O elemento Co só foi detectado em crustáceos capturados nos pontos 2 e 5, e em peixes capturados no ponto 4. Além disso, o elemento Ni não foi detectado em moluscos e crustáceos do ponto 1 e o elemento Pb não foi detectado nos três grupos taxonômicos do ponto 1, tampouco, em crustáceos dos pontos 2, 3, 6 e 8 e, em peixes dos pontos 3, 5, 7 e 8 (Tabela 9).

De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 3, o elemento Ag não foi detectado em moluscos dos pontos 1, 2 e 8, em crustáceos dos pontos 1, 5, 6 e 8, tampouco, em peixes dos pontos 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8. O elemento Al não foi detectado apenas nos peixes do pontos 5. O elemento Ba não foi detectado em moluscos capturados nos pontos 1, 7 e 8. O elemento Cd não foi detectado em molusco do ponto 2, em crustáceos dos pontos 1, 5, 6 e 8, e, somente foi detectado em peixes do ponto 1. O elemento Co não foi detectado em moluscos dos pontos 1, 2, 3, 7 e 8, nem em crustáceos dos pontos 1, 5, 6 e 8, tampouco em peixes dos pontos 2, 3, 5, 6 e 8. O Hg não foi detectado apenas em moluscos dos pontos 1, 2 e 3. O elemento Ni não foi detectado em moluscos dos pontos 1 e 2. O Pb não foi detectado em moluscos do ponto 1. O elemento Sb não foi detectado em moluscos em nenhum dos pontos onde estes organismos foram capturados. Também não foi detectado em crustáceos dos pontos 1, 5, 6 e 8 e só foi detectado em peixes do ponto 1. Por fim, o elemento Sn não foi detectado em moluscos dos pontos 1, 2, 7 e 8, crustáceos dos pontos 5 e 6 e em peixes dos pontos 3, 5 e 6 (Tabela 10).

A ausência de alguns dos elementos nos resultados apresentados pelos laboratórios 2 e 3 pode estar diretamente relacionada ao limite de quantificação (LQ) dos elementos nestes laboratórios, conforme pode ser verificado na Tabela 11. O limite de quantificação é definido como a menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob as condições experimentais estabelecidas. Limites de quantificação elevados reduzem a sensibilidade da determinação (CURRIE, 1995; BRITO et al., 2003; GONZÁLEZ; HERRADOR, 2007; INMETRO, 2007; SKOOG et al., 2008; ANVISA, 2017). No entanto, cabe a ressalva, que a ocorrência de

limites de quantificação e resultados distintos entre os laboratórios era esperada, uma vez que se tratam de amostras diferentes, equipamentos diferentes e *modus operandi* diferentes e, que os resultados estão diretamente relacionados às condições experimentais adotadas e acreditadas em cada um dos laboratórios (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10, respectivamente).

**Tabela 8. Média da concentração total dos EPTs, determinados pelo laboratório 1, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
Moluscos	0,0037	8,3633	2,8890	0,0217	0,2032	0,0052	0,0636	2,7387	7,1777	0,0176	0,4117	0,0227	0,0164	0,0008	0,4610	0,0051	12,8776
Crustáceos	0,0021	11,4519	13,8714	0,0343	0,0042	0,0063	0,0369	5,9675	7,1839	0,0368	0,2953	0,0218	0,0049	0,0018	0,7231	0,0023	15,4860
Peixes	0,0023	3,4269	4,5225	0,0313	0,0008	0,0039	0,0243	0,1581	4,1871	0,1154	0,2275	0,0094	0,0057	0,0039	0,4982	0,0032	3,6099
<b>PT2</b>																	
Moluscos	0,0041	22,6378	0,8852	0,1906	0,0324	0,0115	0,0880	1,6623	35,0408	0,0256	6,8191	0,0495	0,0336	0,0011	0,2393	0,0033	11,3271
Crustáceos	0,0011	5,0103	13,6731	2,8143	0,0017	0,0125	0,0194	5,4180	3,7735	0,0499	0,2206	0,0112	0,0028	0,0020	0,8247	0,0021	14,9900
Peixes	0,0014	4,9930	1,8392	0,1005	0,0005	0,0059	0,0287	0,1591	5,0729	0,0710	0,4573	0,0100	0,0075	0,0003	0,5475	0,0016	3,9011
<b>PT3</b>																	
Moluscos	0,0067	20,9192	1,2673	0,0777	0,0720	0,0057	0,0362	2,0220	10,3753	0,0156	2,5796	0,0208	0,0238	0,0004	0,3265	0,0021	10,4732
Crustáceos	0,0021	4,8940	14,2485	0,0258	0,0018	0,0119	0,0208	5,4757	4,1112	0,0517	0,2358	0,0123	0,0066	0,0021	0,8349	0,0017	14,5065
Peixes	0,0010	2,9103	1,6921	0,1357	0,0007	0,0059	0,0255	0,1701	3,7656	0,0569	0,5169	0,0082	0,0021	0,0005	0,5051	0,0011	3,8890
<b>PT4</b>																	
Peixes	0,0003	1,8677	1,3376	0,2137	0,0021	0,0109	0,0165	0,3397	5,8253	0,1329	0,6247	0,0034	0,0035	0,0003	0,5443	0,0013	16,2863
<b>PT5</b>																	
Crustáceos	0,0077	20,5140	5,1939	0,0564	0,0019	0,0106	0,0315	4,8768	14,9377	0,0362	0,5656	0,0382	0,0115	0,0014	0,6723	0,0031	12,9671
Peixes	0,0003	1,1654	0,8310	0,1233	0,0003	0,0049	0,0352	0,1227	2,3757	0,1054	0,2943	0,0173	0,0014	0,0002	0,6325	0,0007	3,3149
<b>PT6</b>																	
Crustáceos	0,0094	26,3973	11,7664	0,0502	0,0015	0,0112	0,0443	4,5918	17,2760	0,0792	0,7352	0,0255	0,0082	0,0030	1,6438	0,0014	14,0116
Peixes	0,0003	4,6161	2,5971	0,0271	0,0002	0,0070	0,0184	0,1652	4,5049	0,0459	0,4014	0,0089	0,0020	0,0002	0,4782	0,0013	3,8421
<b>PT7</b>																	
Moluscos	0,0308	10,1578	5,3554	0,0244	0,1189	0,0068	0,0287	4,6680	10,6683	0,0252	0,4250	0,0161	0,0295	0,0008	0,9663	0,0009	10,6327
Crustáceos	0,0034	5,5671	18,8357	0,0528	0,0019	0,0061	0,0181	3,8184	4,8180	0,0928	0,2800	0,0155	0,0072	0,0026	1,4914	0,0015	14,3356
Peixes	0,0021	2,8856	5,1890	0,0241	0,0006	0,0055	0,0219	0,2014	4,3898	0,2285	0,3095	0,0117	0,0067	0,0002	0,8281	0,0011	4,2942
<b>PT8</b>																	
Moluscos	0,0295	13,1852	4,0170	0,0345	0,0741	0,0071	0,2850	5,0281	32,3910	0,0476	0,7296	0,0210	0,0194	0,0009	1,0117	0,0016	10,5240
Crustáceos	0,0085	9,6970	17,5129	0,1628	0,0011	0,0084	0,0236	3,8737	7,0465	0,0879	0,3674	0,0163	0,0043	0,0023	1,4064	0,0033	13,5783
Peixes	0,0008	2,6495	2,7113	0,0176	0,0002	0,0040	0,0247	0,1498	10,7916	0,0930	0,3068	0,0075	0,0055	0,0003	0,8091	0,0013	4,1660

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

**Tabela 9. Média da concentração total dos EPTs, determinados pelo laboratório 2, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	
<b>PT1</b>																		
Moluscos	ND	12,1513	2,1135	0,0966	0,1764	ND	0,2875	1,7991	10,2099	0,0194	0,3934	ND	ND	ND	0,2853	ND	9,0013	
Crustáceos	ND	6,2298	8,8849	0,0356	ND	ND	0,0385	4,1031	5,4894	0,0240	0,2313	ND	ND	ND	0,4215	ND	11,8807	
Peixes	ND	1,8096	2,8332	0,0607	ND	ND	0,0442	0,1717	3,1306	0,0831	0,2021	0,0449	ND	ND	0,3226	ND	3,2753	
<b>PT2</b>																		
Moluscos	ND	7,5578	0,8052	0,1224	0,0303	ND	0,7747	0,9601	11,9562	0,0173	2,5740	0,4205	0,0214	ND	0,1575	ND	9,4221	
Crustáceos	ND	6,8402	8,7640	0,0392	ND	0,0276	0,0178	3,6272	6,5162	0,0153	0,2186	0,0254	ND	ND	0,4992	ND	10,9378	
Peixes	ND	3,0713	1,2653	0,0924	ND	ND	0,0284	0,1676	3,4298	0,0329	0,3416	0,0415	0,0358	ND	0,3388	ND	3,0695	
<b>PT3</b>																		
Moluscos	0,0366	10,4823	1,0405	0,0625	0,0869	ND	0,0585	1,5344	11,4107	0,0112	2,1849	0,0298	0,0221	ND	0,2165	ND	6,7313	
Crustáceos	ND	2,4675	9,4668	0,0340	ND	ND	0,0305	4,0645	3,8901	0,0144	0,1921	0,0345	ND	ND	0,4892	ND	11,1889	
Peixes	ND	1,5380	1,3055	0,0725	ND	ND	0,0263	0,1749	2,7772	0,0290	0,3368	0,0386	ND	ND	0,3300	ND	2,9147	
<b>PT4</b>																		
Peixes	ND	1,9763	0,8840	0,3014	ND	0,0311	0,1043	0,3906	6,7534	0,0991	0,4777	0,0259	0,0377	ND	0,2739	ND	12,6119	
<b>PT5</b>																		
Crustáceos	0,1188	22,1264	6,0418	0,0658	ND	0,0226	0,0503	4,7304	18,0666	0,0183	0,4588	0,0506	0,0519	ND	0,4470	ND	9,9555	
Peixes	ND	1,0273	0,6722	0,1883	ND	ND	0,0987	0,1548	2,5441	0,0880	0,3393	0,0347	ND	ND	0,3748	ND	2,8678	
<b>PT6</b>																		
Crustáceos	ND	12,5392	11,5101	0,0414	ND	ND	0,0313	5,5299	10,1428	0,0397	0,4616	0,0342	ND	ND	1,0371	ND	10,8050	
Peixes	0,0675	5,0530	2,0854	0,0675	ND	ND	0,1919	0,1924	11,8972	0,0381	0,5751	0,0340	0,0700	ND	0,3091	ND	2,8655	
<b>PT7</b>																		
Moluscos	0,0751	11,8614	5,9259	0,0543	0,2250	ND	0,1462	9,7157	10,4043	0,0490	0,4689	0,0704	0,0289	ND	0,8462	ND	10,8161	
Crustáceos	ND	7,2179	16,1587	0,0738	ND	ND	0,0319	3,4147	6,1860	0,0670	0,2189	0,0251	0,0713	ND	0,8889	ND	10,3236	
Peixes	ND	1,4172	3,5858	0,0425	ND	ND	0,0697	0,2021	3,6919	0,0905	0,2752	0,0270	ND	ND	0,4497	ND	2,7573	
<b>PT8</b>																		
Moluscos	0,1056	9,0046	4,3968	0,0548	0,1646	ND	0,0407	7,4943	6,5181	0,0475	0,3247	0,0388	0,0240	ND	0,7254	ND	9,2812	
Crustáceos	ND	3,6777	16,8968	0,0793	ND	ND	0,0593	4,2461	3,1331	0,0591	0,1970	0,0254	ND	ND	0,8977	ND	10,5221	
Peixes	ND	1,3027	1,8454	0,0440	ND	ND	0,0537	0,1451	2,2896	0,0622	0,2228	0,0410	ND	ND	0,4139	ND	2,5990	

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral. ND = não detectado.

**Tabela 10. Média da concentração total dos EPTs, determinados pelo laboratório 3, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
Moluscos	ND	0,4180	1,4030	ND	0,0729	ND	0,1238	5,3029	4,5400	ND	0,1047	ND	ND	ND	0,3080	ND	5,5900
Crustáceos	ND	85,1426	6,1290	0,1026	ND	ND	0,1535	6,7561	6,0411	0,0511	0,2048	0,3335	0,0963	ND	0,7985	8,2500	9,6879
Peixes	1,0000	5,3199	2,4705	0,1541	1,0000	1,0000	0,0965	2,4286	5,5605	0,1466	0,4144	0,3895	0,2458	0,5565	0,7050	0,5353	2,3294
<b>PT2</b>																	
Moluscos	ND	1,3400	0,6322	0,0946	ND	ND	ND	5,1267	4,1192	ND	1,8663	ND	0,0899	ND	0,5190	ND	5,6717
Crustáceos	3,0000	4,1850	6,6494	1,0504	3,0000	3,0000	0,5566	5,6217	3,4271	1,0349	0,4853	1,2988	0,8007	3,0000	1,2400	3,0000	8,7278
Peixes	ND	48,0073	0,8342	0,1140	ND	ND	0,1781	2,1682	5,7904	0,0837	0,2288	0,3476	0,0845	ND	0,4389	6,6650	2,0469
<b>PT3</b>																	
Moluscos	0,1550	5,7525	0,8965	0,1280	0,1929	ND	0,2363	5,1913	4,2634	ND	1,2100	0,6550	0,26615	ND	0,5982	7,4500	5,4481
Crustáceos	3,0000	111,5753	6,6095	2,0170	3,0000	3,0000	0,7457	4,8340	8,7617	3,0000	1,8621	1,4259	2,42200	3,0000	1,3910	3,0000	9,0410
Peixes	ND	9,1848	0,9734	0,1412	ND	ND	0,0887	2,8837	4,3467	0,0660	0,2603	0,2720	0,07010	ND	0,5403	ND	1,9338
<b>PT4</b>																	
Peixes	ND	0,8310	0,7085	0,2311	ND	0,0605	0,1059	4,0906	4,4802	0,1912	0,4452	0,5385	0,1033	ND	0,7357	0,9257	10,1046
<b>PT5</b>																	
Crustáceos	ND	7,8880	3,8518	0,1107	ND	ND	0,1070	7,3276	4,5329	0,0905	0,4380	0,4553	0,1970	ND	0,8252	ND	7,3994
Peixes	ND	ND	0,6013	0,2082	ND	ND	0,1462	3,7655	6,4782	0,0745	0,2265	0,3317	0,0644	ND	0,5194	ND	2,0304
<b>PT6</b>																	
Crustáceos	ND	9,5350	8,3230	0,0826	ND	ND	0,1205	5,8370	15,3127	0,0700	0,9132	0,2460	0,1090	ND	1,0855	ND	8,0225
Peixes	ND	17,0163	1,5915	0,0732	ND	ND	0,1422	3,4382	6,6069	0,0546	0,3165	0,4006	0,0781	ND	0,8770	ND	2,4116
<b>PT7</b>																	
Moluscos	0,0621	84,1000	4,0975	ND	0,1159	ND	0,1375	11,2000	4,3100	0,0773	0,3085	0,7350	0,1786	ND	1,0030	ND	8,9725
Crustáceos	1,0000	19,6558	11,6362	0,2259	1,0000	1,0000	0,1065	5,9060	6,3335	0,0728	0,2127	0,5035	0,2603	1,0000	1,1940	1,0000	8,8500
Peixes	ND	60,1850	2,9773	0,3280	ND	0,0679	0,1245	2,4244	6,7451	0,1847	0,2905	0,6613	0,0755	ND	0,7211	2,1750	2,4233
<b>PT8</b>																	
Moluscos	ND	2,5650	2,9700	ND	0,0837	ND	0,1482	7,1286	8,5243	0,0900	0,1636	0,3830	0,0737	ND	0,5240	ND	7,7529
Crustáceos	ND	9,5330	12,0409	0,1465	ND	ND	0,1089	6,4643	6,8025	0,0762	0,1945	0,3869	0,0805	ND	0,8366	5,3505	9,3348
Peixes	ND	4,8925	1,5226	0,0644	ND	ND	0,1744	4,0662	4,4630	0,1014	0,1786	0,3432	0,0583	ND	0,9385	0,1650	1,9024

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral. ND = não detectado.

**Tabela 11. Limites de quantificação para os elementos potencialmente tóxicos (EPTs) avaliados em cada um dos laboratórios acreditados e responsáveis pela realização dos ensaios**

Elementos	Limites de quantificação (mg.kg <sup>-1</sup> )		
	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 3
Ag	0,0025	0,05	0,05
Al	0,5	0,5	0,05
As	0,0025	0,01	0,05
Ba	0,05	0,05	0,05
Cd	0,0025	0,05	0,05
Co	0,0025	0,05	0,05
Cr	0,005	0,05	0,05
Cu	0,025	0,5	0,05
Fe	0,5	0,5	0,05
Hg	0,0025	0,009	0,05
Mn	0,05	0,1	0,05
Ni	0,005	0,1	0,05
Pb	0,0025	0,05	0,05
Sb	0,0025	0,05	0,05
Se	0,025	0,5	0,05
Sn	0,0025	0,1	0,05
Zn	0,5	5	0,05

A coloração das células indica o gradiente entre os limites de quantificação (LQ) dos laboratórios acreditados e responsáveis pelas análises de EPTs. Células de coloração vermelha indicam maior limite de quantificação (LQ). Células em branco correspondem aos elementos cujos LQs são idênticos.

Apesar das diferenças nos limites de quantificação existente entre os laboratórios, em todos os pontos amostrados, os elementos Al, As, Cu, Fe e Zn apresentaram concentrações médias acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup> (média da concentração de todos os elementos que possuem limites legislados no Brasil), exceto no PT 4 (estuário do rio Doce), onde a concentração de Al esteve abaixo de 1 mg.kg<sup>-1</sup> de acordo com o laboratório 3. A concentração de As esteve abaixo de 1 mg.kg<sup>-1</sup> no PT 4, segundo os resultados apresentados pelos laboratórios 2 e 3 e, a concentração de Cu também esteve abaixo de 1 mg.kg<sup>-1</sup> neste mesmo ponto segundo os resultados apresentados pelos laboratórios 1 e 2 (Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14, respectivamente). Apesar disso, de acordo com o laboratório 1, a concentração de Se no PT 7 (Pontal do Ipiranga) esteve acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>, assim como as concentrações dos elementos Ag, Cd, Co e Sb dos pontos 2 e 3 e dos elementos Hg e Pb no PT 3 (Vila do Riacho), de acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 3 (Tabela 12 e Tabela 14, respectivamente).

**Tabela 12. Média da concentração total dos EPTs, determinada pelo laboratório 1, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1	0,0023	7,1540	8,2871	0,0321	0,0127	0,0050	0,0315	2,6759	5,5683	0,0782	0,2645	0,0149	0,0061	0,0026	0,5950	0,0030	8,9552
PT2	0,0017	6,5098	4,8005	0,8163	0,0037	0,0081	0,0314	1,6402	7,3074	0,0617	0,9417	0,0138	0,0095	0,0010	0,5924	0,0018	7,3891
PT3	0,0026	7,0080	4,7463	0,0966	0,0154	0,0074	0,0265	1,8669	5,1739	0,0474	0,8591	0,0118	0,0088	0,0011	0,5518	0,0015	7,8602
PT4	0,0003	1,8677	1,3376	0,2137	0,0021	0,0109	0,0165	0,3397	5,8253	0,1329	0,6247	0,0034	0,0035	0,0003	0,5443	0,0013	16,2863
PT5	0,0057	10,0553	2,8356	0,0926	0,0010	0,0075	0,0335	2,3070	8,1474	0,0736	0,4189	0,0269	0,0063	0,0009	0,6508	0,0019	7,7497
PT6	0,0048	12,8354	6,0572	0,0358	0,0007	0,0086	0,0282	1,8356	9,3242	0,0585	0,5274	0,0151	0,0049	0,0016	0,9180	0,0014	7,6796
PT7	0,0040	4,1465	9,6491	0,0342	0,0062	0,0057	0,0209	1,5697	4,7939	0,1757	0,3047	0,0131	0,0087	0,0012	1,0504	0,0012	7,8377
PT8	0,0063	5,2699	6,5954	0,0560	0,0063	0,0054	0,0446	1,4809	11,5145	0,0882	0,3552	0,0108	0,0064	0,0009	0,9775	0,0019	7,0659

Células vermelhas correspondem a concentrações acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>; as células amarelas a concentrações entre 0,5 e 1 mg.kg<sup>-1</sup> e, as células verdes a concentrações abaixo de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 13. Média da concentração total dos EPTs, determinada pelo laboratório 2, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1	ND	4,2270	5,2868	0,0515	0,1764	ND	0,0554	2,1182	4,4142	0,0557	0,2236	0,0449	ND	ND	0,3615	ND	7,0994
PT2	ND	4,4250	3,1541	0,0802	0,0303	0,0276	0,1939	1,1533	4,7807	0,0271	0,5013	0,1247	0,0271	ND	0,3645	ND	5,6373
PT3	0,0366	3,6018	3,2928	0,0624	0,0869	ND	0,0364	1,5385	4,8677	0,0218	0,6703	0,0328	0,0221	ND	0,3471	ND	5,7466
PT4	ND	1,9763	0,8840	0,3014	ND	0,0311	0,1043	0,3906	6,7534	0,0991	0,4777	0,0259	0,0377	ND	0,2739	ND	12,6119
PT5	0,1188	10,7215	3,1393	0,1304	ND	0,0226	0,0836	2,3155	9,6760	0,0560	0,3942	0,0442	0,0519	ND	0,4080	ND	6,1243
PT6	0,0675	7,8780	5,6419	0,0573	ND	ND	0,1398	2,2066	11,2352	0,0387	0,5323	0,0341	0,0700	ND	0,5838	ND	5,8616
PT7	0,0751	3,5085	7,7871	0,0544	0,2250	ND	0,0635	1,8408	4,7884	0,0811	0,2650	0,0330	0,0431	ND	0,6098	ND	5,5656
PT8	0,1056	2,5087	5,8904	0,0633	0,1646	ND	0,0498	2,3877	2,8340	0,0603	0,2242	0,0360	0,0240	ND	0,5618	ND	5,1435

Células vermelhas correspondem a concentrações acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>; as células amarelas a concentrações entre 0,5 e 1 mg.kg<sup>-1</sup> e, as células verdes a concentrações abaixo de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>. ND=não detectado

**Tabela 14. Média da concentração total dos EPTs, determinada pelo laboratório 3, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1	1,0000	49,3935	3,9328	0,1344	0,3819	1,0000	0,1261	4,3514	5,7267	0,1428	0,2914	0,3622	0,1671	0,5565	0,7309	3,1068	6,1077
PT2	3,0000	28,8199	2,3122	0,2871	3,0000	3,0000	0,3106	3,3098	4,9096	0,3032	0,7452	0,5379	0,4034	3,0000	0,7337	5,4433	4,4538
PT3	2,4310	67,2033	2,3671	0,8025	1,4405	3,0000	0,3861	3,8328	5,4775	1,2396	0,9411	0,8139	1,2853	3,0000	0,8789	3,8900	4,7677
PT4	ND	0,8310	0,7085	0,2311	ND	0,0605	0,1059	4,0906	4,4802	0,1912	0,4452	0,5385	0,1033	ND	0,7357	0,9257	10,1046
PT5	ND	7,8880	2,0948	0,1789	ND	ND	0,1281	5,4021	5,4307	0,0755	0,3775	0,3729	0,1086	ND	0,6504	ND	4,9747
PT6	ND	13,2756	4,1317	0,0763	ND	ND	0,1327	4,3434	9,5995	0,0623	0,5403	0,3426	0,0859	ND	0,9751	ND	4,7495
PT7	0,5311	35,8387	5,8500	0,2642	0,4106	0,3786	0,1184	3,9300	6,4676	0,1496	0,2631	0,6301	0,1697	1,0000	0,9126	1,8813	5,0754
PT8	ND	5,8859	4,3547	0,1172	0,0837	ND	0,1509	4,9172	5,5931	0,0939	0,1760	0,3621	0,0668	ND	0,8548	3,6220	4,8454

Células vermelhas correspondem a concentrações acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>; as células amarelas a concentrações entre 0,5 e 1 mg.kg<sup>-1</sup> e, as células verdes a concentrações abaixo de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>. ND=não detectado

Dos elementos que apresentam concentrações totais médias acima de  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Ag, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Pb, Sb e Zn), apenas As, Cd, Hg e Pb possuem limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira para contaminantes inorgânicos em alimentos (ANVISA, 1998; 2013; Tabela 2 e Tabela 3). Destes, somente o As teve seu limite máximo violado de acordo com os resultados obtidos em todos laboratórios, para todos os pescados capturados e em todos os pontos amostrais, exceto no PT 4 que, de acordo com os resultados obtidos pelos laboratórios 2 e 3, apresentaram concentrações que não violaram a legislação. A média de violação identificada para o As, de acordo com os três laboratórios, variou entre 169 (PT 5, Foz do rio Doce) a 676% (PT 7, Pontal do Ipiranga), o que equivale a concentrações médias de As entre  $2,69$  a  $7,76 \text{ mg.kg}^{-1}$  de peso úmido (Tabela 15). De acordo com os resultados obtidos por cada um dos laboratórios, as concentrações desse elemento violaram os limites permitidos pela legislação entre 34 (PT 4, estuário do rio Doce) a 865% (PT 7, Pontal do Ipiranga) para o laboratório 1; entre 214 (PT 5) a 679% (PT 7), de acordo com o laboratório 2 e, entre 109 (PT 5) a 485% (PT 7), para o laboratório 3 (Tabela 15). É válido ressaltar, porém, que de acordo com o laboratório 3, a média dos elementos Cd, Hg e Pb também violaram os limites estabelecidos pela legislação brasileira para os pescados, sendo que o Cd violou os limites em 44 (PT 3, Vila do Riacho) e 200% (PT2) e os elementos Hg e Pb violaram os limites legislados em 24 e 29%, respectivamente, no PT 3 (Tabela 14).

**Tabela 15. Média da concentração total de arsênio ([As] em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais e porcentagem de violação (%) em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada ou todos os laboratórios**

	Média da [As] no laboratório 1	%	Média da [As] no laboratório 2	%	Média da [As] no laboratório 3	%	Média da [As] entre laboratórios	%
PT1	8,2871±0,8273	729	5,2868±0,4758	429	3,9328±0,4189	293	5,8356	484
PT2	4,8005±0,7226	380	3,1541±0,4613	215	2,3122±0,3648	131	3,4223	242
PT3	4,7463±0,6544	375	3,2928±0,4258	229	2,3671±0,3192	137	3,4687	247
PT4	1,3376±0,2051	34	0,8840±0,1313	-	0,7085±0,1398	-	0,9767	-
PT5	2,8356±0,4499	184	3,1393±0,5477	214	2,0948±0,3491	109	2,6899	169
PT6	6,0572±0,6824	506	5,6419±0,6720	464	4,1317±0,5224	313	5,2769	428
PT7	9,6491±0,8178	865	7,7871±0,6582	679	5,8500±0,5143	485	7,7621	676
PT8	6,5954±0,7266	560	5,8904±0,7145	489	4,3547±0,5126	335	5,6135	461

Dados apresentados em média±erro padrão da média. Células coloridas de amarelo correspondem às médias da concentração de arsênio em cada um dos pontos amostrais e às porcentagens de violação aos limites legislados se consideradas as médias dos resultados obtidos em todos os laboratórios.

A análise de especiação de As, por sua vez, indicou que das 605 amostras analisadas nesta campanha, 26,28% apresentaram As nas formas inorgânicas III ( $As^{3+}$ ) ou V ( $As^{5+}$ ). Deste montante, 23,31% apresentaram  $As^{3+}$ , 5,95%  $As^{5+}$  e, 2,98% das amostras apresentaram as duas espécies de As. O  $As^{3+}$  foi determinado nas amostras de todos os pontos, exceto no PT 4 (estuário do rio Doce). As médias das concentrações desta espécie de As variaram entre 0,0490 no PT 3 (Vila do Riacho) a 0,1189  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido (PU) no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu). O  $As^{5+}$  foi determinado nas amostras dos pontos 1, 6 (sul de Degredo), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri), com concentrações que variaram entre 0,0365 no PT 6 a 0,0863  $mg.kg^{-1}$  PU no PT 1. A concentração total de As inorgânico, por sua vez, variou entre 0,0490 no PT 3 a 0,2052  $mg.kg^{-1}$  PU no PT 1 (Tabela 16).

**Tabela 16. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) em  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido) e concentração total de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$  em  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico
PT1	0,1189	0,0863	0,2052
PT2	0,0562	ND	0,0562
PT3	0,0490	ND	0,0490
PT4	ND	ND	ND
PT5	0,0731	ND	0,0731
PT6	0,0521	0,0365	0,0886
PT7	0,0780	0,0529	0,1309
PT8	0,0793	0,0379	0,1173

ND = não determinado

Dados sobre a ocorrência de As nos alimentos demonstram que peixes e frutos do mar representam mais de 90% da exposição total a este elemento através da alimentação. A presença de As, em associação com o consumo de água contaminada e a inalação de ar contaminado, contribuem significativamente para a exposição e risco humano causado pelo elemento. As espécies de As, assim como a sua forma elementar, são tóxicas. Devido a isso, o As tem sido classificado pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (International Agency for Research on Cancer - IARC) como pertencente ao grupo 1, grupo dos elementos carcinogênicos. No entanto, a toxicidade é dependente do seu estado de valência, ou seja, aumenta em função da valência, tal como:  $As(0) < As(III) < As(V)$ . Sabe-se, inclusive, que a forma inorgânica  $As^{3+}$  (arsenito) é cerca de 60 vezes mais tóxica que a forma inorgânica  $As^{5+}$  (arsenato) (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; DENOBILE, 2007; WHO, 2011; NAVIN et al., 2013; BASTOS DA SILVA; BARRIO; MOREIRA, 2014; CARNEIRO et al. 2018; IARC, 2018; BYRNS; PENNING, 2019).

Diante destas informações, é importante salientar que as amostras de pescado analisadas nesta campanha, além de apresentarem concentrações que violaram os limites máximos de As total

estabelecido na legislação, apresentaram uma porcentagem significativa de As inorgânico e, especialmente, de  $As^{3+}$ , ou seja, a forma mais tóxica de As. No Brasil, não existem limites máximos estabelecidos para as formas inorgânicas de As, seja para a concentração total de As inorgânico ou para cada uma das formas inorgânicas ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) isoladamente. Na China, o limite máximo de As inorgânico em pescado foi estabelecido em  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  (NSPRC, 2013). Em comparação ao limite máximo estabelecido na China, as concentrações totais de As inorgânico determinadas nos pescados capturados nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri), superariam o limite.

De acordo com o Comitê Conjunto de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO/WHO (JECFA), o limite máximo de ingestão diária de As inorgânico deve estar entre  $0,1 - 3 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$  de peso corporal, ou seja, entre  $0,0001 - 0,003 \text{ mg.kg}^{-1}$  por dia. Assim, se considerarmos o valor médio estabelecido, um adulto com peso corporal de 60 kg pode consumir no máximo  $0,093 \text{ mg.kg}^{-1}$  de As inorgânico por dia (JECFA FAO/WHO, 2011). Deste modo, quando os resultados obtidos são convertidos em porcentagens para a identificação da representatividade dentro do limite máximo permitido pela legislação internacional, identificou-se que, para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), os pescados capturados no PT 1 apresentaram concentrações que ultrapassaram 50% do limite máximo diário estabelecido. Nos demais pontos, a ingesta de uma única porção de 309 g corresponderia entre 16,29 (PT 1) a 43,49% (PT 7) do limite diário, enquanto que a ingesta de uma única porção de 60 g corresponderia entre 3,16 (PT 3) a 13,24% (PT 1) do limite máximo diário estabelecido pela regulamentação internacional (Tabela 17).

No entanto, se considerada as doses de referência para ingestão oral crônica estabelecidas para As inorgânico pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a) e pela Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR, 2016), que correspondem a referências mais recentes e mais restritivas, portanto, protetivas e cujo limite máximo estabelecido é de  $0,0003 \text{ mg.kg}^{-1}$  de As inorgânico por dia, um adulto com peso corporal de 60 kg poderia consumir, no máximo,  $0,018 \text{ mg.kg}^{-1}$  por dia. Neste caso, quando os resultados obtidos são convertidos em porcentagens para a identificação da representatividade dentro do limite máximo permitido pela legislação internacional, identificou-se que, para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), os pescados capturados nos pontos 1, 5, 6, 7 e 8 apresentaram concentrações que ultrapassaram o limite máximo diário estabelecido em porcentagens que variaram de 125,57 a 352,30%. Nos pontos 2 e 3 a ingesta de uma única porção de 309 g corresponderia a 96,54 (PT 2) e 84,19% (PT 3) do limite diário, respectivamente, enquanto que a ingesta de uma única porção

de 60 g corresponderia entre 16,35 (PT 3) a 68,41% (PT 1) do limite máximo diário estabelecido pelas regulamentações internacionais (Tabela 17).

Neste sentido, devido ao arsênio ser extremamente perigoso e nocivo para a saúde humana e, principalmente, levando-se em consideração que o consumo de pescado não é a única fonte de exposição humana ao As nas localidades avaliadas, sugere-se o monitoramento da concentração desse elemento em recursos pesqueiros nas regiões, bem como, o monitoramento de outras potenciais fontes de contaminação para uma melhor avaliação do risco à população.

**Tabela 17. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico em pescados capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido por regulamentações internacionais, considerando porções 60 e 309 g**

	JECFA FAO/WHO (2011)		US EPA (2016a); ATSDR (2016)	
	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	13,24	68,19	68,41	352,30
PT2	3,63	18,69	18,75	96,54
PT3	3,16	16,29	16,35	84,19
PT4	ND	ND	ND	ND
PT5	4,72	24,30	24,38	125,57
PT6	5,72	29,45	29,54	152,15
PT7	8,45	43,49	43,63	224,71
PT8	7,56	38,96	39,08	201,29

ND = não determinado

Além das espécies de As, a análise de especiação de Hg demonstrou que, apesar das concentrações totais de Hg não terem sido violadas em relação a legislação vigente no país, exceto pelos resultados apresentados pelo laboratório 3, 99,67% das amostras avaliadas apresentaram este elemento em sua forma orgânica, denominada metilmercúrio (MeHg). O MeHg foi determinado em pescados de todos os pontos amostrais com concentrações que variaram entre 0,0180 no PT 3 (Vila do Riacho) a 0,0670 mg.kg<sup>-1</sup> no PT 7 (Pontal do Ipiranga) (Tabela 18).

**Tabela 18. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais**

	MeHg
PT1	0,0381
PT2	0,0218
PT3	0,0180
PT4	0,0653
PT5	0,0402
PT6	0,0281
PT7	0,0670
PT8	0,0434

O Hg é um elemento extremamente perigoso e com alto poder cumulativo e de biomagnificação (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; MIRANDA et al., 2007; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). O MeHg é a forma mais tóxica do Hg, uma vez que possui alta estabilidade, solubilidade e propriedades iônicas que favorecem sua penetração nas membranas de organismos vivos sendo, inclusive, capaz de atravessar as barreiras hematoencefálica e placentária, assim como ser excretado no leite materno. Grande parte ou, até mesmo, a totalidade do Hg quantificado em músculos de pescado está sob a forma de MeHg (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; MIRANDA et al., 2007; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). O pescado é, inclusive, a principal fonte de exposição alimentar ao MeHg (EFSA, 2012; US EPA, 2016). Apesar disso, não existe, na legislação brasileira vigente, limites máximos estabelecidos para MeHg, o que impede que as concentrações encontradas sejam comparadas aos valores máximos estabelecidos.

Porém, quando os resultados de MeHg obtidos para os diferentes pontos amostrais são convertidos em porcentagens para identificação da representatividade dentro do limite máximo permitido por dia pela legislação internacional (FAO/WHO, 2016), levando-se em consideração uma pessoa com peso corporal de 60 kg, identifica-se que com o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), o limite máximo diário de MeHg seria ultrapassado nos pontos amostrais 4 (estuário do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga) em 144,12 e 147,94%, respectivamente. Além disso, nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce), 6 (sul de Degredo) e 8 (Guriri), a representatividade determinada com base nos resultados de MeHg ultrapassa 50% do limite diário estabelecido internacionalmente (Tabela 19).

No entanto, se considerada a dose de referência estabelecida para MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016b), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva e, cujo valor é de  $0,0001 \text{ mg.kg}^{-1}$  por dia, um adulto com peso corporal de 60 kg poderia consumir, no máximo,  $0,006 \text{ mg.kg}^{-1}$  por dia. Neste caso, a conversão dos resultados obtidos retrata que o consumo de uma porção de 309 g de pescado faria com que o limite máximo diário de MeHg fosse ultrapassado em todos os pontos, exceto no ponto 3 (Vila do Riacho). O consumo de uma porção de 60 g de pescado, por sua vez, faria com que nos pontos 4 e 7 os resultados encontrados superassem 50% do limite máximo diário estabelecido internacionalmente (Tabela 19).

Como os riscos da exposição ao MeHg são consideráveis e, os danos à saúde, sobretudo ao sistema nervoso, irreversíveis, reforça-se a necessidade de monitoramento para uma melhor avaliação do risco à população.

**Tabela 19. Porcentagem de ingestão diária de metilmercúrio (MeHg) em pescados capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido pelas regulamentações internacionais, considerando-se porções 60 e 309 g**

	FAO/WHO, 2016		US EPA (2016b)	
	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	16,32	84,04	38,08	196,09
PT2	9,33	48,05	21,77	112,13
PT3	7,73	39,79	18,03	92,84
PT4	27,98	144,12	65,30	336,28
PT5	17,22	88,69	40,18	206,94
PT6	12,04	62,01	28,10	144,69
PT7	28,73	147,94	67,03	345,19
PT8	18,60	95,78	43,40	223,50

De todos os grupos taxonômicos avaliados, os moluscos foram os que acumularam maiores concentrações e um maior número de EPTs, seguidos de crustáceos e peixes (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10). As amostras desse grupo taxonômico foram compostas exclusivamente por lulas (moluscos cefalópodes) da espécie *Loligo sanpaulensis* (Tabela 1), que possui hábito alimentar carnívoro (SANTOS, 1999; ZALESKI, 2005). Organismos como os cefalópodes, que se posicionam no topo da cadeia alimentar, apresentam elevadas e tóxicas concentrações de EPTs, pois, adquirem grande carga desses elementos em decorrência do aumento progressivo dos mesmos ao longo dos diferentes níveis da cadeia trófica, processo esse, denominado biomagnificação (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; MORAIS, 2009; MANN et al., 2011; WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIENCHESKI et al., 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; YANCHEVA et al., 2015; FERNANDES et al., 2016; MACKAY et al., 2016; ALI; KHAN, 2018), exatamente como verificado neste estudo.

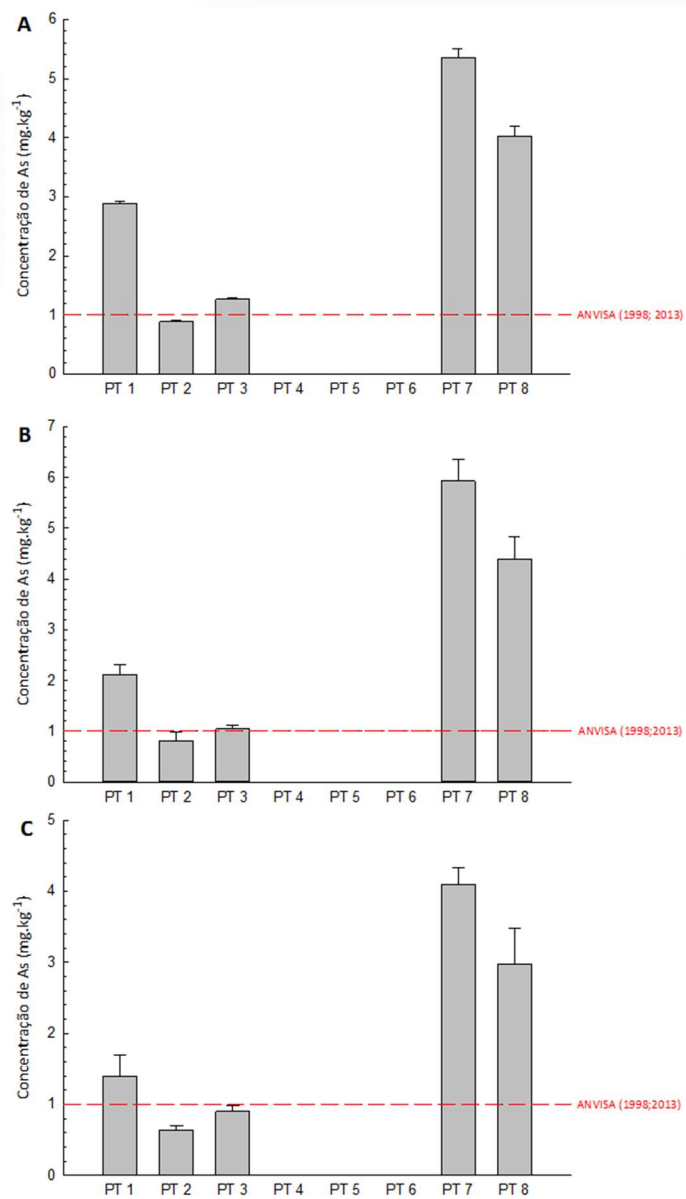
De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 1, dos 17 elementos avaliados, 9 (Ag, Al, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Sn) foram encontrados em maiores concentrações em tecido muscular desses organismos nos pontos onde eles foram capturados (Tabela 8). De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 2, 6 dos elementos avaliados (Ag, Al, Cd, Cr, Fe e Mn) foram encontrados em elevadas concentrações nesses organismos nos pontos onde eles foram capturados. No entanto, os elementos, Ba, Cu, Ni e Pb apresentaram elevadas concentrações em 2 dos 4 pontos onde esses organismos ocorreram, já os elementos Sb e Sn não foram quantificados em nenhum dos pontos ou grupos taxonômicos avaliados por este laboratório (Tabela 9). De acordo com os resultados obtidos pelo laboratório 3, 9 dos elementos avaliados (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Sn e Zn) foram encontrados em maiores concentrações em tecido muscular desses organismos nos pontos onde eles foram capturados (Tabela 10). A comparação entre os laboratórios indica que apenas os elementos Cu, Pb e Zn não ocorreram em pelo menos dos laboratórios. Destes, o Pb, apesar de ter sido detectado, não foi encontrado em elevadas concentrações em moluscos nos pontos onde estes organismos foram

capturados, enquanto o Cu apresentou elevadas concentrações em 3 dos 5 pontos onde esses organismos ocorreram e foi possível realizar a determinação do elemento. O elemento Zn foi encontrado em elevadas concentrações em 1 dos 5 pontos onde estes organismos ocorreram (Tabela 10).

Dos elementos cujos moluscos apresentaram elevadas concentrações, apenas Cd e Pb possuem limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira para contaminantes inorgânicos em alimentos (ANVISA, 1998; 2013 - Tabela 2 e Tabela 3). No entanto, embora as concentrações desses elementos tenham sido maiores em moluscos que nos demais grupos taxonômicos, as concentrações encontradas não violaram os limites legislados em nenhum dos pontos amostrais. Dentre os elementos não legislados, mas, que foram acumulados por estes organismos, as maiores concentrações foram registradas para Al, Fe e Mn, em ordens de grandeza que variaram entre 8,36 – 22,64; 9,00 – 12,15 e 0,42 – 84,10 mg.kg<sup>-1</sup> de Al; 7,18 – 35,04; 6,52 – 11,96 e 4,12 – 8,52 mg.kg<sup>-1</sup> de Fe; 0,41 – 6,82; 0,33 – 2,57 e 0,10 – 1,86 mg.kg<sup>-1</sup> de Mn, de acordo com os resultados obtidos pelos laboratórios 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10).

Embora não tenha sido um dos elementos mais acumulados pelos moluscos, os resultados de todos os laboratórios indicaram que estes organismos estão contaminados por As em todos os pontos amostrais, exceto nos pontos 4, 5 e 6 onde não foram capturados; no PT 2 (Barra do Riacho), de acordo com os laboratórios 1, 2 e 3, e, no PT 3 (Vila do Riacho), para o laboratório 3, onde as concentrações de As estão próximas (entre 0,6 - 0,9 mg.kg<sup>-1</sup>), mas, não atingiram o limite legislado (1 mg.kg<sup>-1</sup>). As porcentagens de violação em relação à legislação brasileira vigente variaram entre 27 (PT 3) a 436% (PT 7, Pontal do Ipiranga) de acordo com o laboratório 1, entre 4 (PT 3) a 493% (PT 7) de acordo com o laboratório 2 e, entre 40 (PT 1, foz do Piraquê-Açu) e 310% (PT 7) de acordo com o laboratório 3. Assim, de acordo com os resultados dos três laboratórios, dentre os pontos avaliados, os pontos 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri) foram onde os moluscos apresentaram maior concentração e, conseqüentemente, maior contaminação por este elemento (Figura 5; Tabela 20).

Figura 5. Média da concentração de arsênio (As;  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de peso úmido) determinada em moluscos (lulas) pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a primeira campanha



Dados apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

**Tabela 20. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em moluscos em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral, de acordo com cada um dos laboratórios**

Pontos	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 3
	% violação	% violação	% violação
PT 1	189	111	40
PT 2	-	-	-
PT 3	27	4	-
PT 4	NA	NA	NA
PT 5	NA	NA	NA
PT 6	NA	NA	NA
PT 7	436	493	310
PT 8	302	340	197

NA = não amostrado; traço = ausência de violação ao limite legislado

Quando os resultados obtidos para moluscos são convertidos em porcentagens para a identificação da representatividade dentro dos limites máximos permitidos por dia, pelas regulamentações nacionais (ANVISA, 2018b) e internacionais (FAO/WHO, 2016; US EPA, 2019), para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), foi possível identificar que o elemento As ultrapassou o limites diários, nacional e internacional, em todos os pontos amostrais, de acordo com os resultados obtidos por todos os laboratórios. Além do As, a porcentagem de Cd também ultrapassou o limite diário internacional para todos os pontos amostrais de acordo com os resultados obtidos nos três laboratórios, exceto o PT 2 (Barra do Riacho) que não teve as concentrações de Cd determinadas pelo laboratório 3. Do mesmo modo, o limite diário nacional também foi ultrapassado para o PT 1 (foz do Piraquê-Açu), de acordo com o laboratório 1; para os pontos 1 (Foz do Piraquê-Açu), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri) de acordo com o laboratório 2 e, para o PT 3 (Vila do Riacho) de acordo com o laboratório 3.

Ainda, de acordo com os resultados do laboratório 1, o limite internacional foi ultrapassado para o Mn no PT 2 (Barra do Riacho) e para o Se no PT 8. De acordo com o laboratório 2, o elemento Cu ultrapassou o limite internacional para o PT 7. De acordo com o laboratório 3, o elemento Cu ultrapassou o limite nacional para o PT 7, o elemento Hg ultrapassou o limite internacional para os pontos 7 e 8 e o elemento Se ultrapassou o limite internacional para o PT 7. Além disso, para os elementos Cd, Cu, Hg e Se (segundo o laboratório 1), Cd, Cr, Cu, Hg e Se (segundo o laboratório 2) e Cd, Cu, Hg e Se (segundo o laboratório 3), há vários pontos onde a representatividade desses elementos ultrapassou 50% do limite diário estabelecido nacional e internacionalmente (Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23).

**Tabela 21. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn		Pb	Sb	Se		Sn	Zn		
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034				0,21		0,32		120	18		
IN								0,25	8,97		34,31				1,66							29,59		
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4			0,024	0,3			18		
PT1	0,38	15,08	495,95	4959,49	0,06	125,56	1046,36	7,86	28,21	9,43	4,62	6,46	16,02	30,26	1,51	7,66	2,42	1,00	47,48	44,51	0,0013	22,11	13,45	22,11
PT2	0,42	40,81	151,95	1519,53	0,49	20,01	166,72	10,88	17,12	5,73	22,56	31,56	23,25	43,91	25,08	126,93	4,95	1,39	24,65	23,11	0,0008	19,44	11,83	19,44
PT3	0,69	37,71	217,56	2175,59	0,20	44,51	370,92	4,47	20,83	6,97	6,68	9,34	14,14	26,72	9,49	48,02	3,50	0,52	33,63	31,52	0,0006	17,98	10,94	17,98
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	3,17	18,31	919,34	9193,39	0,06	73,49	612,38	3,54	48,08	16,08	6,87	9,61	22,90	43,26	1,56	7,91	4,34	1,01	99,53	93,31	0,0002	18,25	11,10	18,25
PT8	3,04	23,77	689,58	6895,78	0,09	45,82	381,86	35,22	51,79	17,32	20,85	29,17	43,29	81,77	2,68	13,58	2,86	1,10	104,21	97,69	0,0004	18,07	10,99	18,07

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). NA = não amostrado.

**Tabela 22. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn		Pb	Sb	Se		Sn	Zn		
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034				0,21		0,32		120	18		
IN								0,25	8,97		34,31				1,66							29,59		
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4			0,024	0,3			18		
PT1	ND	21,91	362,82	3628,24	0,25	108,99	908,23	35,53	18,53	6,20	6,57	9,20	17,61	33,27	1,45	7,32	ND	ND	29,38	27,55	ND	15,45	9,40	15,45
PT2	ND	13,63	138,22	1382,18	0,32	18,73	156,09	95,75	9,89	3,31	7,70	10,77	15,74	29,73	9,47	47,91	3,14	ND	16,22	15,21	ND	16,17	9,84	16,17
PT3	3,77	18,90	178,61	1786,11	0,16	53,68	447,34	7,23	15,80	5,29	7,35	10,28	10,22	19,30	8,04	40,67	3,25	ND	22,30	20,90	ND	11,56	7,03	11,56
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	7,73	21,38	1017,28	10172,82	0,14	139,08	1158,99	18,07	100,07	33,47	6,70	9,37	44,51	84,08	1,72	8,73	4,26	ND	87,15	81,71	ND	18,57	11,29	18,57
PT8	10,87	16,23	754,79	7547,89	0,14	101,71	847,59	5,03	77,19	25,82	4,20	5,87	43,21	81,63	1,19	6,04	3,53	ND	74,72	70,05	ND	15,93	9,69	15,93

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). NA = não amostrado; ND = não determinado.

**Tabela 23. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034			0,21		120		18				
IN								0,25	8,97		34,31				1,66			0,32			29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4		0,024	0,3			18			
PT1	ND	0,75	240,85	2408,48	ND	45,05	375,44	15,30	54,62	18,27	2,92	4,09	ND	ND	0,39	1,95	ND	ND	31,72	29,74	ND	9,60	5,84	9,60
PT2	ND	2,42	108,52	1085,22	0,24	ND	ND	ND	52,80	17,66	2,65	3,71	ND	ND	6,87	34,74	13,23	ND	53,46	50,12	ND	9,74	5,92	9,74
PT3	15,97	10,37	153,90	1538,99	0,33	119,19	993,23	29,21	53,47	17,88	2,74	3,84	ND	ND	4,45	22,52	39,16	ND	61,61	57,76	1,92	9,35	5,69	9,35
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	6,40	151,62	703,40	7034,04	ND	71,60	596,63	17,00	115,36	38,58	2,77	3,88	70,21	132,61	1,13	5,74	26,28	ND	103,31	96,85	ND	15,40	9,37	15,40
PT8	ND	4,62	509,85	5098,50	ND	51,73	431,06	18,32	73,42	24,56	5,49	7,68	81,79	154,50	0,60	3,04	10,84	ND	53,97	50,60	ND	13,31	8,10	13,31

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). NA = não amostrado; ND = não determinado.

Porém, mesmo quando a menor porção de molusco foi considerada (60 g), foi possível identificar que a quantidade do elemento As representou mais do que 100% do limite diário nacional nos pontos 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri), de acordo com os laboratório 1 e 2, e apenas no PT 7, de acordo com o laboratório 3, mas, ultrapassando 100% do limite diário internacional em todos os pontos, conforme resultados apresentados pelos três laboratórios. A porcentagem de Cd também ultrapassou o limite diário internacional para os pontos 1 e 7, de acordo com o laboratório 1, para os pontos 1, 7 e 8, de acordo com o laboratório 2 e, para os pontos 3 e 7 de acordo com o laboratório 3 (Tabela 24, Tabela 25 e Tabela 26).

Se considerados os resultados obtidos pelo laboratório 3, os elementos Cd e Hg também ultrapassaram os limites máximos diários nacional e/ou internacional. O elemento Cd ultrapassou os limites diários nos pontos 1, 3, 7 e 8 se o consumo de pescado for o equivalente a uma porção de 309 g, e nos pontos 3 e 7 se a porção for de 60 g. O elemento Hg, por sua vez, violou o limite máximo diário nos pontos 7 e 8 se o consumo de pescado for o equivalente a 309 g (Tabela 23 e Tabela 26).

**Tabela 24. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034			0,21		0,32		120	18			
IN								0,25	8,97		34,31				1,66						29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4		0,024	0,3				18		
PT1	0,07	2,93	96,30	963,01	0,01	24,38	203,18	1,53	5,48	1,83	0,90	1,26	3,11	5,88	0,29	1,49	0,47	0,19	9,22	8,64	0,00026	4,29	2,61	4,29
PT2	0,08	7,92	29,51	295,06	0,10	3,88	32,37	2,11	3,32	1,11	4,38	6,13	4,51	8,53	4,87	24,65	0,96	0,27	4,79	4,49	0,00016	3,78	2,30	3,78
PT3	0,13	7,32	42,24	422,44	0,04	8,64	72,02	0,87	4,04	1,35	1,30	1,81	2,75	5,19	1,84	9,32	0,68	0,10	6,53	6,12	0,00011	3,49	2,12	3,49
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	0,62	3,56	178,51	1785,12	0,01	14,27	118,91	0,69	9,34	3,12	1,33	1,87	4,45	8,40	0,30	1,54	0,84	0,20	19,33	18,12	0,00005	3,54	2,16	3,54
PT8	0,59	4,62	133,90	1338,99	0,02	8,90	74,15	6,84	10,06	3,36	4,05	5,66	8,41	15,88	0,52	2,64	0,56	0,21	20,23	18,97	0,0001	3,51	2,13	3,51

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). NA = não amostrado.

**Tabela 25. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034			0,21		0,32		120	18			
IN								0,25	8,97		34,31				1,66						29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4		0,024	0,3				18		
PT1	ND	4,25	70,45	704,51	0,05	21,16	176,35	6,90	3,60	1,20	1,28	1,79	3,42	6,46	0,28	1,42	ND	ND	5,71	5,35	ND	3,00	1,83	3,00
PT2	ND	2,65	26,84	268,39	0,06	3,64	30,31	18,59	1,92	0,64	1,49	2,09	3,06	5,77	1,84	9,30	0,61	ND	3,15	2,95	ND	3,14	1,91	3,14
PT3	0,73	3,67	34,68	346,82	0,03	10,42	86,86	1,40	3,07	1,03	1,43	2,00	1,98	3,75	1,56	7,90	0,63	ND	4,33	4,06	ND	2,24	1,36	2,24
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	1,50	4,15	197,53	1975,30	0,03	27,01	225,05	3,51	19,43	6,50	1,30	1,82	8,64	16,33	0,33	1,69	0,83	ND	16,92	15,87	ND	3,61	2,19	3,61
PT8	2,11	3,15	146,56	1465,61	0,03	19,75	164,58	0,98	14,99	5,01	0,81	1,14	8,39	15,85	0,23	1,17	0,69	ND	14,51	13,60	ND	3,09	1,88	3,09

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 26. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3	48			0,034			0,21				120	18			
IN								0,25	8,97	34,31					1,66				0,32			29,59		
EPA	0,3			0,018	12		0,006							0,018	8,4		0,024	0,3					18	
PT1	ND	0,15	46,77	467,67	ND	8,75	72,90	2,97	10,61	3,55	0,57	0,79	ND	ND	0,07	0,38	ND	ND	6,16	5,78	ND	1,86	1,13	1,86
PT2	ND	0,47	21,07	210,72	0,05	ND	ND	ND	10,25	3,43	0,51	0,72	ND	ND	1,33	6,75	2,57	ND	10,38	9,73	ND	1,89	1,15	1,89
PT3	3,1	2,01	29,88	298,83	0,06	23,14	192,86	5,67	10,38	3,47	0,53	0,75	ND	ND	0,86	4,37	7,60	ND	11,96	11,22	0,37	1,82	1,10	1,82
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	1,24	29,44	136,58	1365,83	ND	13,90	115,85	3,30	22,40	7,49	0,54	0,75	13,63	25,75	0,22	1,12	5,10	ND	20,06	18,81	ND	2,99	1,82	2,99
PT8	ND	0,90	99,00	990,00	ND	10,04	83,70	3,56	14,26	4,77	1,07	1,49	15,88	30,00	0,12	0,59	2,11	ND	10,48	9,82	ND	2,58	1,57	2,58

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

É muito importante mencionar que todas as espécies químicas, essenciais ou não, apresentam a potencialidade de causar efeitos prejudiciais, os quais são referidos como adversos ou tóxicos (OMS, 2008). Dos elementos mais acumulados por estes organismos, ou que possuem maior representatividade em relação aos limites diários estabelecidos nacional e internacionalmente, Al, As, Cd, Cu e Hg são reconhecidamente tóxicos, uma vez que não possuem qualquer função metabólica e que seus efeitos sobre a biota normalmente são deletérios (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; EISLER, 2000; WOOD, 2012; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; ALI; KHAN; 2018). Os elementos Cr, Fe, Mn e Se, embora sejam considerados essenciais, pois, são importantes para a fisiologia e como constituintes de vários organismos vivos (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; EISLER, 2000; WOOD, 2012; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014), em elevadas concentrações podem ser considerados tóxicos (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; NRIAGU, 1988; EISLER, 2000; ANDRADE, 2003; FERREIRA, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; MORAIS, 2009; SILVA, 2010; WOOD, 2012; SALES, 2013; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; MAIA, 2017).

Apesar disso, para uma melhor avaliação quanto a toxicidade, análises de especiação foram realizadas para os elementos As e Hg, elementos altamente tóxicos à saúde humana e de reconhecida capacidade de serem bioacumulados e biomagnificados (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; MIRANDA et al., 2007; JECFA FAO/WHO, 2011; WHO, 2011; EFSA, 2012; WOOD, 2012; NAVIN et al., 2013; BASTOS DA SILVA; BARRIO; MOREIRA, 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; ALI; KHAN; 2018; IARC, 2018). A análise de especiação de As nas formas inorgânicas  $As^{3+}$  e  $As^{5+}$  indicaram a ocorrência apenas da forma  $As^{3+}$ , a qual foi determinada em moluscos capturados nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 3 (Vila do Riacho), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri). As concentrações variaram entre 0,0730 no PT 3 a 0,3076  $mg.kg^{-1}$  (de peso úmido - PU) no PT 7. É importante ressaltar que os moluscos foram os organismos que apresentaram as maiores concentrações de  $As^{3+}$ , com concentrações entre 0,0730 a 0,3076  $mg.kg^{-1}$  PU. A análise de especiação de Hg na forma de MeHg, por sua vez, indicou a ocorrência desta forma em todos os pontos, exceto nos pontos 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce) e 6 (sul de Degredo) onde estes organismos não foram capturados. As concentrações de MeHg variaram entre 0,0085 no PT 3 a 0,0407  $mg.kg^{-1}$  PU no PT 7 (Tabela 27).

**Tabela 27. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e da forma orgânica de mercúrio (MeHg), em  $mg \cdot kg^{-1}$  de peso úmido, determinadas em moluscos (lulas) capturados em cada um dos pontos amostrais**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico	MeHg
PT 1	0,1586	ND	0,1586	0,0141
PT 2	ND	ND	ND	0,0136
PT 3	0,0730	ND	0,0730	0,0085
PT 4	NA	NA	NA	NA
PT 5	NA	NA	NA	NA
PT 6	NA	NA	NA	NA
PT 7	0,3076	ND	0,3076	0,0407
PT 8	0,1780	ND	0,1780	0,0396

NA = não amostrado; ND = não determinado

Quando estas concentrações foram convertidas em porcentagens para identificação da representatividade de As inorgânico e MeHg dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações internacionais (JECFA FAO/WHO, 2011; FAO/WHO, 2016, respectivamente), o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), faria com que no ponto 7 (Pontal do Ipiranga) as concentrações de As inorgânico violassem o limite máximo diário, enquanto nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 8 (Guriri) corresponderiam a mais que 50% dos limites máximos estabelecidos internacionalmente. O mesmo pôde ser identificado para o MeHg nos pontos 7 e 8, cujos valores também correspondem a mais que 50% dos limites máximos estabelecidos. O consumo de 60 g de moluscos não violaria os limites máximos estabelecidos para As inorgânico (porcentagens entre 4,71 a 19,85) e para MeHg (porcentagens entre 3,64 a 17,45) (Tabela 28).

No entanto, se consideradas as doses de referência estabelecidas para As inorgânico e MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a; b, respectivamente), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de molusco levaria a violação do limite máximo diário estabelecido para As inorgânico nos pontos 1, 3 (Vila do Riacho), 7 e 8 e, para MeHg nos pontos 7 e 8. Além disso, nos pontos 1 e 2 (Barra do Riacho) as concentrações de MeHg ultrapassariam 50% dos limites máximos estabelecidos. O consumo de 60 g de moluscos, no entanto, levaria a violação do limite máximo estabelecido apenas para As inorgânico e, somente no ponto 7, todavia, nos pontos 1 e 8 ainda superariam 50% dos limites máximos estabelecidos (Tabela 28). Porém, é importante lembrar que estes elementos são cumulativos e, ao longo do tempo os mesmos podem trazer malefícios à saúde humana, especialmente, porque o consumo de moluscos não é a única fonte de exposição a estes elementos.

**Tabela 28. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico (As<sup>3+</sup> + As<sup>5+</sup>) e metilmercúrio (MeHg) presentes em moluscos capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

	JECFA FAO/WHO (2011); FAO/WHO (2016)				US EPA (2016a); US EPA (2016b)			
	As inorgânico		MeHg		As inorgânico		MeHg	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	10,23	52,68	6,04	31,13	52,85	272,19	14,10	72,63
PT2	ND	ND	5,82	29,95	ND	ND	13,57	69,89
PT3	4,71	24,24	3,64	18,74	24,32	125,24	8,49	43,73
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	19,85	102,21	17,45	89,87	102,54	528,10	40,72	209,70
PT8	11,49	59,15	16,97	87,41	59,35	305,63	39,61	203,97

NA = não amostrado; ND = não determinado

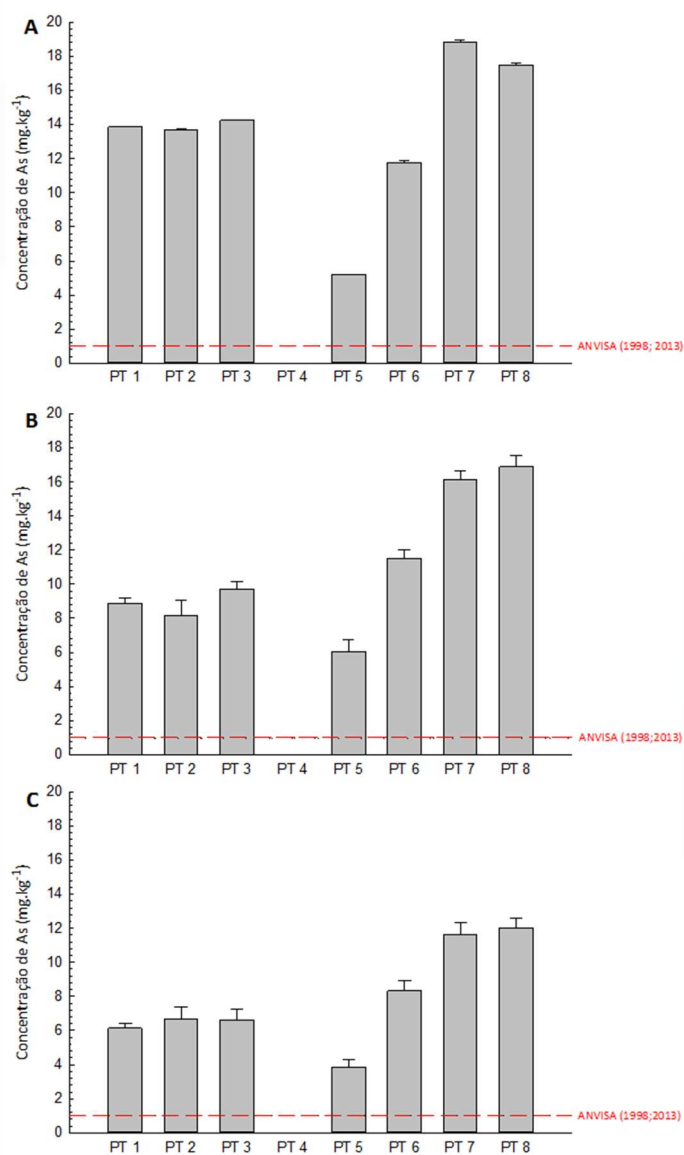
Devido a isso e, por estes organismos integrarem a dieta de várias espécies marinhas, assim como constituírem importantes recursos pesqueiros (SANTOS, 1999; ZALESKI, 2005; FAO 2019), o fato de apresentarem elevadas concentrações totais de EPTs, bem como concentrações de espécies de As inorgânico e MeHg acima de 50% dos limites máximos estabelecidos em regulamentações internacionais, indica a contaminação destes organismos por estes elementos e, conseqüentemente, o risco de contaminação aos diferentes organismos que deles se alimentam, incluindo seres humanos. Se considerados apenas os resultados de representatividade destes elementos para uma porção de 309 g, considerada como compatível com o hábito de consumo de pescado pela população (ANVISA, 2019), os riscos à saúde humana são consideráveis, pois, para vários dos elementos e espécies químicas, os limites máximos diários foram violados ou estiveram muito próximos de serem violados.

Para os crustáceos, de acordo com os resultados analíticos obtidos pelo laboratório 1, 7 (As, Ba, Co, Cu, Sb, Se e Zn), dos 17 EPTs avaliados estiveram presentes em maiores concentrações nesses organismos nos pontos onde eles foram capturados. De acordo com o laboratório 2, 6 (As, Co, Cu, Pb, Se e Zn) dos 17 EPTs estiveram presentes em maiores concentrações nesses organismos nos pontos onde eles foram capturados, uma vez que o Sb e Sn não foram quantificados em nenhum ponto ou grupo taxonômico por este laboratório. No entanto, de acordo com o laboratório 3 todos os elementos estiveram presentes em maiores concentrações nesses organismos na maior parte dos pontos onde eles foram capturados (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10).

Dos elementos identificados em maiores concentrações nos crustáceos por todos os laboratórios, apenas o As possui limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira, no que diz respeito a contaminantes inorgânicos em alimentos (ANVISA, 1998; 2013 - Tabela 2 e Tabela 3). Os crustáceos ultrapassaram o limite máximo estabelecido pela legislação em todos os pontos onde foram amostrados. Os crustáceos foram, inclusive, os organismos que apresentaram os maiores percentuais

de violação dos limites legislados para esse elemento, os quais variaram entre 419 (PT 5, foz do rio Doce) a 1.784% (PT 7, Pontal do Ipiranga), de acordo com o laboratório 1; 504 (PT 5) a 1.590% (PT 8, Guriri) de acordo com o laboratório 2 e, 285 (PT 5) a 1.104% (PT 8) de acordo com o laboratório 3. Apesar de em todos os pontos onde esses organismos foram capturados terem violado os limites legislados e apresentarem contaminação por este elemento, os pontos que apresentaram as maiores concentrações de As e, conseqüentemente, maior contaminação, foram os pontos 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri), de acordo com os laboratórios 1, 2 e 3 (Figura 6 e Tabela 29), justamente, pontos que estão fora da área de proibição da pesca (Figura 1).

Figura 6. Média da concentração de arsênio (As;  $\text{mg.kg}^{-1}$  de peso úmido) determinada em crustáceos (camarões) pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a primeira campanha



Dados apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

**Tabela 29. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em crustáceos (camarões) em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998;2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios**

Pontos	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 3
	% violação	% violação	% violação
PT 1	1287	788	513
PT 2	1267	776	565
PT 3	1325	847	561
PT 4	NA	NA	NA
PT 5	419	504	285
PT 6	1077	1051	732
PT 7	1784	1516	1064
PT 8	1651	1590	1104

NA = não amostrado

É importante mencionar que as concentrações de As encontradas no presente estudo, quando comparadas às concentrações determinadas em estudos pretéritos, realizados em algumas das localidades amostradas (Santa Cruz, Barra do Riacho, Barra Seca e Barra Nova) alguns meses após o desastre (entre 2 e 5 meses) (ECONSERVATION, 2016; FAURG, 2016, respectivamente), encontraram-se mais elevadas (Tabela 30). Do mesmo modo, dentre os elementos mais acumulados em elevadas concentrações pelos crustáceos (ou seja, As, Ba, Co, Cu, Sb, Se e Zn), apenas o Sb não apresentou maiores concentrações, uma vez que o mesmo não havia sido avaliado nos estudos pretéritos. Os elementos Ag, Cr, Hg, Ni e Pb também apresentaram maiores concentrações nesse estudo que nos previamente realizados, porém, o aumento das concentrações desses elementos não ocorreu em todos os pontos amostrais, em alguns foi possível notar redução nessas concentrações (Tabela 30).

Da mesma maneira, quando os resultados obtidos no presente estudo foram comparados com os resultados obtidos pela Rede Rio Doce Mar (2019) em algumas localidades (Santa Cruz/Aracruz, foz do rio Doce e Degredo) nos anos de 2018 e 2019, entre 2 e 4 anos após o desastre, também identificou-se que as concentrações de As determinadas no presente estudo foram superiores. Esse resultado pode estar relacionado ao fato dos animais terem sido capturados em localidades diferentes ou, ainda, em decorrência da diferença temporal ser compatível com o fato deste elemento ser altamente cumulativo (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; DENOBILE, 2007; WHO, 2011; NAVIN et al., 2013; BASTOS DA SILVA; BARRIO; MOREIRA, 2014; CARNEIRO et al. 2018; IARC, 2018; BYRNS; PENNING, 2019). O mesmo padrão pode ser evidenciado para o Hg, elemento que também se acumula facilmente ao longo do tempo na biota (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; MIRANDA et al., 2007; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014) (Tabela 31). Dentre os demais elementos determinados em elevadas concentrações em crustáceos no presente estudo, os elementos Ba, Co, Sb e Se não foram

determinados pela RRDM (2019), enquanto que os elementos Cu e Zn apresentaram variações entre as concentrações ao longo do tempo, com resultados do presente estudo menores, ou em concentrações intermediárias às encontradas nos períodos avaliados no trabalho da RRDM (2019).

É importante mencionar que a variabilidade nas concentrações dos elementos, especialmente reduções que possam ter ocorrido, não representam menor risco a estes organismos ou àqueles que deles se alimentam. A disponibilidade e a toxicidade dos elementos no ambiente é altamente variável e dependente de fatores ambientais abióticos, como, por exemplo, temperatura, pH, dureza e fluxo da água, além de fatores inerentes ao organismo, especialmente, hábitos, habitats e tempo e história de vida (PACHECO; SANTOS, 2002; ANDRADE, 2003; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; RIBEIRO et al., 2005; QUEIROZ, 2006; PINTILIE et al., 2007; DI GIULIO; HINTON, 2008; VAREJÃO, 2008; MORAIS, 2009; GUPTA et al., 2009; RHODES, 2010; PEREIRA et al., 2010; MACEDA-VEIGA et al., 2013; SOUZA et al., 2015; YANCHEVA et al., 2015).

Além disso e, especialmente no ambiente aquático, os EPTs passam por diferentes transformações químicas, especialmente complexação com outros elementos e substâncias presentes na coluna d'água, o que acabam influenciando a disponibilidade e, conseqüentemente, quantificação desses elementos (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; CHAPMAN et al., 1996; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; RHODES, 2010; SILVA, 2010; SARMIENTO et al., 2011; SALES, 2013; SOUZA et al., 2015; IBAMA, 2016). Levando-se estes aspectos em consideração e, ainda, ressaltando-se o fato destes organismos serem bentônicos (que vivem no fundo), as maiores concentrações dos EPTs evidenciadas nas campanhas realizadas pela RRDM (2019) nos meses de janeiro/fevereiro de 2019, e no presente estudo, nos meses de março/abril coincidiram com um período de pouca precipitação, o que favorece que EPTs se decantem e se associem ao sedimento de fundo, ficando menos disponíveis na coluna d'água (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; CHAPMAN et al., 1996; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; RHODES, 2010; SILVA, 2010; SARMIENTO et al., 2011; SALES, 2013; SOUZA et al., 2015; IBAMA, 2016).

**Tabela 30. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em tecido muscular de crustáceos (camarões), capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 e 5 meses após o desastre**

Elementos (mg.kg <sup>-1</sup> PU)	Econservation (2016) <sup>1</sup>						FAURG (2016) <sup>1,2,3,4</sup>	LACTEC (2019) <sup>1,2,4</sup>							
	Barra Nova	Barra Seca	Regência		Barra do Riacho	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce*	Santa Cruz/Aracruz	Barra do Riacho	Vila do Riacho	Estuário rio Doce	Foz do rio Doce	Degredo	P. Ipiranga/Barra seca	Guriri/Barra Nova
Alumínio (Al)	31,5	43,3	ND	36,1	33,9	15,0	ND	34,275	5,345	39,646	NA	16,843	16,157	10,814	7,636
Antimônio (Sb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,002	1,501	1,501	NA	0,001	0,003	0,501	0,002
Arsênio (As)	8,7	8,9	ND	8,9	7,7	4,6	0,19	9,628	9,696	10,108	NA	5,029	10,533	15,544	15,484
Bário (Ba)	0,10	0,07	ND	0,16	0,10	0,03	ND	0,058	1,301	0,692	NA	0,078	0,058	0,117	0,130
Cádmio (Cd)	0,004	0,004	ND	0,006	0,005	0,007	0,005	0,004	1,501	1,501	NA	0,002	0,002	0,501	0,001
Chumbo (Pb)	0,02	0,02	ND	0,02	0,06	0,02	0,04	0,051	0,402	1,214	NA	0,087	0,059	0,113	0,042
Cobalto (Co)	0,01	0,01	ND	0,02	0,01	0,02	ND	0,006	1,013	1,506	NA	0,017	0,011	0,503	0,008
Cobre (Cu)	3,9	4,6	ND	4,4	3,8	2,7	3,7	5,609	4,889	4,791	NA	5,645	5,320	4,380	4,861
Cromo (Cr)	0,05	0,06	ND	0,06	0,06	0,03	0,17	0,076	0,198	0,266	NA	0,063	0,065	0,052	0,064
Estanho (Sn)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,126	1,501	1,501	NA	0,003	0,001	0,501	2,677
Ferro (Fe)	28,1	28,7	ND	36,4	31,9	15,5	30,6	6,238	4,572	5,588	NA	12,512	14,244	5,779	5,661
Manganês (Mn)	0,97	0,79	ND	0,74	0,65	0,59	0,53	,	0,308	0,763	NA	0,487	0,703	0,237	0,253
Mercurio (Hg)	0,02	0,02	ND	0,01	0,01	0,02	ND	0,037	0,367	1,022	NA	0,048	0,063	0,078	0,074
Níquel (Ni)	0,03	0,03	ND	0,03	0,03	0,03	ND	0,178	0,445	0,491	NA	0,181	0,102	0,181	0,143
Prata (Ag)	0,01	0,01	ND	0,01	0,01	0,01	ND	0,002	1,501	1,501	NA	0,063	0,009	0,502	0,008
Selênio (Se)	0,85	0,75	ND	0,68	0,54	0,38	ND	0,648	0,855	0,905	NA	0,648	1,255	1,191	1,047
Zinco (Zn)	9,6	10,2	ND	12,2	9,4	11,9	ND	12,352	11,552	11,579	NA	10,107	10,946	11,170	11,145

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, no presente estudo quando comparadas às concentrações determinadas pelos estudos da Econservation (2016) e/ou FAURG (2016). Números sobrescritos ao lado das referências correspondem as espécies de camarões avaliadas em cada um dos estudos, a saber: 1 - *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas); 2 - *Farfantepenaeus paulensis* (camarão rosa); 3 - *Farfantepenaeus brasiliensis* (camarão rosa); 4 - *Litopenaeus schmidt* (camarão branco). O asterisco ao lado da descrição do ponto amostral da referência FAURG (2016) indica que esses dados representam médias obtidas para as quatro espécies de camarões capturadas em todos os pontos amostrais dessa referência bibliográfica. ND = não determinado; NA = não amostrado. Os resultados do Lactec representam médias dos resultados obtidos pelos três laboratórios que analisaram as amostras.

**Tabela 31. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em tecido muscular de crustáceos (camarões), capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 anos e 4 anos após o desastre**

Elementos (mg.kg <sup>-1</sup> PU)	RRDM (2019) <sup>1,2,3</sup>						LACTEC (2019) <sup>1,2,4</sup>		
	setembro/outubro de 2018 (2 anos e 11 meses)*			janeiro/fevereiro de 2019 (3 anos e 3 meses)*			março/abril de 2019 (3 anos e 4 meses)		
	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo
Alumínio (Al)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	34,275	16,843	16,157
Antimônio (Sb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,002	0,001	0,003
Arsênio (As)	1,019	0,360	0,136	0,019	0,204	0,010	9,628	5,029	10,533
Bário (Ba)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,058	0,078	0,058
Cádmio (Cd)	0,061	0,050	0,610	0,575	0,212	0,020	0,004	0,002	0,002
Chumbo (Pb)	0,026	0,014	0,128	0,002	0,017	0,006	0,051	0,087	0,059
Cobalto (Co)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,006	0,017	0,011
Cobre (Cu)	5,805	4,018	2,670	7,725	0,914	5,800	5,609	5,645	5,320
Cromo (Cr)	1,875	1,454	0,100	0,049	0,116	0,141	0,076	0,063	0,065
Estanho (Sn)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,126	0,003	0,001
Ferro (Fe)	4,780	7,180	4,280	4,085	76,366	1,430	6,238	12,512	14,244
Manganês (Mn)	0,600	0,730	0,750	0,740	0,998	0,660	,	0,487	0,703
Mercúrio (Hg)	0,006	0,006	0,004	0,005	0,001	0,003	0,037	0,048	0,063
Níquel (Ni)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,178	0,181	0,102
Prata (Ag)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,002	0,063	0,009
Selênio (Se)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,648	0,648	1,255
Zinco (Zn)	10,325	10,242	6,190	10,405	5,560	14,590	12,352	10,107	10,946

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, em cada um dos estudos realizados. Números sobrescritos ao lado das referências correspondem as espécies de camarões avaliadas em cada um dos estudos, a saber: 1 - *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas); 2 - *Farfantepenaeus paulensis* (camarão rosa); 3 - *Farfantepenaeus braziliensis* (camarão rosa); 4 - *Litopenaeus schmidt* (camarão branco). O asterisco ao lado da descrição das datas amostrais da referência RRDM (2019) indica que esses dados representam médias obtidas os pontos de captura dos organismos na mesma localidade. ND = não determinado. Resultados apresentados pelo Lactec correspondem a médias dos resultados obtidos pelos três laboratórios que avaliaram as amostras.

Quando as concentrações dos diferentes EPTs avaliados em crustáceos foram convertidas em porcentagens e comparadas aos limites máximos de referência para ingestão diária, estabelecidos pelas regulamentações nacional (ANVISA, 2018b) e internacionais (OMS/FAO, 2016; US EPA, 2019), foi possível identificar que tanto os elementos acumulados em maiores concentrações, quanto os que, aparentemente, não haviam sido acumulados em concentrações elevadas nesses organismos, ultrapassaram os limites máximos diários estabelecidos.

Para uma porção de 309 g de crustáceos, as concentrações de As representariam, em todos os pontos amostrais, entre 892 e 32.335% acima dos limites máximos estabelecidos nacional e/ou internacionalmente, se considerado os resultados obtidos pelo laboratório 1 (Tabela 32); entre 1.037 a 29.006%, se considerados os resultados obtidos pelo laboratório 2 (Tabela 33) e, entre 661 a 20.670% se considerados os resultados obtidos pelo laboratório 3 (Tabela 34). O Se apresentaria concentrações superiores aos limites estabelecidos, tanto nacional quanto internacionalmente, nos pontos 6 (sul de Degredo), 7 (Pontal de Ipiranga) e 8 (Guriri), se considerados os resultados apresentados pelo laboratório 1; apenas no ponto 6, se considerados os resultados do laboratório 2 e, nos pontos 2 (Barra do Riacho), 3 (Vila do Riacho), 6 e 7 se considerados os resultados apresentados pelo laboratório 3. Ainda, de acordo com essa avaliação, o Hg superaria os limites diários internacionais nos pontos 6, 7 e 8, de acordo com os resultados do laboratório 1; nos pontos 7 e 8, de acordo com os resultados do laboratório 2 e, nos pontos 2, 3 (limite nacional), 5, 6, 7 e 8 (limite internacional) se considerados os resultados apresentados pelo laboratório 3 (Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34). Além desses elementos, os limites diários internacionais seriam ultrapassados para Pb nos pontos 2 e 3 e, para Ag e Sb nos pontos 2, 3 e 7, de acordo com o laboratório 3 (Tabela 34). Adicionalmente, para os elementos Cr, Cu, Hg e Se, o consumo de 309 g de crustáceos, em diferentes pontos, faria com que os limites máximos diários estabelecidos nacional ou internacionalmente fossem superiores a 50% (Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34).

**Tabela 32. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn		Pb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034				0,21			120	18			
IN								0,25	8,97		34,31				1,66			0,32			29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4	0,024		0,3			18			
PT1	0,22	20,65	2381,26	23812,58	0,09	2,60	21,64	4,56	61,47	20,56	4,62	6,47	33,44	63,17	1,09	5,50	0,72	2,37	74,48	69,82	0,0006	26,58	16,17	26,58
PT2	0,12	9,03	2347,22	23472,21	7,25	1,03	8,56	2,40	55,81	18,66	2,43	3,40	45,32	85,61	0,81	4,11	0,41	2,59	84,95	79,64	0,0006	25,73	15,65	25,73
PT3	0,21	8,82	2446,00	24460,00	0,07	1,09	9,10	2,58	56,40	18,86	2,65	3,70	46,98	88,74	0,87	4,39	0,97	2,75	85,99	80,62	0,0004	24,90	15,15	24,90
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	0,79	36,98	891,62	8916,22	0,15	1,15	9,60	3,90	50,23	16,80	9,62	13,45	32,88	62,10	2,08	10,53	1,69	1,80	69,24	64,92	0,0008	22,26	13,54	22,26
PT6	0,97	47,59	2019,90	20198,97	0,13	0,95	7,93	5,47	47,30	15,82	11,12	15,56	72,01	136,02	2,70	13,69	1,21	3,91	169,31	158,73	0,0004	24,05	14,63	24,05
PT7	0,35	10,04	3233,46	32334,62	0,14	1,19	9,90	2,23	39,33	13,15	3,10	4,34	84,34	159,31	1,03	5,21	1,07	3,32	153,62	144,01	0,0004	24,61	14,97	24,61
PT8	0,87	17,48	3006,37	30063,73	0,42	0,68	5,67	2,92	39,90	13,34	4,54	6,35	79,88	150,88	1,35	6,84	0,63	2,97	144,86	135,80	0,0009	23,31	14,18	23,31

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 33. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn		Pb	Sb	Se		Sn	Zn		
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034				0,21				120	18		
IN								0,25	8,97		34,31				1,66				0,32			29,59		
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4			0,024	0,3			18		
PT1	ND	11,23	1525,24	15252,41	0,09	ND	ND	4,76	42,26	14,13	3,53	4,94	21,85	41,28	0,85	4,31	ND	ND	43,42	40,71	ND	20,40	12,41	20,40
PT2	ND	12,33	1504,48	15044,81	0,10	ND	ND	2,20	37,36	12,50	4,19	5,87	13,94	26,33	0,80	4,07	ND	ND	51,42	48,20	ND	18,78	11,42	18,78
PT3	ND	4,45	1625,13	16251,32	0,09	ND	ND	3,76	41,86	14,00	2,50	3,50	13,04	24,64	0,71	3,58	ND	ND	50,39	47,24	ND	19,21	11,68	19,21
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	12,24	39,89	1037,17	10371,73	0,17	ND	ND	6,21	48,72	16,30	11,63	16,27	16,63	31,42	1,69	8,54	7,64	ND	46,04	43,16	ND	17,09	10,40	17,09
PT6	ND	22,61	1975,90	19759,02	0,11	ND	ND	3,86	56,96	19,05	6,53	9,13	36,10	68,19	1,70	8,59	ND	ND	106,82	100,14	ND	18,55	11,28	18,55
PT7	ND	13,01	2773,92	27739,17	0,19	ND	ND	3,94	35,17	11,76	3,98	5,57	60,87	114,98	0,81	4,07	10,49	ND	91,56	85,84	ND	17,72	10,78	17,72
PT8	ND	6,63	2900,62	29006,22	0,20	ND	ND	7,33	43,74	14,63	2,02	2,82	53,74	101,50	0,72	3,67	ND	ND	92,47	86,69	ND	18,06	10,99	18,06

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 34. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034			0,21				120	18			
<b>IN</b>								0,25	8,97		34,31				1,66			0,32			29,59			
<b>EPA</b>	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4		0,024	0,3			18			
PT1	ND	153,50	1052,15	10521,51	0,26	ND	ND	18,97	69,59	23,27	3,89	5,44	46,44	87,72	0,75	3,81	14,17	ND	82,25	77,11	2,12	16,63	10,12	16,63
PT2	309,00	7,54	1141,49	11414,88	2,70	1854,00	15450,00	68,80	57,90	19,37	2,21	3,09	940,57	1776,64	1,79	9,03	117,82	3862,50	127,72	119,74	0,77	14,98	9,11	14,98
PT3	309,00	201,15	1134,63	11346,31	5,19	1854,00	15450,00	92,16	49,79	16,65	5,64	7,89	2726,47	5150,00	6,85	34,66	356,38	3862,50	143,27	134,32	0,77	15,52	9,44	15,52
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	ND	14,22	661,22	6612,20	0,29	ND	ND	13,22	75,47	25,24	2,92	4,08	82,25	155,36	1,61	8,15	28,99	ND	84,99	79,68	ND	12,70	7,73	12,70
PT6	ND	17,19	1428,78	14287,82	0,21	ND	ND	14,89	60,12	20,11	9,86	13,79	63,62	120,17	3,36	17,00	16,04	ND	111,81	104,82	ND	13,77	8,38	13,77
PT7	103,00	35,44	1997,55	19975,47	0,58	618,00	5150,00	13,16	60,83	20,34	4,08	5,70	66,19	125,02	0,78	3,96	38,30	1287,50	122,98	115,30	0,26	15,19	9,24	15,19
PT8	ND	17,19	2067,02	20670,16	0,38	ND	ND	13,46	66,58	22,27	4,38	6,13	69,27	130,84	0,72	3,62	11,85	ND	86,16	80,78	1,38	16,02	9,75	16,02

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

Mesmo o consumo de uma porção menor de crustáceo (60 g) faria com que os limites diários de As, estabelecidos nacional e internacionalmente, fossem ultrapassados em todos os pontos, conforme demonstrado pelos resultados obtidos pelos três laboratórios (Tabela 35, Tabela 36 e Tabela 37). Além disso, se considerados os resultados dos cálculos de representatividade realizados com base nos dados apresentados pelo laboratório 3, os limites diários estabelecidos nacional e/ou internacionalmente seriam ultrapassados para Cd e Sb nos pontos 2, 3 e 7 e para Hg nos pontos 2 e 3. Ainda, para os elementos Ag (nos pontos 2 e 3) e Pb (no ponto 3) a representatividade ultrapassa 50% do limite diário estabelecido nacional e internacionalmente (Tabela 37).

**Tabela 35. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn										
CODEX	17,14	0,18			0,05		3	48	0,034		0,21			120	18										
IN						0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59										
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18										
PT1	0,04	4,01	462,38	4623,80	0,02	0,50	4,20	0,89	11,93	3,99	0,90	1,26	6,49	12,27	0,21	1,07	0,14	0,46	14,46	13,56	0,0001	5,16	3,14	5,16	
PT2	0,02	1,75	455,77	4557,71	1,41	0,20	1,66	0,47	10,84	3,62	0,47	0,66	8,80	16,62	0,16	0,80	0,08	0,50	16,49	15,46	0,0001	5,00	3,04	5,00	
PT3	0,04	1,71	474,95	4749,52	0,01	0,21	1,77	0,50	10,95	3,66	0,51	0,72	9,12	17,23	0,17	0,85	0,19	0,53	16,70	15,65	0,0001	4,84	2,94	4,84	
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	0,15	7,18	173,13	1731,30	0,03	0,22	1,86	0,76	9,75	3,26	1,87	2,61	6,38	12,06	0,40	2,04	0,33	0,35	13,45	12,61	0,0002	4,32	2,63	4,32	
PT6	0,19	9,24	392,21	3922,13	0,03	0,18	1,54	1,06	9,18	3,07	2,16	3,02	13,98	26,41	0,53	2,66	0,24	0,76	32,88	30,82	0,0001	4,67	2,84	4,67	
PT7	0,07	1,95	627,86	6278,57	0,03	0,23	1,92	0,43	7,64	2,55	0,60	0,84	16,38	30,93	0,20	1,01	0,21	0,65	29,83	27,96	0,0001	4,78	2,91	4,78	
PT8	0,17	3,39	583,76	5837,62	0,08	0,13	1,10	0,57	7,75	2,59	0,88	1,23	15,51	29,30	0,26	1,33	0,12	0,58	28,13	26,37	0,0002	4,53	2,75	4,53	

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). NA = não amostrado.

**Tabela 36. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn										
CODEX	17,14	0,18			0,05		3	48	0,034		0,21			120	18										
IN						0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59										
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18										
PT1	ND	2,18	296,16	2961,63	0,02	ND	ND	0,92	8,21	2,74	0,69	0,96	4,24	8,02	0,17	0,84	ND	ND	8,43	7,90	ND	3,96	2,41	3,96	
PT2	ND	2,39	292,13	2921,32	0,02	ND	ND	0,43	7,25	2,43	0,81	1,14	2,71	5,11	0,16	0,79	ND	ND	9,98	9,36	ND	3,65	2,22	3,65	
PT3	ND	0,86	315,56	3155,60	0,02	ND	ND	0,73	8,13	2,72	0,49	0,68	2,53	4,78	0,14	0,69	ND	ND	9,78	9,17	ND	3,73	2,27	3,73	
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	2,38	7,75	201,39	2013,93	0,03	ND	ND	1,21	9,46	3,16	2,26	3,16	3,23	6,10	0,33	1,66	1,48	ND	8,94	8,38	ND	3,32	2,02	3,32	
PT6	ND	4,39	383,67	3836,70	0,02	ND	ND	0,75	11,06	3,70	1,27	1,77	7,01	13,24	0,33	1,67	ND	ND	20,74	19,44	ND	3,60	2,19	3,60	
PT7	ND	2,53	538,62	5386,25	0,04	ND	ND	0,77	6,83	2,28	0,77	1,08	11,82	22,33	0,16	0,79	2,04	ND	17,78	16,67	ND	3,44	2,09	3,44	
PT8	ND	1,29	563,23	5632,28	0,04	ND	ND	1,42	8,49	2,84	0,39	0,55	10,43	19,71	0,14	0,71	ND	ND	17,95	16,83	ND	3,51	2,13	3,51	

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 37. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3		48		0,034			0,21				120	18			
IN								0,25	8,97		34,31				1,66				0,32		29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4		0,024	0,3			18			
PT1	ND	29,80	204,30	2043,01	0,05	ND	ND	3,68	13,51	4,52	0,76	1,06	9,02	17,03	0,15	0,74	2,75	ND	15,97	14,97	0,41	3,23	1,96	3,23
PT2	60,00	1,46	221,65	2216,48	0,53	360,00	3000,00	13,36	11,24	3,76	0,43	0,60	182,64	344,98	0,35	1,75	22,88	750,00	24,80	23,25	0,15	2,91	1,77	2,91
PT3	60,00	39,06	220,32	2203,17	1,01	360,00	3000,00	17,90	9,67	3,23	1,10	1,53	529,41	1000,00	1,33	6,73	69,20	750,00	27,82	26,08	0,15	3,01	1,83	3,01
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	ND	2,76	128,39	1283,92	0,06	ND	ND	2,57	14,66	4,90	0,57	0,79	15,97	30,17	0,31	1,58	5,63	ND	16,50	15,47	ND	2,47	1,50	2,47
PT6	ND	3,34	277,43	2774,33	0,04	ND	ND	2,89	11,67	3,90	1,91	2,68	12,35	23,33	0,65	3,30	3,11	ND	21,71	20,35	ND	2,67	1,63	2,67
PT7	20,00	6,88	387,87	3878,73	0,11	120,00	1000,00	2,56	11,81	3,95	0,79	1,11	12,85	24,28	0,15	0,77	7,44	250,00	23,88	22,39	0,05	2,95	1,79	2,95
PT8	ND	3,34	401,36	4013,62	0,07	ND	ND	2,61	12,93	4,32	0,85	1,19	13,45	25,41	0,14	0,70	2,30	ND	16,73	15,69	0,27	3,11	1,89	3,11

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

Além das concentrações totais e da representatividade dessas concentrações nos limites diários alimentares, as amostras de crustáceos foram submetidas a avaliação das concentrações das espécies de As ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e de MeHg. Estes organismos apresentaram a espécie  $As^{3+}$  em todos os pontos onde foram capturados, exceto no PT 6. As concentrações de  $As^{3+}$  variaram entre 0,0354 (PT 8) a 0,1678  $mg.kg^{-1}$  PU (PT 1 – foz do rio Piraquê-Açu). A espécie  $As^{5+}$  foi determinada apenas nos crustáceos capturados nos pontos 6 (sul de Degredo), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri) e com concentrações entre 0,0301 (PT 8) a 0,0485  $mg.kg^{-1}$  PU (PT 7). As concentrações médias de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) variaram entre 0,0314 (PT6) a 0,1678 (PT1)  $mg.kg^{-1}$  PU. O MeHg, por sua vez, foi determinado em todas as amostras de crustáceos, exceto no PT 4, onde estes organismos não foram capturados. As concentrações de MeHg variaram entre 0,0140 (pontos 2, 3 e 5) a 0,0378  $mg.kg^{-1}$  PU (PT 7) (Tabela 38).

**Tabela 38. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) e da forma orgânica de mercúrio (MeHg), em  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido, determinadas em crustáceos (camarões) capturados em cada um dos pontos amostrais**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico	MeHg
PT 1	0,1678	ND	0,1678	0,0151
PT 2	0,1143	ND	0,1143	0,0140
PT 3	0,0679	ND	0,0679	0,0140
PT 4	NA	NA	NA	NA
PT 5	0,0874	ND	0,0874	0,0140
PT 6	ND	0,0314	0,0314	0,0324
PT 7	0,0386	0,0485	0,0870	0,0378
PT 8	0,0354	0,0301	0,0655	0,0345

NA = não amostrado; ND = não determinado

Quando estas concentrações foram convertidas em porcentagens para a identificação da representatividade de As inorgânico e MeHg, dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações internacionais (JECFA FAO/WHO, 2011; FAO/WHO, 2016, respectivamente), o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), faria com que no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu) as concentrações de As inorgânico fossem superiores a 50% dos limites máximos estabelecidos internacionalmente, assim como também ocorreu para MeHg nos pontos 6 (sul de Degredo), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri). O consumo de 60 g de crustáceos não violaria os limites máximos estabelecidos nem para As inorgânico (porcentagens entre 2,02 a 10,82) nem para MeHg (porcentagens entre 5,99 a 16,19) (Tabela 39).

No entanto, se consideradas as doses de referência estabelecidas para As inorgânico e MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a; b, respectivamente), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de crustáceo levaria

a violação do limite máximo diário estabelecido para As inorgânico em todos os pontos amostrais, exceto nos pontos 4, onde estes organismos não foram capturados, e 6, onde as concentrações superam 50% do limite máximo estabelecido. Para MeHg, o consumo de 309 g de crustáceo levaria a violação do limite máximo estabelecido nos pontos 6, 7 e 8 e a superar 50% do limite máximo estabelecido nos pontos 1, 2, 3 e 5 (Tabela 39). O consumo de 60 g de crustáceo, no entanto, superaria 50% do limite máximo estabelecido para As inorgânico apenas no ponto 1, mas, não extrapolaria o limite máximo estabelecido para MeHg (Tabela 39). Mas, novamente, cabe a ressalva de que estes elementos são bioacumulados e biomagnificados, além de serem capazes de causar danos à saúde humana. Além disso, crustáceos não são as únicas fontes destes elementos à população local.

**Tabela 39. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) presentes em crustáceos (camarões) capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando-se porções de 60 e 309 g**

	JECFA FAO/WHO (2011); FAO/WHO (2016)				US EPA (2016a); US EPA (2016b)			
	As inorgânico		MeHg		As inorgânico		MeHg	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	10,82	55,74	6,48	33,37	55,92	288,01	15,12	77,86
PT2	7,38	37,98	6,00	30,88	38,11	196,25	13,99	72,06
PT3	4,38	22,57	5,99	30,84	22,64	116,61	13,97	71,96
PT4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5	5,64	29,04	5,99	30,86	29,13	150,04	13,98	72,00
PT6	2,02	10,43	13,91	71,61	10,46	53,87	32,45	167,10
PT7	5,62	28,92	16,19	83,37	29,01	149,42	37,77	194,53
PT8	4,23	21,77	14,80	76,22	21,84	112,46	34,53	177,84

NA = não amostrado

As amostras do grupo dos crustáceos foram compostas por camarões das espécies *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas); *Litopenaeus schmitti* (camarão branco) e *Farfantepenaeus paulensis* (camarão rosa), cujos gêneros integram a família Penaeidae, que possui os camarões mais capturados pela pesca artesanal e industrial e, com maior valor comercial (TARARAM et al., 1993; BRANCO; MORITZ JUNIOR, 2001; BOOS et al., 2016; ITIS, 2019). Desses, o camarão sete barbas foi o mais abundante e frequente, ocorrendo em todos os pontos amostrais, exceto no PT 4 (estuário do rio Doce), onde foram capturados apenas peixes. O camarão branco ocorreu nos pontos 1, 7 e 8, enquanto o camarão rosa ocorreu apenas no ponto 1. A espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas) foi a que apresentou as maiores concentrações para o maior número de elementos, nos pontos onde ocorreram mais de uma espécie de camarão (Tabela 40, Tabela 41 e Tabela 42).

**Tabela 40. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, para as diferentes espécies de camarões capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1																	
<i>F. paulensis</i>	0,0024	17,2785	15,4010	0,0396	0,0071	0,0057	0,0411	5,8177	9,8965	0,0389	0,3335	0,0215	0,0042	0,0018	0,6750	0,0013	15,4406
<i>L. schmitti</i>	0,0007	6,8817	11,3473	0,0212	0,0027	0,0046	0,0364	4,8916	4,3845	0,0206	0,2196	0,0225	0,0061	0,0015	0,5599	0,0037	15,5938
<i>X. kroyeri</i>	0,0029	9,5100	14,4580	0,0403	0,0027	0,0082	0,0334	6,9812	6,8666	0,0479	0,3203	0,0213	0,0052	0,0021	0,9009	0,0019	15,4419
PT2																	
<i>X. kroyeri</i>	0,0011	5,0103	13,6731	2,8143	0,0017	0,0125	0,0194	5,4180	3,7735	0,0499	0,2206	0,0112	0,0028	0,0020	0,8247	0,0021	14,9900
PT3																	
<i>X. kroyeri</i>	0,0021	4,8940	14,2485	0,0258	0,0018	0,0119	0,0208	5,4757	4,1112	0,0517	0,2358	0,0123	0,0066	0,0021	0,8349	0,0017	14,5065
PT4																	
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5																	
<i>X. kroyeri</i>	0,0077	20,5140	5,1939	0,0564	0,0019	0,0106	0,0315	4,8768	14,9377	0,0362	0,5656	0,0382	0,0115	0,0014	0,6723	0,0031	12,9671
PT6																	
<i>X. kroyeri</i>	0,0094	26,3973	11,7664	0,0502	0,0015	0,0112	0,0443	4,5918	17,2760	0,0792	0,7352	0,0255	0,0082	0,0030	1,6438	0,0014	14,0116
PT7																	
<i>L. schmitti</i>	0,0019	3,0496	13,7956	0,0105	0,0026	0,0035	0,0145	3,2372	2,4962	0,0801	0,1792	0,0074	0,0037	0,0016	0,6842	0,0022	14,1706
<i>X. kroyeri</i>	0,0041	6,9518	21,6078	0,0760	0,0016	0,0075	0,0200	4,1381	6,0950	0,0998	0,3354	0,0199	0,0076	0,0031	1,9354	0,0011	14,4263
PT8																	
<i>L. schmitti</i>	0,0018	6,0809	10,3990	0,0201	0,0020	0,0043	0,0157	3,7588	4,2017	0,1039	0,2746	0,0098	0,0058	0,0016	0,7162	0,0008	13,8609
<i>X. kroyeri</i>	0,0095	10,2394	18,5799	0,1843	0,0010	0,0090	0,0248	3,8909	7,4732	0,0855	0,3813	0,0173	0,0041	0,0024	1,5099	0,0038	13,5359

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. NA = não amostrado

**Tabela 41. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, para as diferentes espécies de camarões capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1																	
<i>F. paulensis</i>	ND	8,2138	7,4647	0,0325	ND	ND	0,0447	3,4524	6,4641	0,0144	0,2454	ND	ND	ND	0,3092	ND	11,9365
<i>L. schmitti</i>	ND	5,8097	9,5332	0,0274	ND	ND	0,0402	3,8485	4,5670	0,0235	0,2197	ND	ND	ND	0,3448	ND	11,1985
<i>X. kroyeri</i>	ND	5,0239	9,4172	0,0552	ND	ND	0,0309	4,8723	5,4497	0,0324	0,2310	ND	ND	ND	0,5857	ND	12,4854
PT2																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	6,8402	8,7640	0,0392	ND	0,0276	0,0178	3,6272	6,5162	0,0153	0,2186	0,0254	ND	ND	0,4992	ND	10,9378
PT3																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	2,4675	9,4668	0,0340	ND	ND	0,0305	4,0645	3,8901	0,0144	0,1921	0,0345	ND	ND	0,4892	ND	11,1889
PT4																	
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT5																	
<i>X. kroyeri</i>	0,1188	22,1264	6,0418	0,0658	ND	0,0226	0,0503	4,7304	18,0666	0,0183	0,4588	0,0506	0,0519	ND	0,4470	ND	9,9555
PT6																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	12,5392	11,5101	0,0414	ND	ND	0,0313	5,5299	10,1428	0,0397	0,4616	0,0342	ND	ND	1,0371	ND	10,8050
PT7																	
<i>L. schmitti</i>	ND	4,2913	14,1033	0,0333	ND	ND	0,0372	3,3986	2,8607	0,0622	0,1347	ND	ND	ND	0,4185	ND	10,8217
<i>X. kroyeri</i>	ND	7,8683	17,2893	0,0785	ND	ND	0,0310	3,4236	8,0150	0,0696	0,2652	0,0251	0,0713	ND	1,1477	ND	10,0496
PT8																	
<i>L. schmitti</i>	ND	2,8832	12,1991	0,0235	ND	ND	ND	4,4344	1,9657	0,0721	0,1502	ND	ND	ND	0,5023	ND	11,1743
<i>X. kroyeri</i>	ND	3,7969	17,6015	0,0877	ND	ND	0,0593	4,2179	3,3082	0,0572	0,2040	0,0254	ND	ND	0,9570	ND	10,4243

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. NA = não amostrado

**Tabela 42. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, para as diferentes espécies de camarões capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
<i>F. paulensis</i>	ND	212,7165	5,9015	0,0801	ND	ND	0,1903	4,8460	7,5146	ND	0,2145	0,2863	0,0959	ND	0,6918	ND	8,6295
<i>L. schmitti</i>	ND	57,5847	5,0735	0,1389	ND	ND	0,1039	5,6718	6,2886	ND	0,3236	0,3078	0,0830	ND	1,2443	8,2500	10,2671
<i>X. kroyeri</i>	ND	22,9000	7,2002	0,0524	ND	ND	0,1330	9,4530	4,4342	0,0511	0,1405	0,4222	0,1018	ND	0,7170	ND	10,2271
<b>PT2</b>																	
<i>X. kroyeri</i>	3,0000	4,1850	6,6494	1,0504	3,0000	3,0000	0,5566	5,6217	3,4271	1,0349	0,4853	1,2988	0,8007	3,0000	1,2400	3,0000	8,7278
<b>PT3</b>																	
<i>X. kroyeri</i>	3,0000	111,5753	6,6095	2,0170	3,0000	3,0000	0,7457	4,8340	8,7617	3,0000	1,8621	1,4259	2,4220	3,0000	1,3910	3,0000	9,0410
<b>PT4</b>																	
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>PT5</b>																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	7,8880	3,8518	0,1107	ND	ND	0,1070	7,3276	4,5329	0,0905	0,4380	0,4553	0,1970	ND	0,8252	ND	7,3994
<b>PT6</b>																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	9,5350	8,3230	0,0826	ND	ND	0,1205	5,8370	15,3127	0,0700	0,9132	0,2460	0,1090	ND	1,0855	ND	8,0225
<b>PT7</b>																	
<i>L. schmitti</i>	1,0000	2,8193	8,0011	0,6850	1,0000	1,0000	0,1157	5,5023	3,4700	0,0558	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8480	1,0000	7,8837
<i>X. kroyeri</i>	ND	28,0740	13,6355	0,1111			0,1024	6,1280	7,5607	0,0771	0,1339	0,4042	0,0753		1,2517		9,3815
<b>PT8</b>																	
<i>L. schmitti</i>	ND	ND	8,3233	ND	ND	ND	0,1535	5,2133	12,0000	0,0760	ND	0,3130	ND	ND	0,1190	ND	11,8433
<i>X. kroyeri</i>	ND	9,5330	12,5985	0,1465	ND	ND	0,0990	6,6520	6,3300	0,0762	0,1945	0,4080	0,0805	ND	0,9163	5,3505	8,9585

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. NA = não amostrado e ND = não determinado

Embora, nos pontos onde diferentes espécies tenham sido coletadas e o camarão sete barbas (*X. kroyeri*) tenha sido a espécie cujo maior número de elementos tenha sido determinado em maiores concentrações, os camarões peneídeos, como as três espécies capturadas, apresentam hábito alimentar omnívoro na fase adulta (TARARAM et al., 1993; NUNES, 2000; BRANCO; MORITZ JUNIOR, 2001). Dentre os principais itens alimentares dessas espécies encontram-se pequenos invertebrados, matéria orgânica em decomposição (detritos), algas, macrófitas aquáticas, silte e areia, essa última de especial importância como fonte de carbonato (TARARAM et al., 1993; NUNES, 2000; BRANCO; MORITZ JUNIOR, 2001). É válido destacar que os itens da dieta são bastante variáveis, uma vez que dependem da disponibilidade no ambiente. Além disso, algumas espécies apresentam tendências específicas, como é o caso do camarão branco, que apresenta tendência a herbivoria, alimentando-se principalmente de algas e macrófitas aquáticas (NUNES, 2000).

Adicionalmente, todas essas espécies de camarão apresentam hábito bentônico (de fundo) vivendo preferencialmente em substrato arenoso, como no caso do camarão rosa e branco, ou de argila ou silte, como no caso do camarão sete barbas (BOOS et al., 2016). Uma vez que o acúmulo de metais no organismo é influenciado por seus aspectos biológicos (PINTO; HIRDES; SANCHES FILHO, 2013), a exposição desses organismos aos EPTs ocorre tanto de forma direta quanto indireta, pelo contato com o material sedimentado, água, ou da ingestão de itens contaminados por estes elementos, o que amplia as possibilidades de absorção e contaminação destes organismos, fazendo com que os mesmos apresentem elevadas concentrações de contaminantes, exatamente como demonstrado através dos resultados apresentados.

É importante ressaltar, ainda, que tanto as concentrações de As inorgânico quanto a concentração total de As violaram os limites máximos permitidos, mesmo com a quantificação destes elementos tendo sido realizada, exclusivamente, em tecido muscular, ou seja, após a remoção total do exoesqueleto (carapaça). Tais resultados poderiam ter sido ainda mais elevados se as análises tivessem sido realizadas em camarões com o exoesqueleto, pois, a matriz da estrutura esquelética desses organismos, composta por quitina, quando associada à EPTs, formam complexos altamente estáveis que ampliam o potencial de adsorção desses elementos (PINTO; HIRDES; SANCHES FILHO, 2013) e, conseqüentemente, o risco de contaminação humana através do consumo de camarões quando esses são preparados com “casca”. Além disso, embora as formas mais tóxicas do As correspondam aos compostos de As inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), ambas as formas (orgânicas e inorgânicas) são tóxicas e podem causar efeitos adversos à saúde humana (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; DENOBILE, 2007WHO, 2011; NAVIN et al., 2013; BASTOS DA SILVA; BARRIO; MOREIRA, 2014; CARNEIRO et al. 2018; IARC, 2018; BYRNS; PENNING, 2019). Os limites legislados no

Brasil referem-se, inclusive, às concentrações totais deste elemento (ANVISA, 1998; 2013). Deste modo, como a ingestão de pescado é reconhecidamente a fonte mais significativa de ingestão de As e de contaminação por esse elemento em seres humanos (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; DENOBILE, 2007) e, como as concentrações de As encontradas nestes organismos violaram significativamente a concentração estabelecida na legislação, é importante monitorar os efeitos deste elemento sobre a saúde humana, especialmente porque os efeitos causados por As são cumulativos e podem demorar até 15 anos para se manifestar (ANGINO et al., 1970 *apud* QUEIROZ, 2006).

Ademais, conforme demonstrado pelos resultados, além do As, concentrações elevadas de todos os outros elementos puderam ser identificadas nestes organismos em pelo menos um dos pontos onde os mesmos foram capturados. Devido ao fato de o camarão ser o recurso pesqueiro mais explorado nas regiões sudeste e sul do Brasil (PAIVA, 1997; PINTO; HIRDES; SANCHES FILHO, 2013), o monitoramento é essencial para garantir a qualidade dos recursos utilizados pela população, uma vez que os elementos Ag, Al, Ba, Cd, Hg, Pb, Sb e Sn, encontrados nestes organismos, não são essenciais, ou seja, não possuem função biológica e seus efeitos sobre a organismos vivos normalmente são deletérios (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; EISLER, 2000; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). No entanto, embora os elementos Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Se e Zn sejam essenciais (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; EISLER, 2000; WOOD, 2012; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014), se levada em consideração a representatividade dessa fonte de proteína à dieta da população local e das concentrações destes elementos identificadas nos organismos avaliados, eles podem apresentar toxicidade às pessoas que se alimentam de crustáceos.

Por fim, quando avaliados os peixes, identifica-se que o Hg foi o único elemento identificado nos resultados apresentados pelos três laboratórios em elevadas concentrações em todos os pontos amostrais, exceto, no ponto 6 (se considerados os resultados dos laboratórios 1 e 2) e nos pontos 2, 3, 5 e 6 (se considerados os resultados do laboratório 3), onde as maiores concentrações foram determinadas em crustáceos. Apesar das elevadas concentrações em relação aos demais grupos taxonômicos, em nenhum ponto de coleta os valores de Hg determinados em peixes ultrapassaram os limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira relacionada à contaminantes inorgânicos em alimentos (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10). No entanto, é importante sinalizar a presença deste elemento nestes organismos, pois, o Hg corresponde ao terceiro item da lista de prioridades da Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças, revisada em 2017 (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry), a qual prioriza as substâncias de acordo com a sua frequência de ocorrência, toxicidade e potencial em relação à exposição humana. O Hg pode promover desordens

cardiovasculares, doenças metabólicas, efeitos tóxicos ao sistema reprodutivo e endócrino, afetando, por exemplo, a fertilidade dos indivíduos, promover alterações epigenéticas relacionadas à autoimunidade, efeitos comportamentais, cardíacos e renais (HA et al., 2017; MÍNGUEZ-ALARCÓN et al., 2018; HENRIQUES et al., 2019; KHAN; MOMTAZ; ABDOLLAHI, 2019; KOLBINGER et al., 2019; THERESE; CASTELEYN, 2019). Diversas evidências demonstram, ainda, que a exposição do feto (intrauterina) ao Hg é responsável pela diminuição do peso do recém-nascido e prejuízo ao neurodesenvolvimento, crescimento e desenvolvimento físico da criança, o que está associado ao aumento de incidência de doenças crônicas nesses indivíduos na fase adulta (HA et al., 2017). Assim, embora em concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, ressalta-se que o Hg se acumula ao longo do tempo causando, proporcionalmente aos níveis e tempo de exposição, sintomas físicos/motores e mentais debilitantes, como paralisia e coma ou, até mesmo à morte.

Além disso, grande parte, ou, até mesmo a totalidade do mercúrio total quantificado em músculos de pescado está sob a forma de metilmercúrio (MeHg), forma orgânica do elemento, extremamente problemática à saúde de diferentes organismos, devido ao fato de ser altamente lipossolúvel e, mesmo em baixíssimas concentrações, facilmente absorvida por diferentes células do organismo (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). Corroborando estas informações, o MeHg foi determinado em peixes de todos os pontos amostrais e, em relação aos demais grupos taxonômicos avaliados, os peixes foram os organismos cujas concentrações de MeHg foram as mais elevadas (concentrações entre 0,0233 a 0,0842 mg.kg<sup>-1</sup> PU). As maiores concentrações de MeHg foram determinadas nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga) (Tabela 43).

**Tabela 43. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido), em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais**

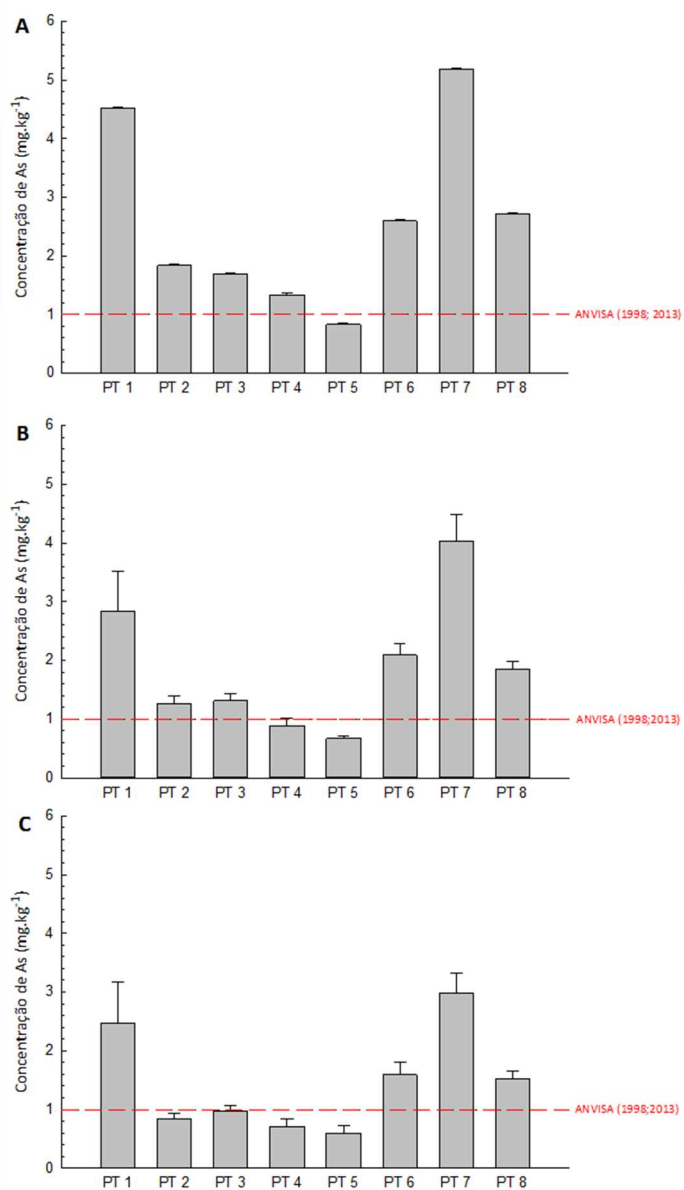
	MeHg
PT 1	0,0572
PT 2	0,0259
PT 3	0,0233
PT 4	0,0653
PT 5	0,0625
PT 6	0,0255
PT 7	0,0842
PT 8	0,0472

Além destes, quando se observa os resultados apresentados pelos laboratórios 2 e 3, identifica-se a presença de Ni (de acordo com o laboratório 2) e de Cr, Ni e Sn (de acordo com o

laboratório 3) em maiores concentrações em peixes nos pontos avaliados. Destes elementos, nenhum possui limite máximo estabelecido pela legislação, porém, conforme já descrito para crustáceos, esses elementos não são essenciais para a biota e, portanto, podem causar efeitos deletérios aos organismos que os acumulam.

Adicionalmente, assim como já descrito para os demais grupos taxonômicos, os peixes de todos os pontos amostrais também se encontram contaminados por As, muito embora, as concentrações encontradas não tenham ultrapassado os limites estabelecidos pela legislação brasileira no PT 5 (foz do rio Doce) de acordo com o laboratório 1; nos pontos 4 (estuário do rio Doce) e 5 (foz do rio Doce) de acordo com o laboratório 2 e, nos pontos 2 (Barra do Riacho), 3 (Vila do Riacho), 4 e 5 de acordo com o laboratório 3 (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10). Apesar disso, nos pontos onde ocorreram violações, as porcentagens variaram entre 34 (PT 4, estuário do rio Doce) a 352% (PT 1, foz do Piraquê) de acordo com o laboratório 1; 27 (PT 2, Barra do Riacho) a 259% (PT 7, Pontal do Ipiranga) de acordo com o laboratório 2 e, 52 (PT 8, Guriri) a 198% (PT 7, Pontal do Ipiranga) (Figura 7 e Tabela 44). Se considerada apenas a contaminação por este elemento, os piores pontos para captura de peixes seriam os PT 1 (Santa Cruz/Aracruz – foz do Piraquê-Açu) e o PT 7 (Pontal do Ipiranga), de acordo com os laboratórios 1 e 2 e, os pontos 1, 6 (sul de Degredo), 7 e 8 (Guriri) de acordo com o laboratório 3 (Figura 7). Ressalta-se, novamente que os pontos 1, 7 e 8 estão fora da área de proibição da pesca.

Figura 7. Média da concentração de arsênio (As;  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de peso úmido) determinada em peixes pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a primeira campanha



Dados apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

**Tabela 44. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em peixes em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios**

Pontos	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 3
	% violação	% violação	% violação
PT 1	352	183	147
PT 2	84	27	-
PT 3	69	31	-
PT 4	34	-	-
PT 5	-	-	-
PT 6	160	109	59
PT 7	419	259	198
PT 8	171	85	52

Traço = ausência de violação ao limite legislado

A análise das espécies inorgânicas de As ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) revelou a presença dessas em todos os pontos onde os peixes foram amostrados, exceto no PT 4. A forma  $As^{3+}$  foi determinada nos peixes de todos os pontos amostrais, exceto no ponto 4, em concentrações que variaram de 0,0376 no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu) a 0,0521 mg.kg<sup>-1</sup> PU no PT 6 (sul de Degredo). A forma  $As^{5+}$ , no entanto, foi determinada apenas em peixes capturados nos pontos 1, 6, 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri) em concentrações que variaram de 0,0391 no PT 6 a 0,0863 mg.kg<sup>-1</sup> PU no PT 1. A concentração total de As inorgânico nestes organismos variaram entre 0,0446 no PT 5 (foz do rio Doce) a 0,1239 no PT 1 (Tabela 45).

**Tabela 45. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$  em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) e concentração total de As inorgânico ( $As^{3+}$  +  $As^{5+}$  em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinadas em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico
PT 1	0,0376	0,0863	0,1239
PT 2	0,0487	ND	0,0487
PT 3	0,0458	ND	0,0458
PT 4	ND	ND	ND
PT 5	0,0446	ND	0,0446
PT 6	0,0521	0,0391	0,0912
PT 7	0,0497	0,0586	0,1083
PT 8	0,0446	0,0395	0,0841

ND = não determinado

Quando se compara os resultados obtidos no presente estudo aos obtidos em estudos pré desastre, identifica-se que somente para os pontos 1 (Santa Cruz/Aracruz – Foz do Piraquê-Açu) e 5 (Foz do rio Doce) existem dados comparáveis. Para o ponto 1, verifica-se incremento nas

concentrações de todos os elementos comparáveis entre os pontos, ou seja, Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se e Zn, independentemente da referência usada para comparação. Apesar disso, é importante destacar que um dos estudos realizados neste ponto no período pré desastre (III - SOUZA et al., 2013) tem suas concentrações apresentadas em peso seco. Ainda assim, as concentrações foram inferiores às determinadas no presente estudo, cujas concentrações são apresentadas em peso úmido, ou seja, “mais diluídas” (e conseqüentemente, inferiores). Ainda em relação a comparação entre estes estudos, é importante chamar a atenção para os elementos Ag, Cd e Ni que apresentavam concentrações abaixo do limite de quantificação (<LQ), mas, no presente estudo, encontram-se em concentrações elevadas (Tabela 46). É importante ressaltar que o ponto 1 (Santa Cruz/Aracruz – Foz do Piraquê-Açu) está fora da faixa de proibição da pesca estabelecida pela Justiça Federal do Espírito Santo (Figura 1), o que pode indicar que a localidade está recebendo contribuição do material advindo da foz do rio Doce e/ou que o deslocamento dos organismos faz com que os mesmos se contaminem em outras localidades.

Para o ponto 5 também se verificou incremento nas concentrações de todos os elementos comparáveis, ou seja, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Ni. Para os elementos As, Cr, Cu, Mn e Ni as concentrações no PT 5 são superiores, inclusive, as encontradas na Lagoa Mãe-Bá, que apesar de ser uma lagoa de água doce, tem sido estudada quanto à contaminação por EPTs por estar situada ao lado da Barragem Norte, que corresponde a unidade pelotizadora da Samarco, e receber resíduos dessa barragem por meio de um barramento que é aberto, em média, quatro vezes por ano, por cerca de 72h (PEREIRA; MENDONÇA; ANDRADE FILHO, 2006; FERNANDES et al., 2009) (Tabela 46).

Ainda, quando as concentrações determinadas no presente estudo são comparadas àquelas determinadas pela Rede Rio Doce Mar (2019) em algumas localidades (Santa Cruz/Aracruz, foz do rio Doce, Degredo e Barra Nova) nos anos de 2018 e 2019, entre 2 e 4 anos após o desastre, corrobora-se o aumento das concentrações em relação aos estudos pré-desastre supracitados. No entanto, os resultados do presente estudo são ainda maiores que os resultados obtidos pela RRDM para o As (exceto na foz do rio Doce), Cu, Cr e Hg (Tabela 47).

Os demais elementos cujas concentrações foram superiores nos peixes capturados durante o estudo da RRDM, no período de setembro e outubro de 2018, podem ter se apresentado em maiores concentrações nestes organismos em comparação aos obtidos pelo Lactec, não somente por serem organismos diferentes, amostrados em períodos diferentes, mas também, porque o período de setembro/outubro coincide com o início do período de chuvas na região de amostragem (Figura 2; revisado em BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017). Como o regime de chuvas interfere sobre a região marinha adjacente (IBAMA, 2016; UERJ, 2016; ICMBio, 2017; UFES, 2017), este fator pode ter favorecido maior disponibilidade de EPTs e, conseqüentemente, os achados aqui apresentados. De fato, o modelo do

ligante biótico utilizado pela RRDM (2019) sugere maior concentração de íons livres e, consequentemente, maior disponibilidade de EPTs no período de setembro/outubro de 2018.

**Tabela 46. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em tecido muscular de peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pré-desastre (linha base)**

	Pré-Desastre						Pós-desastre								
	Lagoa Mãe-Bá	Vitória	Santa Cruz	Vitória	Santa Cruz	Foz do rio Doce	Santa Cruz	Barra do Riacho	Vila do Riacho	Estuário rio Doce	Foz do rio Doce	Degredo	Pontal do Ipiranga	Guriri	
	I <sup>a</sup>	II	III <sup>b</sup>	IV	V <sup>c</sup>	Dados obtidos pelo Lactec para o presente estudo									
<b>Ag</b>	ND	ND	<LQ	<LQ	ND	ND	0,5011	0,0014	0,0010	0,0003	0,0003	0,0339	0,0021	0,0008	
<b>Al</b>	8,92	ND	2,7	1,4	ND	ND	3,5188	18,6905	4,5444	1,5583	1,0964	8,8951	21,4959	2,9482	
<b>As</b>	0,1	ND	0,82	0,51	ND	ND	3,2754	1,3129	1,3237	0,9767	0,7015	2,0913	3,9174	2,0264	
<b>Ba</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0820	0,1023	0,1164	0,2487	0,1732	0,0559	0,1315	0,0420	
<b>Cd</b>	0,037	0,028	<LQ	<LQ	0,173	0,000001	0,5004	0,0005	0,0007	0,0021	0,0003	0,0002	0,0006	0,0002	
<b>Co</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,5020	0,0059	0,0059	0,0342	0,0049	0,0070	0,0367	0,0040	
<b>Cr</b>	0,075	0,155	0,07	0,11	0,0002	0,00003	0,0550	0,0784	0,0468	0,0755	0,0933	0,1175	0,0720	0,0842	
<b>Cu</b>	1,21	0,237	0,66	0,57	0,0049	0,001	0,9194	0,8316	1,0762	1,6070	1,3476	1,2653	0,9426	1,4537	
<b>Fe</b>	33,87	ND	7,8	5	ND	0,005	4,2927	4,7644	3,6298	5,6863	3,7993	7,6697	4,9423	5,8481	
<b>Hg</b>	0,203	ND	0,24	0,22	ND	ND	0,1150	0,0625	0,0506	0,1411	0,0893	0,0462	0,1679	0,0855	
<b>Mn</b>	1,66	ND	0,95	0,39	ND	0,0005	0,2813	0,3425	0,3713	0,5159	0,2867	0,4310	0,2917	0,2361	
<b>Ni</b>	0,023	ND	<LQ	0,05	ND	ND	0,1479	0,1330	0,1063	0,1893	0,1279	0,1478	0,2334	0,1306	
<b>Pb</b>	0,024	0,25	0,05	0,1	ND	0,00002	0,1258	0,0426	0,0361	0,0481	0,0329	0,0500	0,0411	0,0319	
<b>Sb</b>	ND	ND	ND	ND	0,0004	ND	0,2802	0,0003	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	
<b>Se</b>	ND	ND	0,29	0,69	ND	ND	0,5086	0,4417	0,4584	0,5180	0,5089	0,5547	0,6663	0,7205	
<b>Sn</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2692	3,3333	0,0011	0,4635	0,0007	0,0013	1,0880	0,0832	
<b>Zn</b>	34,12	4,7	14,2	12	0,0167	ND	3,0716	3,0058	2,9125	13,0009	2,7377	3,0397	3,1583	2,8891	

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores e inferiores, respectivamente, nas comparações entre os estudos realizados numa mesma localidade. Células amarelas correspondem a comparação realizada entre as concentrações obtidas para a foz do rio Doce em relação a Lagoa MNãe-Bá que, embora seja uma lagoa de água doce, recebe resíduos da unidade pelletizadora da Samarco. Números romanos correspondem às referências citadas, a saber: I – Pereira et al. (2010); II – Joyeux; Campanha Filho; Jesus (2004); III – Souza et al. (2013); IV – Niencheski et al. (2014); V – FAURG (2016). a e b – Correspondem a referências cujos resultados são apresentados em peso seco. c – corresponde a referência cujos valores foram aproximados devido terem sido obtidos de gráficos e não de dados brutos. Os valores apresentados pelo Lactec correspondem a média dos resultados obtidos nos três laboratórios que avaliaram as amostras de cada um dos pontos.

**Tabela 47. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinadas em tecido muscular de peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 anos e 4 anos após o desastre**

Elementos (mg.kg <sup>-1</sup> PU)	RRDM (2019)								LACTEC (2019)			
	setembro/outubro de 2018 (2 anos e 11 meses)*				janeiro/fevereiro de 2019 (3 anos e 3 meses)*				março/abril de 2019 (3 anos e 4 meses)			
	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova
Alumínio (Al)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,5011	0,0003	0,0339	0,0021
Antimônio (Sb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,5188	1,0964	8,8951	21,4959
Arsênio (As)	0,878	0,749	0,610	0,020	0,051	0,056	0,069	0,013	3,2754	0,7015	2,0913	3,9174
Bário (Ba)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0820	0,1732	0,0559	0,1315
Cádmio (Cd)	0,1643	0,1970	0,9060	0,9118	0,770	0,148	0,045	0,0500	0,5004	0,0003	0,0002	0,0006
Chumbo (Pb)	0,029	0,051	0,019	0,023	0,011	0,028	0,015	0,007	0,5020	0,0049	0,0070	0,0367
Cobalto (Co)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0550	0,0933	0,1175	0,0720
Cobre (Cu)	0,606	0,889	0,190	0,648	0,138	0,105	0,085	0,120	0,9194	1,3476	1,2653	0,9426
Cromo (Cr)	2,453	2,204	0,395	0,273	0,126	0,092	0,367	0,120	4,2927	3,7993	7,6697	4,9423
Estanho (Sn)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,1150	0,0893	0,0462	0,1679
Ferro (Fe)	4,196	5,119	7,190	5,653	21,350	16,622	3,255	2,410	0,2813	0,2867	0,4310	0,2917
Manganês (Mn)	0,835	2,211	7,940	1,740	0,963	1,131	0,985	0,960	0,1479	0,1279	0,1478	0,2334
Mercúrio (Hg)	0,008	0,006	0,004	0,001	0,004	0,001	0,013	0,010	0,1258	0,0329	0,0500	0,0411
Níquel (Ni)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2802	0,0002	0,0002	0,0002
Prata (Ag)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,5086	0,5089	0,5547	0,6663
Selênio (Se)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2692	0,0007	0,0013	1,0880
Zinco (Zn)	2,916	4,776	16,320	10,938	2,960	2,602	2,945	3,240	3,0716	2,7377	3,0397	3,1583

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, nas comparações entre os estudos realizados numa mesma localidade. O asterisco ao lado da descrição das datas amostrais da referência RRDM (2019) indica que esses dados representam médias obtidas para as diferentes espécies e pontos de captura de uma mesma localidade. ND = não determinado. Os resultados apresentados pelo Lactec correspondem a médias dos resultados dos três laboratórios para as diferentes espécies de peixes capturadas em cada um dos pontos.

Além disso, quando as concentrações dos diferentes EPTs avaliados em peixes foram convertidas em porcentagens de representatividade em relação aos limites máximos de referência para ingestão diária, estabelecidos pelas regulamentações nacional (ANVISA, 2018b) e internacionais (OMS/FAO, 2016; US EPA, 2019), corrobora-se a contaminação destes organismos. Para o As, se considerado o consumo de uma porção de 309 g de peixe, a representatividade das concentrações encontradas em todos os pontos avaliados em relação aos limites diários estabelecidos para este elemento pelas regulamentações nacionais e internacionais variaram entre 143 a 8.907%, se considerados os resultados do laboratório 1; 115 a 6.156% se considerados os resultados do laboratório 2 e, entre 103 a 5.111%, se considerados os resultados do laboratório 3 (Tabela 48, Tabela 49 e Tabela 50).

Do mesmo modo, o Hg apresenta concentrações que ultrapassam os limites diários nacionais para os pontos 1, 4 (estuário do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga) e internacionais para todos os pontos, exceto os pontos 3 (Vila do Riacho) e 6 (Degredo), se considerados os resultados do laboratório 1; os limites diários internacionais, exceto nos pontos 2 (Barra do Riacho), 3 e 6, se considerados os resultados do laboratório 2 e, os limites diários nacionais para os pontos 1, 4 e 7 e internacionais para todos os pontos, exceto o ponto 6, se considerados os resultados do laboratório 3 (Tabela 48, Tabela 49 e Tabela 50). Além disso, se considerados apenas os resultados obtidos pelo laboratório 3, os limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e/ou internacionais estariam sendo violados para os elementos Ag, Cd e Sb para o ponto 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e para o elemento Al no ponto 7 (Pontal do Ipiranga) (Tabela 50), novamente, pontos que se encontram fora da área de proibição da pesca (Figura 1).

Adicionalmente, com base nos cálculos de representatividade realizado a partir das concentrações encontradas pelos três laboratórios, 50% dos limites máximos diários estabelecidos nacional e/ou internacionalmente seriam ultrapassados para os elementos Hg (nos pontos 2, 3, 5, 6 e 8) e Se (em todos os pontos, exceto PT 6) de acordo com o laboratório 1; para os elementos Hg (em todos os pontos, exceto nos pontos 2, 3 e 6) e Se (PT 7) de acordo com o laboratório 2 e, para os elementos Al (PT 2), Hg (nos pontos 2, 3, 5, 6 e 8) e Se (em todos os pontos, exceto PT 2) de acordo com o laboratório 3 (Tabela 48, Tabela 49 e Tabela 50).

**Tabela 48. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb		Se	Sn	Zn				
CODEX		17,14	0,18			0,05			3	48		0,034			0,21				120	18				
IN								0,25	8,97	34,31			1,66			0,32					29,59			
EPA	0,3		0,018	12		0,006						0,018	8,4		0,024	0,3					18			
PT1	0,23	6,18	776,37	7763,69	0,08	0,52	4,30	3,01	1,63	0,54	2,70	3,77	104,87	198,09	0,84	4,23	0,84	4,97	51,31	48,11	0,0008	6,20	3,77	6,20
PT2	0,14	9,00	315,74	3157,35	0,26	0,29	2,41	3,54	1,64	0,55	3,27	4,57	64,53	121,89	1,68	8,51	1,11	0,44	56,39	52,87	0,0004	6,70	4,07	6,70
PT3	0,11	5,25	290,48	2904,77	0,35	0,45	3,71	3,15	1,75	0,59	2,42	3,39	51,75	97,75	1,90	9,62	0,31	0,68	52,03	48,77	0,0003	6,68	4,06	6,68
PT4	0,03	3,37	229,62	2296,20	0,55	1,29	10,73	2,03	3,50	1,17	3,75	5,25	120,82	228,22	2,30	11,63	0,51	0,42	56,07	52,56	0,0003	27,96	17,01	27,96
PT5	0,03	2,10	142,65	1426,53	0,32	0,16	1,30	4,35	1,26	0,42	1,53	2,14	95,79	180,93	1,08	5,48	0,20	0,26	65,15	61,07	0,0002	5,69	3,46	5,69
PT6	0,03	8,32	445,84	4458,43	0,07	0,12	1,03	2,28	1,70	0,57	2,90	4,06	41,68	78,74	1,48	7,47	0,30	0,22	49,25	46,17	0,0003	6,60	4,01	6,60
PT7	0,22	5,20	890,78	8907,81	0,06	0,37	3,08	2,70	2,07	0,69	2,83	3,95	207,70	392,32	1,14	5,76	0,98	0,29	85,30	79,97	0,0003	7,37	4,48	7,37
PT8	0,08	4,78	465,43	4654,35	0,05	0,14	1,19	3,05	1,54	0,52	6,95	9,72	84,51	159,63	1,13	5,71	0,81	0,45	83,34	78,13	0,0003	7,15	4,35	7,15

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 49. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn				
CODEX		17,14	0,18			0,05			3	48		0,034			0,21				120	18				
IN								0,25	8,97	34,31			1,66				0,32				29,59			
EPA	0,3		0,018	12		0,006						0,018	8,4		0,024	0,3					18			
PT1	ND	3,26	486,37	4863,66	0,16	ND	ND	5,46	1,77	0,59	2,02	2,82	75,54	142,69	0,74	3,76	ND	ND	33,23	31,15	ND	5,62	3,42	5,62
PT2	ND	5,54	217,22	2172,15	0,24	ND	ND	3,51	1,73	0,58	2,21	3,09	29,92	56,51	1,26	6,36	5,26	ND	34,90	32,72	ND	5,27	3,21	5,27
PT3	ND	2,77	224,10	2241,04	0,19	ND	ND	3,25	1,80	0,60	1,79	2,50	26,34	49,76	1,24	6,27	ND	ND	33,99	31,86	ND	5,00	3,04	5,00
PT4	ND	3,56	151,75	1517,47	0,78	ND	ND	12,89	4,02	1,35	4,35	6,08	90,05	170,09	1,76	8,89	5,54	ND	28,21	26,45	ND	21,65	13,17	21,65
PT5	ND	1,85	115,40	1153,96	0,48	ND	ND	12,20	1,59	0,53	1,64	2,29	79,98	151,08	1,25	6,32	ND	ND	38,60	36,19	ND	4,92	2,99	4,92
PT6	6,95	9,11	357,99	3579,90	0,17	ND	ND	23,72	1,98	0,66	7,66	10,71	34,62	65,39	2,12	10,71	10,29	ND	31,84	29,85	ND	4,92	2,99	4,92
PT7	ND	2,55	615,56	6155,58	0,11	ND	ND	8,61	2,08	0,70	2,38	3,32	82,25	155,36	1,01	5,12	ND	ND	46,32	43,43	ND	4,73	2,88	4,73
PT8	ND	2,35	316,80	3168,02	0,11	ND	ND	6,63	1,49	0,50	1,47	2,06	56,51	106,74	0,82	4,15	ND	ND	42,63	39,97	ND	4,46	2,71	4,46

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado.

**Tabela 50. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
CODEX		17,14	0,18		0,05		3	48	0,034		0,21			120	18									
IN						0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59									
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18									
PT1	103,00	9,59	424,10	4241,04	0,40	618,00	5150,00	11,92	25,01	8,37	3,58	5,01	133,21	251,63	1,52	7,71	36,17	716,49	72,62	68,08	0,14	4,00	2,43	4,00
PT2	ND	86,55	143,21	1432,05	0,29	ND	ND	22,02	22,33	7,47	3,73	5,21	76,08	143,70	0,84	4,26	12,44	ND	45,21	42,38	1,72	3,51	2,14	3,51
PT3	ND	16,56	167,10	1671,05	0,36	ND	ND	10,96	29,70	9,93	2,80	3,91	60,00	113,33	0,96	4,84	10,31	ND	55,65	52,17	ND	3,32	2,02	3,32
PT4	ND	1,50	121,63	1216,25	0,60	ND	ND	13,08	42,13	14,09	2,88	4,03	173,79	328,27	1,64	8,29	15,20	ND	75,78	71,04	0,24	17,35	10,55	17,35
PT5	ND	ND	103,22	1032,23	0,54	ND	ND	18,07	38,78	12,97	4,17	5,83	67,70	127,88	0,83	4,22	9,47	ND	53,50	50,15	ND	3,49	2,12	3,49
PT6	ND	30,68	273,20	2732,00	0,19	ND	ND	17,57	35,41	11,84	4,25	5,95	49,62	93,73	1,16	5,89	11,50	ND	90,33	84,69	ND	4,14	2,52	4,14
PT7	ND	108,50	511,10	5111,03	0,84	ND	ND	15,39	24,97	8,35	4,34	6,07	167,85	317,06	1,07	5,41	11,11	ND	74,28	69,64	0,56	4,16	2,53	4,16
PT8	ND	8,82	261,38	2613,84	0,17	ND	ND	21,56	41,88	14,01	2,87	4,02	92,13	174,03	0,66	3,33	8,57	ND	96,67	90,62	0,04	3,27	1,99	3,27

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado.

Mesmo quando considerado o consumo diário da menor porção de peixe (60 g), os limites de As superariam os limites máximos indicados pelas regulamentações internacionais em todos os pontos amostrais, conforme resultados dos três laboratórios, assim como superaria os limites máximos indicados pela regulamentação adotada nacionalmente para os pontos 1 e 7, se considerados os resultados do laboratório 1 e para o ponto 7, se considerados os resultados do laboratório 2 (Tabela 51 e Tabela 52). Além disso, se considerados os resultados apresentados pelo laboratório 3, os elementos Cd e Sb também extrapolariam os limites máximos nacional e/ou internacional no ponto 1 (Tabela 53). É importante mencionar, ainda, que os elementos As e Hg possuem, em vários pontos amostrais, concentrações cuja representatividade em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais é superior a 50% (Tabela 51, Tabela 52 e Tabela 53). Ressalta-se, novamente, que tanto o ponto 1 quanto o 7 estão fora da área de proibição da pesca (Figura 1).

**Tabela 51. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
CODEX		17,14	0,18		0,05		3	48	0,034		0,21			120	18									
IN						0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59									
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18									
PT1	0,05	1,20	150,75	1507,51	0,02	0,10	0,84	0,58	0,32	0,11	0,52	0,73	20,36	38,46	0,16	0,82	0,16	0,97	9,96	9,34	0,0002	1,20	0,73	1,20
PT2	0,03	1,75	61,31	613,08	0,05	0,06	0,47	0,69	0,32	0,11	0,63	0,89	12,53	23,67	0,33	1,65	0,22	0,09	10,95	10,27	0,0001	1,30	0,79	1,30
PT3	0,02	1,02	56,40	564,03	0,07	0,09	0,72	0,61	0,34	0,11	0,47	0,66	10,05	18,98	0,37	1,87	0,06	0,13	10,10	9,47	0,0001	1,30	0,79	1,30
PT4	0,01	0,65	44,59	445,86	0,11	0,25	2,08	0,39	0,68	0,23	0,73	1,02	23,46	44,32	0,45	2,26	0,10	0,08	10,89	10,21	0,0001	5,43	3,30	5,43
PT5	0,01	0,41	27,70	277,00	0,06	0,03	0,25	0,84	0,25	0,08	0,30	0,42	18,60	35,13	0,21	1,06	0,04	0,05	12,65	11,86	0,0000	1,10	0,67	1,10
PT6	0,01	1,62	86,57	865,71	0,01	0,02	0,20	0,44	0,33	0,11	0,56	0,79	8,09	15,29	0,29	1,45	0,06	0,04	9,56	8,97	0,0001	1,28	0,78	1,28
PT7	0,04	1,01	172,97	1729,67	0,01	0,07	0,60	0,53	0,40	0,13	0,55	0,77	40,33	76,18	0,22	1,12	0,19	0,06	16,56	15,53	0,0001	1,43	0,87	1,43
PT8	0,02	0,93	90,38	903,76	0,01	0,03	0,23	0,59	0,30	0,10	1,35	1,89	16,41	31,00	0,22	1,11	0,16	0,09	16,18	15,17	0,0001	1,39	0,84	1,39

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 52. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
CODEX		17,14	0,18		0,05		3	48	0,034		0,21			120	18									
IN						0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59									
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18									
PT1	ND	0,63	94,44	944,40	0,03	ND	ND	1,06	0,34	0,11	0,39	0,55	14,67	27,71	0,14	0,73	ND	ND	6,45	6,05	ND	1,09	0,66	1,09
PT2	ND	1,08	42,18	421,78	0,05	ND	ND	0,68	0,34	0,11	0,43	0,60	5,81	10,97	0,24	1,23	1,02	ND	6,78	6,35	ND	1,02	0,62	1,02
PT3	ND	0,54	43,52	435,15	0,04	ND	ND	0,63	0,35	0,12	0,35	0,49	5,12	9,66	0,24	1,22	ND	ND	6,60	6,19	ND	0,97	0,59	0,97
PT4	ND	0,69	29,47	294,65	0,15	ND	ND	2,50	0,78	0,26	0,84	1,18	17,49	33,03	0,34	1,73	1,08	ND	5,48	5,14	ND	4,20	2,56	4,20
PT5	ND	0,36	22,41	224,07	0,09	ND	ND	2,37	0,31	0,10	0,32	0,44	15,53	29,34	0,24	1,23	ND	ND	7,50	7,03	ND	0,96	0,58	0,96
PT6	1,35	1,77	69,51	695,13	0,03	ND	ND	4,61	0,38	0,13	1,49	2,08	6,72	12,70	0,41	2,08	2,00	ND	6,18	5,80	ND	0,96	0,58	0,96
PT7	ND	0,50	119,53	1195,26	0,02	ND	ND	1,67	0,40	0,14	0,46	0,65	15,97	30,17	0,20	0,99	ND	ND	8,99	8,43	ND	0,92	0,56	0,92
PT8	ND	0,46	61,51	615,15	0,02	ND	ND	1,29	0,29	0,10	0,29	0,40	10,97	20,73	0,16	0,81	ND	ND	8,28	7,76	ND	0,87	0,53	0,87

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

**Tabela 53. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn										
<b>CODEX</b>		17,14	0,18		0,05	3	48	0,034		0,21			120	18										
<b>IN</b>						0,25	8,97	34,31		1,66		0,32		29,59										
<b>EPA</b>	0,3		0,018	12	0,006			0,018	8,4		0,024	0,3		18										
<b>PT1</b>	20,00	1,86	82,35	823,50	0,08	120,00	1000,00	2,32	4,86	1,62	0,70	0,97	25,87	48,86	0,30	1,50	7,02	139,13	14,10	13,22	0,03	0,78	0,47	0,78
<b>PT2</b>	ND	16,81	27,81	278,07	0,06	ND	ND	4,28	4,34	1,45	0,72	1,01	14,77	27,90	0,16	0,83	2,42	ND	8,78	8,23	0,33	0,68	0,42	0,68
<b>PT3</b>	ND	3,22	32,45	324,48	0,07	ND	ND	2,13	5,77	1,93	0,54	0,76	11,65	22,01	0,19	0,94	2,00	ND	10,81	10,13	ND	0,64	0,39	0,64
<b>PT4</b>	ND	0,29	23,62	236,17	0,12	ND	ND	2,54	8,18	2,74	0,56	0,78	33,75	63,74	0,32	1,61	2,95	ND	14,71	13,79	0,05	3,37	2,05	3,37
<b>PT5</b>	ND	ND	20,04	200,43	0,10	ND	ND	3,51	7,53	2,52	0,81	1,13	13,15	24,83	0,16	0,82	1,84	ND	10,39	9,74	ND	0,68	0,41	0,68
<b>PT6</b>	ND	5,96	53,05	530,48	0,04	ND	ND	3,41	6,88	2,30	0,83	1,16	9,64	18,20	0,23	1,14	2,23	ND	17,54	16,44	ND	0,80	0,49	0,80
<b>PT7</b>	ND	21,07	99,24	992,43	0,16	ND	ND	2,99	4,85	1,62	0,84	1,18	32,59	61,56	0,21	1,05	2,16	ND	14,42	13,52	0,11	0,81	0,49	0,81
<b>PT8</b>	ND	1,71	50,75	507,54	0,03	ND	ND	4,19	8,13	2,72	0,56	0,78	17,89	33,79	0,13	0,65	1,67	ND	18,77	17,60	0,01	0,63	0,39	0,63

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

Apesar das concentrações totais de As estarem elevadas em peixes e ultrapassarem os limites máximos legislados, bem como terem uma elevada representatividade dentro dos limites máximos permitidos por dia, quando calculada a porcentagem de representatividade para as espécies de As inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), dentro do limite máximo permitido por dia pela regulamentação internacional (JECFA FAO/WHO, 2011), o consumo, tanto de uma porção de 60g quanto de 309 g, não violaria os limites máximos permitidos por dia (Tabela 54). No entanto, se consideradas as doses de referência estabelecidas para As inorgânico pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de peixe levaria a violação do limite máximo diário nos pontos 1, 6, 7 e 8. Além disso, nos pontos 2, 3 e 5, as concentrações encontradas para peixes ultrapassariam 50% do limite máximo estabelecido. O consumo de uma porção diária de 60 g, no entanto, não violaria os limites máximos permitidos (Tabela 54).

É válido reforçar que, por se tratar de um elemento carcinogênico que se acumula no organismo ao longo do tempo (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; DENOBILE, 2007WHO, 2011; NAVIN et al., 2013; BASTOS DA SILVA; BARRIO; MOREIRA, 2014; CARNEIRO et al. 2018; IARC, 2018; BYRNS; PENNING, 2019), é essencial o monitoramento das concentrações de As e suas espécies nestes organismos, bem como naqueles que deles se alimentam, pois, quanto maior o nível do organismos na cadeia trófica, maiores os efeitos adversos devido ao aumento progressivo das concentrações em decorrência da biomagnificação (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; MORAIS, 2009; WOOD, 2012; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; NIENCHESKI et al., 2014; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; NIKINMAA, 2014; YANCHEVA et al., 2015; FERNANDES et al., 2016; ALI; KHAN; 2018). Reforça-se, ainda, que as violações ocorreram, principalmente, em pontos que se encontram fora da área de proibição da pesca, ou seja, nos pontos 1, 7 e 8.

Com relação ao MeHg, as concentrações determinadas em peixes violariam os limites máximos diários estabelecidos internacionalmente (FAO/WHO, 2016), com o consumo de uma porção de 309 g, nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri). Nos pontos 2 (Barra do Riacho), 3 (Vila do Riacho) e 6 (Degredo) os limites máximos representariam mais de 50% do limite máximo estabelecido. (Tabela 54). No entanto, se considerada o limite de referência estabelecido para MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016b), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de peixe violaria o limite máximo diário em todos os pontos amostrais, enquanto que, o consumo de uma porção de 60 g de peixe representaria mais que 50% do limite máximo estabelecido nos pontos 1, 4, 5 e 7 (Tabela 54). Reforça-se que o Hg, independentemente da forma, é um elemento extremamente perigoso e

com alto poder cumulativo e de biomagnificação (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; MIRANDA et al., 2007; ARRIFANO, 2011; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). No entanto, MeHg é a forma mais tóxica de Hg, uma vez que possui alta estabilidade (é mal metabolizada), solubilidade e propriedades iônicas que favorecem sua penetração nas membranas de organismos vivos, permanecendo por um longo período de tempo no organismo (WHO, 1989; WINDMÖLLER et al., 2007; MIRANDA et al., 2007; ARRIFANO, 2011). O MeHg é, inclusive, capaz de atravessar as barreiras hematoencefálica e placentária, assim como ser transferido pelo leite materno. Por apresentar elevada capacidade de bioacumulação e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar passa a representar riscos não somente ao organismo, mas também, ao bem-estar das populações (MIRANDA et al., 2007; ARRIFANO, 2011; AZEVEDO et al., 2012).

A ação do MeHg apresenta um período de latência entre a exposição e o aparecimento dos sintomas, que pode variar de semanas a anos dependendo da dose e período de exposição. Mas, mesmo sem sintomatologia o mesmo se acumula em vários órgãos como rins, fígado e, principalmente, no SNC. Esta é, portanto, a forma química mais neurotóxica do mercúrio (WHO, 1976; JOIRIS et al., 2000; CARTA et al., 2003; GOCHFELD, 2003; ANDERSON et al., 2004; MIRANDA et al., 2007). Dentre todos os organismos vivos, a espécie humana é a que apresenta maior ineficiência na defesa contra o efeito tóxico do MeHg (BOISCHIO; HENSHEL, 2000; NIENCHESKI et al., 2001; CARTA et al., 2003; LINDBERG et al., 2004). Além disso, os efeitos causados pelo MeHg são irreversíveis (MIRANDA et al., 2007).

**Tabela 54. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico (As<sup>3+</sup> + As<sup>5+</sup>) e metilmercúrio (MeHg) presentes em peixes capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

	JECFA FAO/WHO (2011); FAO/WHO (2016)				US EPA (2016a); US EPA (2016b)			
	As inorgânico		MeHg		As inorgânico		MeHg	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	7,99	41,17	24,51	126,25	41,30	212,71	57,20	294,57
PT2	3,14	16,20	11,09	57,13	16,25	83,67	25,89	133,31
PT3	2,95	15,20	10,00	51,51	15,25	78,54	23,34	120,19
PT4	ND	ND	27,98	144,12	ND	ND	65,30	336,28
PT5	2,88	14,83	26,77	137,84	14,88	76,63	62,45	321,64
PT6	5,88	30,30	10,91	56,19	30,40	156,55	25,46	131,12
PT7	6,99	35,99	36,08	185,80	36,10	185,94	84,18	433,54
PT8	5,43	27,94	20,24	104,26	28,03	144,35	47,24	243,28

ND = não determinado

As amostras de peixes foram compostas por organismos de 12 espécies, todas com hábito alimentar carnívoro (Tabela 7), mas com preferências alimentares e habitats distintos. A análise das concentrações dos diferentes elementos demonstrou que todas as espécies se encontravam contaminadas, no entanto, ocorreu uma elevada variabilidade entre as espécies no que diz respeito ao acúmulo de EPTs (Tabela 55, Tabela 56 e Tabela 57). Apesar disso, foi possível identificar que espécies de topo de cadeia trófica e de hábitos bentônicos (de fundo) foram as espécies que mais acumularam EPTs como, por exemplo, as espécies *Hypanus guttatus*, *Zapteryx brevirostris*, *Larimus breviceps*, *Paralonchurus brasiliensis*. Desse modo, como os organismos aquáticos concentram EPTs em quantidades superiores às encontradas nos demais compartimentos ambientais (água e sedimento), os mesmos são considerados responsáveis pela dinâmica de ciclagem desses elementos nos ecossistemas, atuando na exportação entre os ambientes aquáticos e terrestres, via cadeia alimentar, ampliando o risco humano à contaminação (RAMOS, 2005; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). Essa condição reforça a necessidade de um levantamento quanto aos hábitos e preferências alimentares da população local para melhor direcionamento quanto a futuros estudos de análise de risco, uma vez que conforme demonstrado, os peixes apresentaram-se com elevadas concentrações dos diferentes EPTs, especialmente de elementos de elevada periculosidade como, por exemplo, As (especialmente concentração total) e Hg (tanto concentração total quanto MeHg).

**Tabela 55. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
<i>Hypanus guttatus</i>	0,0002	4,2088	7,7806	0,0220	0,0006	0,0022	0,0587	0,1939	5,3140	0,1282	0,2192	0,0147	0,0033	0,0005	0,5016	0,0025	4,2324
<i>Zapteryx brevirostris</i>	0,0001	7,2124	53,6464	0,0204	0,0030	0,0033	0,0415	0,1217	10,7243	0,8949	0,2664	0,0110	0,0037	0,0006	0,7842	0,0009	4,0717
<i>Larimus breviceps</i>	0,0037	2,1182	2,0200	0,0397	0,0009	0,0023	0,0280	0,1990	3,7013	0,0567	0,2293	0,0085	0,0077	0,0188	0,4368	0,0084	4,0615
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	2,7616	1,6922	0,0345	0,0007	0,0042	0,0130	0,1316	2,0442	0,1593	0,1942	0,0073	0,0064	0,0007	0,4933	0,0008	3,1189
<i>Paralichthys patagonicus</i>	0,0007	8,1743	1,2175	0,0301	0,0010	0,0049	0,0361	0,1347	6,6854	0,0301	0,2075	0,0116	0,0063	0,0004	0,3955	0,0021	4,1196
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	2,0762	3,6507	0,0227	0,0005	0,0051	0,0184	0,1555	4,4172	0,0540	0,2643	0,0103	0,0041	0,0005	0,5702	0,0010	3,2319
<b>PT2</b>																	
<i>Larimus breviceps</i>	0,0035	1,5587	1,9418	0,0847	0,0005	0,0026	0,0544	0,1505	2,9673	0,0427	0,7279	0,0060	0,0013	0,0001	0,4428	0,0016	5,0624
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0010	4,1094	1,1503	0,1412	0,0004	0,0056	0,0236	0,1528	4,2436	0,1107	0,3975	0,0092	0,0153	0,0004	0,5625	0,0018	3,4161
<i>Paralichthys patagonicus</i>	0,0006	13,8348	0,8168	0,0411	0,0007	0,0075	0,0479	0,1230	9,6159	0,0522	0,2590	0,0135	0,0301	0,0004	0,3930	0,0015	4,1014
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	0,0003	3,9376	3,2176	0,0726	0,0004	0,0071	0,0166	0,1873	5,2128	0,0344	0,5117	0,0116	0,0035	0,0004	0,6371	0,0013	4,0104
<b>PT3</b>																	
<i>Larimus breviceps</i>	0,0007	2,9381	1,5840	0,2200	0,0005	0,0033	0,0156	0,2039	3,3552	0,0477	0,3605	0,0060	0,0025	0,0002	0,4221	0,0011	4,3983
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0004	2,1381	1,2667	0,1954	0,0006	0,0075	0,0372	0,1674	3,5014	0,0895	0,6893	0,0115	0,0020	0,0003	0,5795	0,0009	3,8398
<i>Paralichthys patagonicus</i>	0,0038	3,9333	0,5480	0,0192	0,0008	0,0047	0,0393	0,1052	3,9717	0,0571	0,2919	0,0077	0,0027	0,0012	0,3643	0,0014	3,8888
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	0,0010	3,1232	2,7209	0,0500	0,0011	0,0078	0,0181	0,1688	4,3247	0,0361	0,6179	0,0075	0,0017	0,0011	0,5844	0,0011	3,4251
<b>PT4</b>																	
<i>Anchoviella lepidontostole</i>	0,0003	1,4473	1,9884	0,0756	0,0034	0,0068	0,0165	0,4849	6,8629	0,0313	0,9656	0,0041	0,0020	0,0003	0,6302	0,0014	19,9457
<i>Centropomus parallelus</i>	ND	0,2414	0,1176	0,0155	0,0000	0,0022	0,0076	0,1081	2,4784	0,0961	0,2209	0,0012	ND	0,0002	0,7806	ND	3,1664
<i>Genidens genidens</i>	0,0004	5,1665	1,2268	0,9590	0,0004	0,0383	0,0235	0,2017	7,1131	0,2559	0,4510	0,0052	0,0140	0,0006	0,3413	0,0019	28,3337
<i>Oligoplites saliens</i>	0,0004	0,8453	0,4175	0,0059	0,0004	0,0015	0,0145	0,2129	3,7777	0,2979	0,1263	0,0015	0,0015	0,0001	0,3891	0,0011	3,1562
<b>PT5</b>																	
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0003	1,1654	0,8310	0,1233	0,0003	0,0049	0,0352	0,1227	2,3757	0,1054	0,2943	0,0173	0,0014	0,0002	0,6325	0,0007	3,3149
<b>PT6</b>																	
<i>Genidens genidens</i>	0,0001	6,8789	4,6136	0,0328	0,0002	0,0141	0,0193	0,2151	7,4648	0,0625	0,4327	0,0053	0,0034	ND	0,3020	0,0014	5,5204
<i>Nebris microps</i>	0,0004	3,1372	3,5914	0,0141	0,0002	0,0027	0,0150	0,1198	2,9545	0,0204	0,2893	0,0063	0,0017	0,0001	0,3148	0,0010	3,4297
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0003	5,6011	1,8024	0,0382	0,0002	0,0084	0,0166	0,1739	5,0292	0,0592	0,4772	0,0122	0,0019	0,0002	0,5563	0,0014	3,6923
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	0,0004	2,6768	1,7782	0,0104	0,0002	0,0072	0,0336	0,2064	4,0637	0,0435	0,3550	0,0049	0,0015	0,0002	0,7058	ND	4,2136
<b>PT7</b>																	
<i>Conodon nobilis</i>	0,0033	2,1101	9,2125	0,0135	0,0011	0,0049	0,0240	0,2776	5,3762	0,4420	0,2377	0,0180	0,0020	0,0003	0,8811	0,0012	5,3144
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0017	1,9970	4,0623	0,0258	0,0004	0,0046	0,0227	0,1590	3,3906	0,1819	0,3413	0,0072	0,0017	0,0002	0,8198	0,0013	4,2687
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	0,0007	4,2832	2,2923	0,0320	0,0003	0,0070	0,0189	0,1676	4,4025	0,0617	0,3494	0,0099	0,0330	0,0002	0,7835	0,0005	3,2995
<b>PT8</b>																	
<i>Nebris microps</i>	0,0004	1,1631	1,3339	0,0066	0,0002	0,0014	0,0169	0,1152	2,1384	0,0768	0,1319	0,0032	0,0019	0,0003	0,5947	0,0004	3,4424
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0016	2,9606	3,6289	0,0246	0,0002	0,0044	0,0357	0,1374	3,7310	0,1321	0,3701	0,0135	0,0021	0,0003	0,8506	0,0022	4,4358
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	0,0005	3,8247	3,1710	0,0216	0,0003	0,0063	0,0213	0,1968	26,5054	0,0700	0,4184	0,0060	0,0115	0,0004	0,9821	0,0007	4,6200

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado

Tabela 56. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a primeira campanha

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1																	
<i>Hypanus guttatus</i>	ND	1,1805	4,4500	0,1853	ND	ND	0,0306	0,1536	2,5620	0,0719	0,1659	ND	ND	ND	0,2423	ND	3,1459
<i>Zapteryx brevirostris</i>	ND	4,3248	29,8868	0,0207	ND	ND	0,0382	0,1764	4,2082	0,5340	0,1684	0,0268	ND	ND	0,4044	ND	3,2949
<i>Larimus breviceps</i>	ND	4,1341	0,7188	0,0299	ND	ND	0,0620	0,1836	3,9456	0,0211	0,1617	0,0433	ND	ND	0,2117	ND	3,3759
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	1,3360	1,5009	0,0988	ND	ND	0,0385	0,1598	2,8426	0,0409	0,1981	ND	ND	ND	0,2676	ND	3,6726
<i>Paralichthys patagonicus</i>	ND	1,6459	2,5649	0,0427	ND	ND	0,0395	0,1733	3,8602	0,0458	0,2441	0,0600	ND	ND	0,3928	ND	3,1196
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	0,7324	1,1905	0,0576	ND	ND	0,0486	0,1842	2,2053	0,1277	0,1947	0,0315	ND	ND	0,3627	ND	3,0000
PT2																	
<i>Larimus breviceps</i>	ND	1,2618	1,2006	0,0778	ND	ND	0,0210	0,1414	1,8113	0,0194	0,6640	ND	ND	ND	0,2286	ND	2,6968
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	3,4577	0,8100	0,1488	ND	ND	0,0309	0,1635	3,5607	0,0536	0,3601	0,0436	0,0358	ND	0,3589	ND	3,0451
<i>Paralichthys patagonicus</i>	ND	3,9590	0,5816	0,0312	ND	ND	0,0269	0,1108	4,1456	0,0153	0,1577	0,0394	ND	ND	0,2553	ND	3,5903
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	2,9144	2,2366	0,0313	ND	ND	ND	0,2047	3,6297	0,0167	0,2558	0,0370	ND	ND	0,3931	ND	3,0408
PT3																	
<i>Larimus breviceps</i>	ND	2,1471	1,2798	0,0523	ND	ND	0,0179	0,1477	2,5379	0,0221	0,2647	0,0407	ND	ND	0,2731	ND	3,3963
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	1,1072	0,8684	0,1457	ND	ND	0,0287	0,1326	2,9900	0,0468	0,3803	ND	ND	ND	0,3627	ND	2,4637
<i>Paralichthys patagonicus</i>	ND	1,0764	0,5561	0,0365	ND	ND	0,0344	0,1387	2,3312	0,0268	0,3583	0,0355	ND	ND	0,2725	ND	3,5112
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	1,5396	2,0804	0,0386	ND	ND	0,0237	0,2378	3,0259	0,0204	0,3590	0,0396	ND	ND	0,3831	ND	2,5742
PT4																	
<i>Anchoviella lepidentostole</i>	ND	1,3132	1,2956	0,0740	ND	ND	0,0251	0,5201	6,0751	0,0273	0,6950	0,0259	0,0377	ND	0,2942	ND	16,6030
<i>Centropomus parallelus</i>	ND	1,1925	0,0858	0,0722	ND	ND	ND	0,1145	13,8088	0,0870	0,3075	ND	ND	ND	0,4255	ND	2,4769
<i>Genidens genidens</i>	ND	4,0816	0,8377	1,0820	ND	0,0311	0,0967	0,2502	7,7759	0,1822	0,3899	ND	ND	ND	0,1888	ND	18,7650
<i>Oligoplites saliens</i>	ND	1,0374	0,2944	ND	ND	ND	0,2252	0,2589	4,0268	0,2118	0,0966	ND	ND	ND	0,2219	ND	2,3179
PT5																	
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	1,0273	0,6722	0,1883	ND	ND	0,0987	0,1548	2,5441	0,0880	0,3393	0,0347	ND	ND	0,3748	ND	2,8678
PT6																	
<i>Genidens genidens</i>	ND	8,2866	4,9227	0,0601	ND	ND	0,0308	0,2312	9,3202	0,0600	0,6528	0,0434	ND	ND	0,1755	ND	4,2050
<i>Nebris microps</i>	0,1942	3,7385	2,7392	0,0479	ND	ND	0,4380	0,1477	26,0718	0,0192	0,6073	0,0505	ND	ND	0,2032	ND	2,4199
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	0,0403	5,3256	1,3766	0,0799	ND	ND	0,0271	0,1984	5,2774	0,0460	0,5849	0,0196	0,0190	ND	0,3647	ND	2,9275
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	0,0492	4,8240	1,1577	0,0631	ND	ND	ND	0,2514	4,8726	0,0375	0,3973	ND	0,1210	ND	0,4517	ND	2,7272
PT7																	
<i>Conodon nobilis</i>	ND	0,9692	6,3110	0,0311	ND	ND	0,1426	0,2864	4,4697	0,1608	0,2019	0,0270	ND	ND	0,4369	ND	2,9112
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	1,0358	2,6372	0,0465	ND	ND	0,0378	0,1312	2,3178	0,0786	0,3652	ND	ND	ND	0,4358	ND	2,8312
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	2,1412	1,8091	0,0422	ND	ND	0,0462	0,1653	4,2883	0,0321	0,2585	ND	ND	ND	0,4766	ND	2,5295
PT8																	
<i>Nebris microps</i>	ND	0,8678	0,9415	0,0479	ND	ND	0,0345	0,1101	1,7059	0,0524	0,1258	ND	ND	ND	0,3038	ND	2,2940
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	1,1301	2,6646	0,0426	ND	ND	0,0992	0,1224	1,9764	0,0749	0,2510	ND	ND	ND	0,4507	ND	2,8837
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	1,9104	1,9302	ND	ND	ND	0,0469	0,1733	3,1864	0,0593	0,2917	0,0410	ND	ND	0,4872	ND	2,6192

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado

**Tabela 57. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a primeira campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
<i>Hyanus guttatus</i>	ND	ND	5,6233	0,1040	ND	ND	0,1105	5,3867	2,4837	0,0766	0,2015	0,0502	0,1740	ND	0,6193	0,0705	3,0090
<i>Zapteryx brevirostris</i>	ND	0,8040	27,2533	0,4940	ND	ND	0,0532	1,8460	4,8700	0,4590	0,7750	0,4370	0,0874	ND	0,9360	ND	3,7550
<i>Larimus breviceps</i>	ND	11,7435	1,0773	0,1171	ND	ND	0,0682	2,9308	5,4338	0,0766	0,2765	0,3887	0,0509	0,1130	0,6065	ND	2,1077
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	9,6100	1,0067	0,1602	ND	ND	0,1074	2,1013	7,3493	0,1048	0,9330	0,2771	0,5480	ND	1,0986	ND	2,3068
<i>Paralichthys patagonicus</i>	1,0000	1,1540	0,5813	0,0453	1,000	1,000	0,0991	1,3032	4,8400	0,1330	0,3811	0,6710	0,4068	1,0000	0,5822	1,0000	2,7759
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	1,0300	2,0086	0,1620	ND	ND	0,1032	2,4601	5,3685	0,0886	0,2157	0,4323	0,0660	ND	0,6346	ND	2,0196
<b>PT2</b>																	
<i>Larimus breviceps</i>	ND	0,4390	0,9062	0,0968	ND	ND	0,0718	3,1878	1,2988	ND	0,1745	0,4450	0,0647	ND	0,5317	ND	1,4777
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	19,7950	0,5238	0,1441	ND	ND	0,2877	2,4064	6,9375	0,0837	0,2650	0,4263	0,0923	ND	0,6057	6,6650	1,9306
<i>Paralichthys patagonicus</i>	ND	ND	0,4174	0,0885	ND	ND	0,1020	1,7640	7,4000	ND	0,1960	0,1720	0,1170	ND	0,1300	ND	3,1538
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	152,0000	1,4255	0,0537	ND	ND	0,0860	1,5641	6,4093	ND	0,2397	0,2491	0,0641	ND	0,3719	ND	1,9113
<b>PT3</b>																	
<i>Larimus breviceps</i>	ND	2,3500	0,9866	0,0803	ND	ND	0,0785	2,6125	4,4790	ND	0,3658	0,1745	0,0689	ND	0,6250	ND	2,4483
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	11,4630	0,5944	0,2325	ND	ND	0,0687	3,4563	5,2020	0,0636	0,3377	0,3269	0,0707	ND	0,6349	ND	1,9087
<i>Paralichthys patagonicus</i>	ND	ND	0,4628	ND	ND	ND	0,0712	3,9955	4,3485	0,0782	ND	0,2190	ND	ND	0,4890	ND	2,0675
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	ND	1,5458	ND	ND	ND	0,1406	2,1131	3,1688	ND	0,1254	0,3835	ND	ND	0,3840	ND	1,3369
<b>PT4</b>																	
<i>Anchoviella lepidentostole</i>	ND	0,5515	0,8712	0,0874	ND	0,0605	0,1033	3,0338	5,9800	ND	0,5618	0,5264	0,1254	ND	0,6264	ND	12,7320
<i>Centropomus parallelus</i>	ND	ND	0,0942	0,0794	ND	ND	0,0782	2,9550	4,2600	0,0877	0,3005	0,5470	0,0800	ND	1,1700	ND	3,5250
<i>Genidens genidens</i>	ND	1,3900	0,9838	0,5063	ND	ND	0,1398	7,0596	4,1080	0,2094	0,1760	ND	0,0824	ND	0,6857	1,2325	12,2629
<i>Oligoplites saliens</i>	ND	ND	0,2489	0,0521	ND	ND	0,1010	4,7029	2,4008	0,2035	0,1440	0,5725	ND	ND	0,5337	0,3120	1,8373
<b>PT5</b>																	
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	ND	0,6013	0,2082	ND	ND	0,1462	3,7655	6,4782	0,0745	0,2265	0,3317	0,0644	ND	0,5194	ND	2,0304
<b>PT6</b>																	
<i>Genidens genidens</i>	ND	29,4000	4,2900	0,0768	ND	ND	0,0505	2,3170	6,7333	0,0528	0,5780	0,6640	0,0671	ND	0,5075	ND	7,6167
<i>Nebris microps</i>	ND	ND	1,8003	ND	ND	ND	0,0703	2,4277	7,0175	ND	0,0857	0,5266	ND	ND	1,0967	ND	1,3956
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	12,8883	1,0548	0,0714	ND	ND	0,2175	3,4446	5,6210	0,0552	0,3063	0,2472	0,0837	ND	0,7393	ND	1,9851
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	ND	1,1920	ND	ND	ND	0,1093	6,7800	10,1150	ND	ND	ND	ND	ND	1,3700	ND	1,9067
<b>PT7</b>																	
<i>Conodon nobilis</i>	ND	2,3700	5,4317	0,0850	ND	0,0679	0,2066	2,8359	3,9731	0,2873	0,3990	0,3592	0,0909	ND	0,8967	1,4500	2,7723
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	132,0000	2,0115	ND	ND	ND	0,0840	2,3967	8,0989	0,0889	0,2503	1,2914	ND	ND	0,5273	2,5375	1,9914
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	104,0000	1,4888	0,5710	ND	ND	0,1036	2,0408	8,5017	0,0610	0,2401	0,3391	0,0653	ND	0,7549	ND	2,4420
<b>PT8</b>																	
<i>Nebris microps</i>	ND	9,0733	0,7787	0,0573	ND	ND	0,2211	3,7543	6,7183	0,1023	0,1942	0,2356	0,0713	ND	1,0312	0,1650	1,6797
<i>Ophioscion punctatissimus</i>	ND	2,4167	2,3436	0,0751	ND	ND	0,1394	5,6454	3,9181	0,1071	0,1956	0,3256	0,0552	ND	1,0243	ND	2,0295
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	ND	2,3350	1,4084	0,0573	ND	ND	0,1512	2,7989	3,9282	0,0830	0,1566	0,5577	0,0515	ND	0,6295	ND	1,9535

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado

### 3.2 Campanha 2 – estação seca

A segunda campanha foi realizada entre os dias 24 de setembro a 01 de outubro de 2019. Essa campanha correspondeu a estação seca e ocorreu dentro do previsto, sem registro de atipicidade e/ou qualquer outra alteração.

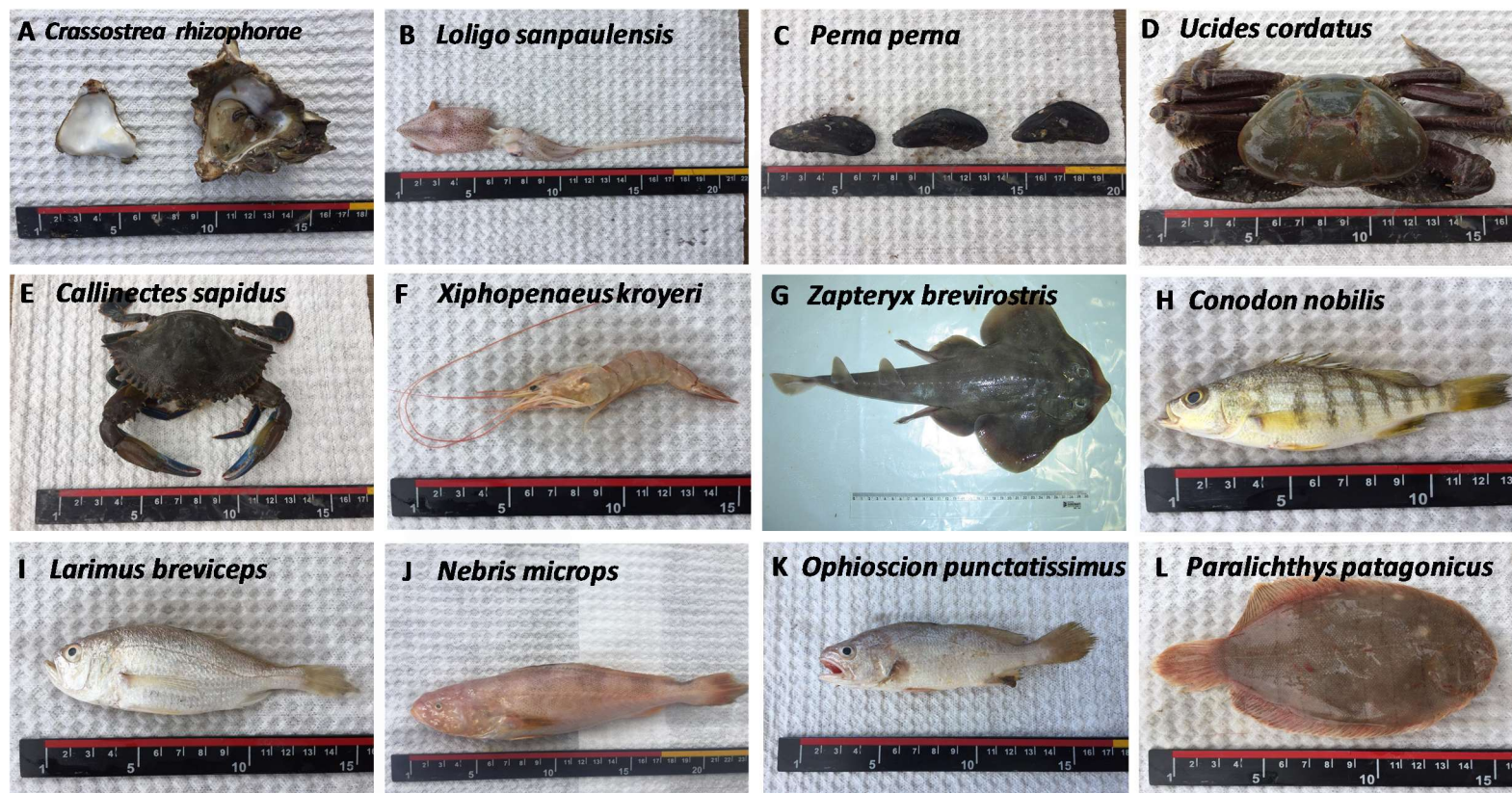
Durante a segunda campanha foram capturados 3.021 organismos divididos em três espécies de moluscos, três espécies de crustáceos e dezessete espécies de peixes (Tabela 58 e Figura 8). Os organismos foram separados em 639 amostras. Da mesma forma que na primeira campanha, cada uma dessas amostras também foi composta por 4 tubos, que foram encaminhados separadamente a cada um dos laboratórios. Nesta campanha, foram amostrados exemplares de peixes de dois hábitos alimentares distintos: carnívoro e detritívoro. No entanto, a grande maioria das espécies caracterizou-se por apresentar a carnívoros como hábito alimentar, sendo a espécie *Mugil liza* a única espécie detritívora capturada (Tabela 58). Diferentemente da primeira campanha, exemplares da espécie de lula, *Loligo sanpaulensis*, só foram capturados no ponto 1 (foz do Piraquê-Açu). Além das lulas, ocorreram neste ponto exemplares de moluscos das espécies *Crassostrea rhizophorae* (ostra do mangue) e *Perna perna* (mexilhão/marisco). Apesar disso, essas espécies não ocorreram em nenhum outro ponto. Além disso, a única espécie de camarão capturada nesta campanha foi a espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas), ou seja, exemplares de camarão branco (*Litopenaeus schmitti*) e camarão rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) não foram amostrados, embora, os esforços e petrechos de captura tenham sido exatamente os mesmos nas duas campanhas. Adicionalmente, nesta amostragem foi possível capturar siris (*Callinectes sapidus*) nos pontos 1 e 5 (foz do rio Doce) e caranguejos (*Ucides cordatus*) nos pontos 1 e 8 (Guriri), os quais não haviam sido amostrados na primeira campanha (Tabela 58).

A redução no número de amostras em relação ao número total de indivíduos amostrados, assim como já relatado na primeira campanha, ocorreu devido à necessidade de realização de *pools* para compor a massa mínima exigida pelos laboratórios, que é de 5 g de tecido úmido por tubo de amostra. Esses *pools* foram realizados principalmente para as amostras de lulas, mexilhões, camarões, siris e alguns peixes pequenos. Devido a isso, as amostras não foram consideradas como contraprovas, mas sim, como amostras distintas, enviadas para diferentes laboratórios.

**Tabela 58. Lista das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturados para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha**

Ponto	Grupo taxonômico	Espécie	Nome comum	Hábito alimentar
PT 1	Moluscos	<i>Crassostrea rhizophorae</i>	Ostra do mangue	Omnívoro
		<i>Loligo sanpaulensis</i>	Lula	Carnívoro
		<i>Perna perna</i>	Mexilhão ou marisco	Omnívoro
	Crustáceos	<i>Ucides cordatus</i>	Caranguejo uça	Herbívoros
		<i>Callinectes sapidus</i>	Siri azul	Omnívoro
		<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes cartilagosos	<i>Zapteryx brevirostris</i>	Cação viola ou raia viola	Carnívoro
	Peixes ósseos	<i>Conodon nobilis</i>	Roncador	Carnívoro
		<i>Larimus breviceps</i>	Cangoá ou oveva	Carnívoro
		<i>Nebris microps</i>	Pescadinha ou pescada banana	Carnívoro
<i>Ophioscion punctatissimus</i>		Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro	
<i>Paralichthys patagonicus</i>		Linguado	Carnívoro	
<i>Plagioscion squamosissimus</i>		Corvina	Carnívoro	
PT 2	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes cartilagosos	<i>Zapteryx brevirostris</i>	Cação viola ou raia viola	Carnívoro
	Peixes ósseos	<i>Larimus breviceps</i>	Cangoá ou Oveva	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralanchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
PT 3	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Larimus breviceps</i>	Cangoá ou Oveva	Carnívoro
		<i>Nebris microps</i>	Pescadinha ou pescada banana	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralanchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
PT 4	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Genidens genidens</i>	Bagre	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralanchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
PT 5	Crustáceos	<i>Callinectes sapidus</i>	Siri azul	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
		<i>Genidens genidens</i>	Bagre	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralanchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
PT 6	Peixes ósseos	<i>Centropomus parallelus</i>	Robalo peva	Carnívoro
		<i>Centropomus undecimalis</i>	Robalo flecha	Carnívoro
		<i>Diapterus rhombeus</i>	Carapeba ou caratinga	Carnívoro
		<i>Genidens genidens</i>	Bagre	Carnívoro
		<i>Mugil liza</i>	Tainha	Detritívoro
		<i>Oligoplites saliens</i>	Guaivira	Carnívoro
		<i>Pomadasys crocro</i>	Ticopá	Carnívoro
		<i>Trachinotus falcatus</i>	Pampo	Carnívoro
PT 7	Crustáceos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
	Peixes ósseos	<i>Cynoscion steiachneri</i>	Pescada verdadeira	Carnívoro
		<i>Nebris microps</i>	Pescadinha ou pescada banana	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralanchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro
PT 8	Crustáceos	<i>Ucides cordatus</i>	Caranguejo uça	Herbívoros
	Peixes ósseos	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarão sete barbas	Omnívoro
		<i>Cynoscion steiachneri</i>	Pescada verdadeira	Carnívoro
		<i>Nebris microps</i>	Pescadinha ou pescada banana	Carnívoro
		<i>Ophioscion punctatissimus</i>	Cangaguá ou pescada cabeça dura	Carnívoro
		<i>Paralichthys patagonicus</i>	Linguado	Carnívoro
<i>Paralanchurus brasiliensis</i>	Maria Luísa	Carnívoro		

Figura 8. Prancha de imagens das espécies de pescado (moluscos, crustáceos e peixes) capturadas para avaliação quali e quantitativa de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha



**M** *Paralonchurus brasiliensis*



**N** *Plagioscion squamosissimus*



**O** *Cynoscion steiachneri*



**P** *Genidens genidens*



**Q** *Centropomus parallelus*



**R** *Centropomus undecimalis*



**S** *Oligoplites saliens*



**T** *Diapterus rhombeus*



**U** *Mugiliza*



**V** *Pomadasys crocro*



**X** *Trachinotus falcatus*



**Fontes:** Lactec (imagens A, B, C, D, E, F, H, I, J, K, L, M, O, P, R e S); Mackenzie (imagem G, disponível em [https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/47/Graduacao/CCBS/Cursos/Ciencias\\_Biologicas/TCC/TCC\\_1\\_2017/Nayara\\_Calmon\\_Rosa.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/47/Graduacao/CCBS/Cursos/Ciencias_Biologicas/TCC/TCC_1_2017/Nayara_Calmon_Rosa.pdf), acesso realizado em 15/10/2019); Ribeiro, 2016 (imagem N); Peixes desportivos do mundo (imagem Q, disponível em <http://peixesdesportivosdomundo.blogspot.com/2012/03/o-camurim-obeso-centropomus-parallelus.html>, acesso realizado em 15/10/2019); Neto, 2017 (imagem T); Fish Base (imagem U, <http://fishbase.sinica.edu.tw/identification/SpeciesList.php?genus=Mugil>, acesso realizado em 13/03/2020); FishBase (imagem V, disponível em <https://www.fishbase.in/identification/SpeciesList.php?genus=Pomadasys>, acesso realizado em 13/03/2020); Burgess, G.H (imagem X, disponível em <https://www.floridamuseum.ufl.edu/discover-fish/species-profiles/trachinotus-falcatus/>, acesso realizado em 13/03/2020).

Do mesmo modo que na primeira campanha, os resultados das análises realizadas em tecido muscular de pescado, para qualificação e quantificação de EPTs, foram obtidos dos três (3) laboratórios acreditados. Os resultados fornecidos pelo laboratório 1 indicaram a presença de todos os elementos avaliados em todos os pontos e grupos taxonômicos amostrados, exceto o elemento Ag, que não esteve presente nas amostras de crustáceos capturados nos pontos 2 (Barra do Riacho) e 3 (Vila do Riacho) (Tabela 59).

Os resultados apresentados pelo laboratório 2 indicaram a ausência dos elementos Ag, Sb e Sn em todos os pontos e grupos taxonômicos amostrados. Além disso, o elemento Cd só foi determinado em amostras de moluscos e crustáceos capturados no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu). Do mesmo modo, o elemento Co só foi determinado em moluscos e crustáceos capturados no PT 1 e em peixes dos pontos 2, 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri). O elemento Hg não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 3 (Vila do Riacho) e 4. Por fim, o elemento Pb não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 4, 5 e 7 (Pontal do Ipiranga) e em peixes dos pontos 2 e 3 (Tabela 60).

Os resultados apresentados pelo laboratório 3 indicaram a ausência do elemento Ag em todos os pontos e grupos taxonômicos amostrados. O Cd não foi determinado em crustáceos dos pontos 2 e 7 e em peixes dos pontos 3 e 5. Do mesmo modo, o elemento Co não foi determinado em crustáceos dos pontos 2 e 3 e em peixes do ponto 3. O elemento Hg não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 4 e 8. O elemento Ni não foi determinado em crustáceos do ponto 7 e o elemento Sb não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 3 e 7 e em peixes dos pontos 3 e 5 (Tabela 61).

Conforme demonstrado, e, assim como na primeira campanha, alguns elementos não foram quantificados, podendo esta ausência de resultados estar tanto relacionada ao limite de quantificação (Tabela 11), quanto por se tratar de amostras diferentes, equipamentos diferentes, *modus operandi* diferente e de condições experimentais específicas de cada um dos laboratórios acreditados, assim como já discutido no item 3.1.

**Tabela 59. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
Moluscos	0,0187	159,3114	4,6321	0,2964	0,0626	0,0966	0,2377	3,8458	97,9947	0,0228	7,1005	0,2207	0,0524	0,0025	1,1248	0,0118	43,6026
Crustáceos	0,0089	39,2488	6,5789	0,4535	0,0073	0,0185	0,0486	5,0619	22,9073	0,1318	1,8127	0,0438	0,0109	0,0018	0,6995	0,0038	31,2758
Peixes	0,0008	9,0531	5,3105	0,0740	0,0013	0,0081	0,0359	0,1918	10,8610	0,1302	0,5925	0,0085	0,0061	0,0004	0,7907	0,0079	4,0881
<b>PT2</b>																	
Crustáceos	ND	3,4028	10,3869	0,0264	0,0054	0,0119	0,0164	2,8474	4,2106	0,0315	0,3051	0,0188	0,0031	0,0014	0,8263	0,0007	10,1606
Peixes	0,0033	6,8006	2,4238	0,0674	0,0017	0,0129	0,0432	0,2077	8,5447	0,0337	0,4376	0,0135	0,0095	0,0007	0,6292	0,0025	5,6898
<b>PT3</b>																	
Crustáceos	ND	8,1302	12,7974	0,0436	0,0090	0,0155	0,0206	4,0941	6,6457	0,0306	0,3620	0,0235	0,0057	0,0019	0,8715	0,0012	12,0569
Peixes	0,0006	4,2939	1,9051	0,1285	0,0007	0,0037	0,0206	0,1348	6,4285	0,0304	0,4481	0,0078	0,0056	0,0004	0,5234	0,0010	3,9566
<b>PT4</b>																	
Crustáceos	0,0346	11,3105	8,0359	0,0506	0,0060	0,0120	0,0207	3,8692	10,1071	0,0184	0,4426	0,0282	0,0057	0,0020	0,6199	0,0015	11,7726
Peixes	0,0003	55,3789	4,0128	0,2627	0,0008	0,0263	0,0963	0,2425	51,7303	0,0598	2,5778	0,0351	0,0335	0,0011	0,6592	0,0041	10,1557
<b>PT5</b>																	
Crustáceos	0,0480	8,6062	11,6743	0,3462	0,0093	0,0133	0,0173	6,2165	10,4749	0,0749	0,6296	0,0275	0,0072	0,0024	0,7250	0,0012	21,5968
Peixes	0,0005	17,0450	4,4509	0,1527	0,0009	0,0126	0,0399	0,2363	19,9738	0,0556	1,0779	0,0198	0,0213	0,0009	0,5675	0,0016	7,2155
<b>PT6</b>																	
Peixes	0,0008	1,8153	0,8273	0,0716	0,0006	0,0053	0,0507	0,3547	16,4500	0,2387	0,4069	0,0058	0,0111	0,0008	0,6813	0,0018	6,0650
<b>PT7</b>																	
Crustáceos	0,0215	3,8350	13,6928	0,0434	0,0024	0,0096	0,0082	1,8937	5,8055	0,0307	0,2738	0,0177	0,0041	0,0031	0,8588	0,0011	11,1297
Peixes	0,0038	6,5154	4,2315	0,1013	0,0006	0,0045	0,1151	0,1853	11,0853	0,0480	0,5696	0,0120	0,0074	0,0004	0,9537	0,0018	4,5888
<b>PT8</b>																	
Crustáceos	0,0187	37,7243	6,8198	0,4689	0,0016	0,0096	0,0462	2,8716	18,1227	0,0272	0,3757	0,0611	0,0077	0,0016	0,6491	0,0022	21,8079
Peixes	0,0043	5,6765	2,0949	0,0536	0,0007	0,0043	0,0448	0,1546	7,3000	0,0684	0,3316	0,0141	0,0042	0,0005	0,9053	0,0017	3,6247

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

**Tabela 60. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
Moluscos	ND	225,9098	3,5042	0,4931	0,0817	0,1773	0,4476	5,7131	166,9045	0,0485	7,0214	0,3417	0,1743	ND	0,5847	ND	43,7770
Crustáceos	ND	41,3402	5,4243	0,7184	0,0950	0,0502	0,1583	7,8336	29,9714	0,1939	1,4699	0,2250	0,6500	ND	0,3713	ND	31,1360
Peixes	ND	11,9372	3,3825	0,1749	ND	ND	0,5259	10,3023	10,6043	0,1542	0,4801	0,1625	2,0247	ND	0,3533	ND	8,2601
<b>PT2</b>																	
Crustáceos	ND	4,1451	9,2724	0,1314	ND	ND	0,0562	3,4051	6,9611	ND	0,2223	0,1120	ND	ND	0,3741	ND	9,4947
Peixes	ND	4,0510	1,9064	0,1101	ND	0,1149	0,1456	0,1590	16,8168	0,9172	0,3475	0,0924	ND	ND	0,3351	ND	3,0131
<b>PT3</b>																	
Crustáceos	ND	6,1314	11,5788	0,0679	ND	ND	0,0934	4,7388	9,7864	ND	0,1777	0,0944	0,0488	ND	0,3922	ND	10,4172
Peixes	ND	10,6118	1,6577	0,1755	ND	ND	0,1196	0,1715	12,2497	0,0362	0,5494	0,0804	ND	ND	0,3298	ND	4,0464
<b>PT4</b>																	
Crustáceos	ND	19,1399	5,4618	0,2053	ND	ND	0,0650	4,3795	13,2387	ND	0,2434	0,0724	ND	ND	0,3505	ND	9,9472
Peixes	ND	38,8633	2,2392	0,1962	ND	0,0287	0,1086	0,4709	38,8926	0,0563	1,3626	0,0467	0,0295	ND	0,3350	ND	5,9582
<b>PT5</b>																	
Crustáceos	ND	11,2135	6,6052	1,6161	ND	ND	0,0894	6,3615	14,3369	0,2777	0,5443	0,1790	ND	ND	0,3857	ND	17,7401
Peixes	ND	22,7734	2,2433	0,2098	ND	0,0348	0,1030	0,2004	32,1924	0,0588	1,2928	0,0523	0,0808	ND	0,2877	ND	5,8785
<b>PT6</b>																	
Peixes	ND	3,4696	0,4309	0,3451	ND	ND	0,1181	0,5196	15,3590	0,2000	0,2860	0,0822	0,0963	ND	0,3099	ND	4,2372
<b>PT7</b>																	
Crustáceos	ND	8,9149	8,4251	0,1663	ND	ND	0,0618	1,9442	4,6433	0,0456	0,1658	0,0476	ND	ND	0,4167	ND	7,9716
Peixes	ND	8,6079	2,8246	0,3111	ND	ND	0,3050	0,2970	9,5708	0,0463	0,5253	0,6440	0,0761	ND	0,6864	ND	5,7336
<b>PT8</b>																	
Crustáceos	ND	39,9217	5,8418	1,9332	ND	ND	0,2116	5,5073	28,5469	0,0507	0,5046	1,7643	2,4286	ND	0,4276	ND	31,6833
Peixes	ND	5,8273	1,5171	0,2868	ND	0,0558	0,1979	0,2404	11,0958	0,0861	0,3585	0,2433	0,0866	ND	0,6221	ND	3,8091

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

**Tabela 61. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, para cada grupo taxonômico avaliado (moluscos, crustáceos e peixes) nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição de pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT1</b>																	
Moluscos	ND	84,5552	3,8635	0,3245	0,0952	0,1615	0,2846	10,2407	117,4613	0,0757	7,1661	0,2980	0,1447	0,0812	0,6858	0,1961	55,8992
Crustáceos	ND	22,4368	6,7090	0,5769	0,0933	0,0839	0,1102	11,2943	28,7200	0,2612	1,4470	0,1126	0,0969	0,0812	0,3066	0,2347	37,6817
Peixes	ND	6,6738	3,3983	0,2626	0,1030	0,1165	0,1548	4,7116	21,7538	0,2375	0,7269	0,3228	0,0839	0,0693	0,3367	0,2286	17,2381
<b>PT2</b>																	
Crustáceos	ND	8,6055	9,8945	0,1627	ND	ND	0,1138	8,4120	12,8755	ND	0,5923	0,0771	0,0611	ND	0,3412	0,1464	13,1355
Peixes	ND	4,2950	2,2717	0,1680	0,1208	0,1121	0,1575	4,0333	9,3525	0,0602	0,4180	0,1092	0,1222	0,0780	0,4197	0,2318	4,4128
<b>PT3</b>																	
Crustáceos	ND	7,0660	14,7580	0,1662	0,0764	ND	0,0988	11,0125	12,8885	0,0708	0,5686	0,0616	0,0646	ND	0,3765	0,2667	14,5250
Peixes	ND	6,1323	2,0810	0,2423	ND	ND	0,0956	4,2223	12,2477	0,0721	0,7854	0,0735	0,0863	ND	0,3212	0,2345	6,1263
<b>PT4</b>																	
Crustáceos	ND	5,2641	6,1385	0,1324	0,1086	0,1315	0,1467	8,5578	8,5081	ND	0,4147	0,1204	0,0854	0,0943	0,5306	0,2334	11,7933
Peixes	ND	17,9857	2,9516	0,2414	0,1230	0,1240	0,1884	4,1417	33,1667	0,0763	1,3920	0,0741	0,0764	0,1222	0,3787	0,4759	10,2093
<b>PT5</b>																	
Crustáceos	ND	5,1682	7,0644	1,2597	0,1250	0,1002	0,1301	12,0130	9,9161	0,2058	1,0052	0,1158	0,0739	0,1300	0,4717	0,2379	21,6233
Peixes	ND	10,7388	2,6501	0,2691	ND	0,0491	0,0962	3,8006	18,0676	0,0892	1,2789	0,1030	0,0744	ND	0,2983	0,2337	9,3959
<b>PT6</b>																	
Peixes	ND	3,9357	0,6123	0,2148	0,1071	0,0908	0,1308	4,1061	16,4471	0,2866	0,3981	0,1057	0,0806	0,1223	0,3767	0,3359	6,7250
<b>PT7</b>																	
Crustáceos	ND	4,4829	9,0417	0,1372	ND	0,0828	0,0887	5,5654	6,2050	0,0610	0,3011	ND	0,0570	ND	0,2979	1,3888	14,7608
Peixes	ND	5,7821	2,6989	0,1877	0,0947	0,0709	0,1738	4,1849	7,9541	0,0696	0,3964	0,0771	0,0908	0,1205	0,3935	0,4384	4,8034
<b>PT8</b>																	
Crustáceos	ND	29,4868	5,7394	0,6723	0,1197	0,1014	0,1100	8,1841	16,7416	ND	0,3750	0,0972	0,0859	0,0740	0,2972	0,1872	31,9516
Peixes	ND	3,0843	1,6186	0,1576	0,0949	0,0777	0,1596	4,0309	6,6278	0,1233	0,2839	0,1059	0,0788	0,1265	0,3083	0,2158	3,9213

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

Apesar das diferenças encontradas entre os laboratórios, os elementos Al, As (exceto no PT 6 – de acordo com os três laboratórios), Cu (exceto nos pontos 6 e 7 – de acordo com os laboratórios 1 e 2), Fe e Zn apresentaram concentrações médias acima de  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média da concentração de todos os elementos que possuem limites legislados no Brasil) de acordo com os resultados obtidos pelos três laboratórios (Tabela 62, Tabela 63 e Tabela 64). Além disso, o elemento Mn também apresentou concentrações médias maiores que  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  nos pontos 1 (de acordo com os resultados dos três laboratórios), 4 (de acordo com os resultados do laboratório 1) e 5 (de acordo com os resultados do laboratório 3) (Tabela 62, Tabela 63 e Tabela 64).

**Tabela 62. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1	0,0080	82,7078	5,5374	0,3293	0,0275	0,0459	0,1203	3,4703	51,3427	0,0863	3,5649	0,1040	0,0270	0,0019	0,8835	0,0088	29,7428
PT2	0,0033	5,6269	5,2678	0,0527	0,0031	0,0125	0,0336	1,1505	6,9968	0,0329	0,3903	0,0154	0,0072	0,0010	0,6996	0,0023	7,2865
PT3	0,0006	5,6889	5,8659	0,0970	0,0037	0,0080	0,0206	1,5745	6,5075	0,0305	0,4168	0,0141	0,0056	0,0009	0,6500	0,0010	6,9022
PT4	0,0293	34,5044	5,9185	0,1663	0,0033	0,0195	0,0605	1,9604	32,0140	0,0402	1,5664	0,0318	0,0203	0,0017	0,6406	0,0031	10,9216
PT5	0,0441	11,4754	9,2183	0,2857	0,0065	0,0131	0,0250	4,1833	13,7045	0,0683	0,7820	0,0248	0,0120	0,0021	0,6714	0,0014	16,7072
PT6	0,0008	1,8153	0,8273	0,0716	0,0006	0,0053	0,0507	0,3547	16,4500	0,2387	0,4069	0,0058	0,0111	0,0008	0,6813	0,0018	6,0650
PT7	0,0095	5,8968	6,4149	0,0880	0,0011	0,0058	0,0896	0,5796	9,8669	0,0440	0,5013	0,0135	0,0069	0,0011	0,9318	0,0018	6,0982
PT8	0,0086	19,2725	4,0994	0,2298	0,0011	0,0066	0,0454	1,3072	11,8915	0,0509	0,3503	0,0340	0,0057	0,0010	0,7966	0,0019	11,3388

Células vermelhas correspondem a concentrações acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>; as células amarelas a concentrações entre 0,5 e 1 mg.kg<sup>-1</sup> e, as células verdes a concentrações abaixo de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 63. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1	ND	104,9470	4,2093	0,5042	0,0821	0,1740	0,2889	7,6050	77,7383	0,1382	3,3582	0,2831	0,3743	ND	0,4625	ND	30,5758
PT2	ND	4,0830	4,5371	0,1149	ND	0,1149	0,1387	1,5115	13,2969	0,9172	0,3028	0,1018	ND	ND	0,3490	ND	5,3280
PT3	ND	8,9826	5,2653	0,1316	ND	ND	0,1121	1,8631	11,3540	0,0362	0,4142	0,0820	0,0488	ND	0,3525	ND	6,3631
PT4	ND	29,5207	3,7657	0,1978	ND	0,0287	0,1011	2,5402	26,7407	0,0563	0,8325	0,0528	0,0295	ND	0,3423	ND	7,8477
PT5	ND	15,1439	5,1222	0,7917	ND	0,0348	0,0969	4,3497	20,4078	0,1865	0,7988	0,1368	0,0808	ND	0,3524	ND	13,7071
PT6	ND	3,4696	0,4309	0,3451	ND	ND	0,1181	0,5196	15,3590	0,2000	0,2860	0,0822	0,0963	ND	0,3099	ND	4,2372
PT7	ND	8,6765	4,1170	0,3053	ND	ND	0,2829	0,6771	8,4337	0,0463	0,4424	0,4054	0,0761	ND	0,6242	ND	6,2501
PT8	ND	19,8500	3,3518	0,9042	ND	0,0558	0,2063	2,4748	18,4993	0,0824	0,4219	1,3418	1,0903	ND	0,5396	ND	15,6345

Células vermelhas correspondem a concentrações acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>; as células amarelas a concentrações entre 0,5 e 1 mg.kg<sup>-1</sup> e, as células verdes a concentrações abaixo de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 64. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT1	ND	42,4615	4,8413	0,4064	0,0952	0,1515	0,1926	9,3403	60,9922	0,2366	3,4630	0,2265	0,1139	0,0778	0,4967	0,2185	39,8259
PT2	ND	5,8345	4,9941	0,1661	0,1208	0,1121	0,1392	5,5971	10,6107	0,0602	0,4802	0,0914	0,0999	0,0780	0,3910	0,2013	7,5280
PT3	ND	6,4718	6,6908	0,2146	0,0764	ND	0,0969	6,6915	12,4807	0,0716	0,7065	0,0656	0,0785	ND	0,3444	0,2462	9,1804
PT4	ND	11,9596	4,4612	0,1898	0,1158	0,1278	0,1758	6,2335	21,4863	0,0763	0,9291	0,0857	0,0796	0,1082	0,4330	0,3633	10,9596
PT5	ND	7,0622	5,5635	0,9362	0,1250	0,0874	0,1115	9,2208	12,6876	0,1610	1,0983	0,1137	0,0741	0,1300	0,4043	0,2365	17,4660
PT6	ND	3,9357	0,6123	0,2148	0,1071	0,0908	0,1308	4,1061	16,4471	0,2866	0,3981	0,1057	0,0806	0,1223	0,3767	0,3359	6,7250
PT7	ND	5,4823	4,1626	0,1745	0,0947	0,0729	0,1594	4,5035	7,5505	0,0682	0,3744	0,0771	0,0862	0,1205	0,3739	0,6577	7,1013
PT8	ND	14,2854	3,3668	0,3811	0,1042	0,0882	0,1400	5,7929	10,9185	0,1233	0,3226	0,1025	0,0814	0,1002	0,3056	0,2037	15,8130

Células vermelhas correspondem a concentrações acima de 1 mg.kg<sup>-1</sup>; as células amarelas a concentrações entre 0,5 e 1 mg.kg<sup>-1</sup> e, as células verdes a concentrações abaixo de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>.

Desses elementos, apenas o As possui limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira para contaminantes inorgânicos em alimentos (ANVISA, 1998; 2013; Tabela 2 e Tabela 3). O As teve seu limite máximo violado, se consideradas as médias dos resultados obtidos em todos os laboratórios, para todos os pescados capturados em todos os pontos amostrais, exceto no ponto 6, onde apenas peixes foram capturados e não apresentaram concentrações acima de  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$ , limite de As legislado no Brasil (ANVISA, 1998; 2013). Nos demais pontos as concentrações determinadas para As violaram os limites permitidos pela legislação entre 261 (PT 8, Guriri) a 563% (PT 5, foz do rio Doce) (Tabela 65). No entanto, se forem consideradas as médias dos resultados obtidos em cada um dos laboratórios, a violação dos limites seria de 310 (PT 8, Guriri) a 822% (PT 5, foz do rio Doce) de acordo com o laboratório 1, de 235 (PT 8, Guriri) a 427% (PT 3, Vila do Riacho), de acordo com o laboratório 2 e de 237 (PT 8, Guriri) a 569% (PT 3, Vila do Riacho), de acordo com o laboratório 3 (Tabela 65).

**Tabela 65. Média da concentração de arsênio ([As] em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais e porcentagem de violação (%) em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada ou todos os laboratórios**

	Média da [As] no laboratório 1	%	Média da [As] no laboratório 2	%	Média da [As] no laboratório 3	%	Média da [As] entre laboratórios	%
PT1	5,5374±0,4904	454	4,2093±0,3742	321	4,8413±0,4635	384	4,8627	386
PT2	5,2678±0,5472	427	4,5371±0,5133	354	4,9941±0,5425	399	4,9330	393
PT3	5,8659±0,8339	487	5,2653±0,6862	427	6,6908±1,0465	569	5,9407	494
PT4	5,9185±0,5422	492	3,7657±0,3531	277	4,4612±0,4029	346	4,7151	372
PT5	9,2183±1,1498	822	5,1222±0,6133	412	5,5635±0,6610	456	6,6347	563
PT6	0,8273±0,2610	-	0,4309±0,1323	-	0,6123±0,2148	-	0,6235	-
PT7	6,4149±0,6568	541	4,1170±0,4125	312	4,1626±0,4127	316	4,8982	390
PT8	4,0994±0,5335	310	3,3518±0,4308	235	3,3668±0,4763	237	3,6060	261

Dados apresentados em média ± erro padrão da média. Células coloridas de amarelo correspondem às médias da concentração de arsênio em cada um dos pontos amostrais e às porcentagens de violação aos limites legislados se consideradas as médias dos resultados obtidos em todos os laboratórios.

A análise de especiação de As, por sua vez, indicou que das 639 amostras analisadas nesta campanha, 18,47% apresentaram As nas formas inorgânicas III ( $As^{3+}$ ) ou V ( $As^{5+}$ ). Deste montante, 14,40% apresentaram  $As^{3+}$ , 9,55%  $As^{5+}$  e, 5,48% das amostras apresentaram as duas espécies de As. O  $As^{3+}$  foi determinado em amostras dos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri). As médias das concentrações desta espécie de As variaram entre 0,0196 no PT 4 (estuário do rio Doce) a 0,1633 mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido (PU) no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu). O  $As^{5+}$  também foi determinado em amostras dos pontos 1, 4, 5, 7 e 8, com concentrações que variaram entre 0,0138 no PT 7 a 0,0474 mg.kg<sup>-1</sup> PU no PT 1. A concentração total de As inorgânico, por sua vez, variou entre 0,0378 no PT 7 a 0,2107 mg.kg<sup>-1</sup> PU no PT 1 (Tabela 66).

**Tabela 66. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$  em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) e concentração total de As inorgânico ( $As^{3+}$  +  $As^{5+}$  em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) em cada um dos pontos amostrais**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico
PT 1	0,1633	0,0474	0,2107
PT 2	ND	ND	ND
PT 3	ND	ND	ND
PT 4	0,0196	0,0238	0,0434
PT 5	0,0338	0,0209	0,0547
PT 6	ND	ND	ND
PT 7	0,0240	0,0138	0,0378
PT 8	0,0228	0,0230	0,0457

Assim como já mencionado na discussão dos dados resultados obtidos na campanha 1, essas espécies de As são extremamente tóxicas (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; DENOBILE, 2007; WHO, 2011; NAVIN et al., 2013; BASTOS DA SILVA; BARRIO; MOREIRA, 2014; CARNEIRO et al. 2018; IARC, 2018; BYRNS; PENNING, 2019). Dessa forma, além dos resultados obtidos nesta campanha terem violado o limite máximo de As total estabelecido na legislação apresentaram uma porcentagem significativa de As inorgânico, tanto de  $As^{3+}$  quanto de  $As^{5+}$ . Em comparação com resultados obtidos na primeira campanha, identificou-se que, na campanha 2, o  $As^{3+}$  não foi detectado nos pontos 2, 3 e 6, porém, passou a ser determinado nas amostras obtidas no PT 4. Em relação as concentrações nos pontos 1, 5, 7 e 8, onde esta espécie de As já havia sido detectada, foi possível notar aumento nas concentrações dos organismos capturados no PT 1 e redução nos organismos capturados nos pontos 5, 7 e 8. A espécie  $As^{5+}$ , por sua vez, passou a ser detectada nos pontos 4 e 5, mas, deixou de ser detectada no ponto 6. Em relação as concentrações desta espécie de As, foi possível identificar redução nos pontos 1, 7 e 8, onde esta espécie já havia sido detectada (Tabela 16 e Tabela 66).

Quando os resultados de As inorgânico obtidos são convertidos em porcentagens para identificação da representatividade dentro do limite máximo permitido pela legislação internacional

(JECFA FAO/WHO, 2011), identifica-se que para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), apenas os pescados capturados no PT 1 apresentaram concentrações que ultrapassaram 50% do limite máximo diário estabelecido. Nos demais pontos, a ingestão de uma única porção de 309 g corresponderia entre 12,55 a 18,19% do limite diário, enquanto que a ingestão de uma única porção de 60 g corresponderia entre 2,44 a 13,59% do limite máximo diário estabelecido pela regulamentação internacional (Tabela 67).

No entanto, se considerado o limite máximo de ingestão diária estabelecido para As inorgânico pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de pescado levaria a violação do limite máximo permitido no PT 1, enquanto para os demais pontos as concentrações encontradas ultrapassariam 50% do limite máximo estabelecido. Ainda, quando considerado o limite estabelecido por esta regulamentação, o consumo de 60 g de pescado capturado do PT 1 continuaria ultrapassando 50% do limite máximo estabelecido por dia, enquanto nos demais pontos representaria entre 12,59 a 18,25% do limite máximo estabelecido (Tabela 67). Assim como já mencionado para a primeira amostragem, devido ao arsênio ser extremamente nocivo para a saúde humana, ter violado as concentrações totais legisladas e estar presente em formas especiadas altamente tóxicas, sugere-se o monitoramento da concentração desse elemento em recursos pesqueiros nas regiões avaliadas, bem como em outras acometidas pela chegada da lama. Reforça-se ainda que o PT 1 se localiza fora da área de proibição estabelecida.

**Tabela 67. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico em pescados capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido pelas regulamentações internacionais, considerando porções 60 e 309 g**

	JECFA FAO/WHO (2011); US EPA (2016a)			
	As inorgânico			
	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	13,59	70,00	70,23	361,67
PT2	ND	ND	ND	ND
PT3	ND	ND	ND	ND
PT4	2,80	14,42	14,47	74,50
PT5	3,53	18,19	18,25	93,98
PT6	ND	ND	ND	ND
PT7	2,44	12,55	12,59	64,84
PT8	2,95	15,20	15,25	78,54

ND = não determinado

A análise da especiação de Hg revelou que, apesar das concentrações totais de Hg não terem violado a legislação vigente no país, 34,90% das amostras avaliadas apresentaram este elemento em sua forma orgânica, denominada metilmercúrio (MeHg). O MeHg foi determinado em pescados de

todos os pontos amostrais com concentrações que variaram entre 0,0297 no PT 3 (Vila do Riacho) a 0,6809 mg.kg<sup>-1</sup> no PT 2 (Barra do Riacho) (Tabela 68).

**Tabela 68. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido), em cada um dos pontos amostrais**

	MeHg
PT 1	0,0884
PT 2	0,6809
PT 3	0,0297
PT 4	0,0414
PT 5	0,1264
PT 6	0,1481
PT 7	0,0305
PT 8	0,0479

Conforme já mencionado, o pescado é a principal fonte de exposição alimentar ao MeHg (EFSA, 2012; FAO/WHO, 2016; US EPA, 2016b), o qual, em grande parte, ou, até mesmo, na totalidade, está presente em músculo (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; MIRANDA et al., 2007; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). Assim, quando convertidas as concentrações encontradas em porcentagem de representatividade dentro do limite máximo permitido por dia pela legislação internacional (FAO/WHO, 2016), levando-se em consideração uma pessoa com peso corporal de 60 kg, identifica-se que com o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), o limite máximo diário de MeHg seria ultrapassado nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 2 (Barra do Riacho), 5 (foz do rio Doce), 6 (Degredo) e 8 (Guriri) em porcentagens que variam entre 105,67 no PT 8 a 1.502,77 no PT 2 (Barra do Riacho) (Tabela 69). Cabe a ressalva de que no PT 2, as amostras são compostas por espécimes de cação (*Z. brevis*), que são animais topo de cadeia trófica e, portanto, biomagnificam EPTs. Além disso, nos pontos amostrais 3 (Vila do Riacho), 4 (estuário do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga), a representatividade determinada com base nos resultados de MeHg ultrapassa 50% do limite diário estabelecido internacionalmente. Além disso, mesmo que a ingesta fosse reduzida a uma porção de 60 g, o limite máximo diário de MeHg seria ultrapassado no PT 2 e continuaria a ultrapassar 50% do limite máximo estabelecido por esta regulamentação nos pontos 5 e 6 (Tabela 69).

No entanto, se considerado o limite máximo diário estabelecido como referência para MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016b), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de pescado levaria a violação do limite máximo estabelecido em todos os pontos amostrais, em porcentagens que variam entre 152,86 a

3506,47% do limite máximo estabelecido. Ainda de acordo com essa regulamentação, o consumo de uma única porção de 60g de pescado levaria a violação do limite máximo permitido nos pontos 2 (Barra do Riacho), 5 (foz do rio Doce) e 6 (Degredo) e, ultrapassaria 50% do limite máximo no ponto 1 (foz do Piraquê-Açu) (Tabela 69).

Em comparação aos resultados obtidos durante a primeira campanha, independentemente da regulamentação adotada, identifica-se que houve aumento nas concentrações de MeHg em todos os pontos amostrais, exceto nos pontos 4 e 7 onde houve redução (Tabela 19 e Tabela 69). Neste sentido, reforça-se a necessidade do monitoramento dos pescados capturados nas localidades amostradas, bem como a realização de uma análise de risco e saúde da população, uma vez que os danos causados pela exposição ao MeHg são consideráveis e irreversíveis, sobretudo ao sistema nervoso.

**Tabela 69. Porcentagem de ingestão diária de metilmercúrio (MeHg) em pescados capturados em cada dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação ao limite máximo estabelecido pelas regulamentações internacionais, considerando porções 60 e 309 g**

	FAO/WHO (2016); US EPA (2016b)			
	MeHg			
	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	37,89	195,13	88,41	455,31
PT2	291,80	1502,77	680,87	3506,47
PT3	12,72	65,51	29,68	152,86
PT4	17,76	91,46	41,44	213,41
PT5	54,17	278,98	126,40	650,96
PT6	63,48	326,90	148,11	762,76
PT7	13,06	67,25	30,47	156,91
PT8	20,52	105,67	47,88	246,57

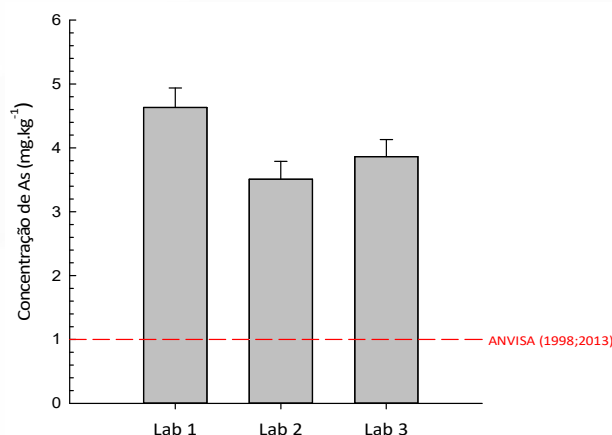
Nesta campanha, três espécies de moluscos foram capturadas, porém, apenas no ponto 1 (foz do rio Piraquê-Açu). A média das concentrações dos elementos determinadas para moluscos foi obtida a partir dos resultados alcançados através das análises realizadas em amostras das espécies *Crassostrea rhizophorae* (ostra do mangue), *Loligo sanpaulensis* (lula) e *Perna perna* (mexilhão/marisco). No ponto 1, os moluscos foram os que acumularam as maiores concentrações dos elementos avaliados quando comparados aos crustáceos e peixes (Tabela 59, Tabela 60 e Tabela 61). De acordo com o laboratório 1, dos 17 elementos avaliados, 13 (Ag, Al, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn e Zn) foram determinados em maiores concentrações nos moluscos, exceção feita aos elementos As, Ba, Cu e Hg, que foram determinados em maiores concentrações nos crustáceos (Tabela 59). De acordo com os resultados obtidos pelo laboratório 2, 7 elementos (Al, Co, Fe, Mn, Ni, Se e Zn) dos 17 avaliados foram determinados em maiores concentrações em moluscos, exceção feita aos elementos Ag, Sb e Sn, que não foram determinados em nenhum dos grupos taxonômicos pela metodologia empregada por este laboratório; aos elementos As, Ba, Cd e Hg que apresentaram

maiores concentrações em crustáceos e aos elementos Cr, Cu e Pb, que apresentaram maiores concentrações em peixes (Tabela 60). De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 3, 9 elementos (Al, Co, Cr, Fe, Mn, Pb, Sb, Se e Zn) dos 17 avaliados foram determinados em maiores concentrações em moluscos, exceção feita ao elemento Ag que não foi determinado em nenhum grupo taxonômico através da metodologia empregada por este laboratório; aos elementos As, Ba, Cu, Hg e Sn que apresentaram maiores concentrações em crustáceos e, aos elementos Cd e Ni que apresentaram maiores concentrações em peixes (Tabela 61).

Entre os elementos acumulados em maiores concentrações nos moluscos nenhum possui limite máximo estabelecido pela legislação brasileira para contaminantes inorgânicos em alimentos (ANVISA, 1998; 2013 - Tabela 2 e Tabela 3). No entanto, é importante mencionar que os elementos Al, Co, Cr, Fe, Mn, Se e Zn, também encontrados em elevadas concentrações em moluscos, não possuem limites máximos estabelecidos pela legislação, mas, são elementos que apresentam potencialidade de causar efeitos tóxicos a estes e demais organismos que deles se alimentam, a partir de uma determinada concentração. Dentre estes elementos, as concentrações de Al, Fe, Mn e Zn foram as mais elevadas e variaram entre: 159,31; 225,91 e 84,55 mg.kg<sup>-1</sup> de Al; 97,99; 166,90 e 117,46 mg.kg<sup>-1</sup> de Fe; 7,10; 7,02 e 7,17 mg.kg<sup>-1</sup> de Mn e, 43,60; 43,78 e 55,90 mg.kg<sup>-1</sup> de Zn, de acordo com os resultados apresentados pelos laboratórios 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 59, Tabela 60 e Tabela 61).

Embora o As não tenha sido um dos elementos encontrados em concentrações superiores em moluscos em relação aos demais grupos taxonômicos, os resultados dos três laboratórios indicam que estes organismos estão contaminados por este elemento, uma vez que as concentrações apresentadas violaram os limites máximos permitidos pela legislação, ou seja, 1 mg.kg<sup>-1</sup> (ANVISA 1998; 2013; Tabela 2 e Tabela 3). As porcentagens de violação em relação a legislação brasileira vigente foram de 363, 250 e 286% de acordo com os laboratórios 1, 2 e 3, respectivamente, ou seja, em média 300% de violação em relação a legislação (Figura 9 e Tabela 70).

**Figura 9. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em moluscos pelos laboratórios (Lab 1, 2 e 3 no ponto amostral 1 (PT 1)**



Dados apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

**Tabela 70. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em moluscos em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) no ponto amostral 1 (PT 1) de acordo com cada um dos laboratórios**

% violação		
Lab 1	Lab 2	Lab 3
363	250	286

Além disso, quando os resultados das amostras de moluscos são convertidos em porcentagens para identificação da representatividade dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações nacionais (ANVISA, 2018b) e internacionais (FAO/WHO, 2016; US EPA, 2019), identifica-se que, para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), o As ultrapassou os limites máximos nacional e internacional, de acordo com os resultados de todos os laboratórios, com porcentagens que variam entre 602 a 7.952%. Além do As, os elementos Al (152 a 407%), Cd (322 a 490%) e Mn (131 a 133%) também ultrapassam os limites máximos nacional e/ou internacional de acordo com os resultados de todos os laboratórios. Mas, além destes, o Cu ultrapassou o limite nacional de acordo com o laboratório 3; o Fe ultrapassou os limites nacional e internacional de acordo com o laboratório 2 e o limite internacional de acordo com o laboratório 3; o Hg ultrapassou o limite internacional de acordo com o laboratório 3; o Sb ultrapassou o limite internacional de acordo com o laboratório 3 e o Se ultrapassou os limites internacionais de acordo com o laboratório 1. Além disso, os elementos Cd, Cu, Fe, Hg, Se e Zn

apresentam concentrações cuja representatividade em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais é superior a 50% (Tabela 71).

Porém, mesmo quando a menor porção (60 g) é considerada, foi possível identificar que o As continuou a violar os limites máximos estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais com porcentagens que variam entre 117 a 1.544%, conforme resultados de todos os laboratórios. Ainda, Al (conforme resultados obtidos pelos laboratórios 1 e 2) e Cd (conforme resultados obtidos pelos três laboratórios) apresentaram concentrações cuja representatividade em relação aos limites diários estabelecidos pela regulamentação internacional foi superior a 50% (Tabela 72).

**Tabela 71. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratórios (Lab) 1, 2 e 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>			<b>0,21</b>					<b>120</b>	<b>18</b>				
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>			<b>1,66</b>					<b>0,32</b>			<b>29,59</b>			
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>						<b>0,018</b>	<b>8,4</b>					<b>0,024</b>	<b>0,3</b>				<b>18</b>		
Lab 1	1,92	287,21	795,19	7951,85	0,76	38,66	322,19	29,37	39,61	13,25	63,08	88,26	20,76	39,20	26,12	132,17	7,71	3,27	115,85	108,61	0,00	74,85	45,53	74,85
Lab 2	ND	407,27	601,56	6015,58	1,27	50,52	420,96	55,33	58,85	19,68	107,44	150,32	44,08	83,26	25,83	130,70	25,64	ND	60,22	56,46	ND	75,15	45,72	75,15
Lab 3	ND	152,44	663,23	6632,34	0,84	58,82	490,14	35,18	105,48	35,28	75,62	105,79	68,80	129,95	26,36	133,39	21,29	104,59	70,64	66,23	0,05	95,96	58,37	95,96

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

**Tabela 72. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em moluscos, capturados no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratórios (Lab) 1, 2 e 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>			<b>0,21</b>					<b>120</b>	<b>18</b>				
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>			<b>1,66</b>					<b>0,32</b>			<b>29,59</b>			
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>						<b>0,018</b>	<b>8,4</b>					<b>0,024</b>	<b>0,3</b>				<b>18</b>		
Lab 1	0,37	55,77	154,40	1544,05	0,15	7,51	62,56	5,70	7,69	2,57	12,25	17,14	4,03	7,61	5,07	25,66	1,50	0,63	22,50	21,09	0,00	14,53	8,84	14,53
Lab 2	ND	79,08	116,81	1168,07	0,25	9,81	81,74	10,74	11,43	3,82	20,86	29,19	8,56	16,17	5,02	25,38	4,98	ND	11,69	10,96	ND	14,59	8,88	14,59
Lab 3	ND	29,60	128,78	1287,83	0,16	11,42	95,17	6,83	20,48	6,85	14,68	20,54	13,36	25,23	5,12	25,90	4,13	20,31	13,72	12,86	0,01	18,63	11,33	18,63

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

Assim como para as concentrações totais, as análises de especiação realizadas para moluscos demonstram que estes organismos apresentaram ambas as espécies de As inorgânico, sendo: 0,2617 mg.kg<sup>-1</sup> PU de As<sup>3+</sup>, 0,0573 mg.kg<sup>-1</sup> PU de As<sup>5+</sup> e 0,3190 mg.kg<sup>-1</sup> PU de As inorgânico total (ou seja, As<sup>3+</sup> + As<sup>5+</sup>). Do mesmo modo, apresentaram Hg na forma de MeHg com concentração de 0,0295 mg.kg<sup>-1</sup> PU.

O cálculo da porcentagem de representatividade de As inorgânico e MeHg, dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações internacionais (JECFA FAO/WHO, 2011; FAO/WHO, 2016, respectivamente), considerando-se o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), demonstra que para As inorgânico os limites máximos permitidos seriam violados, enquanto que para MeHg corresponderiam a mais que 50% dos limites máximos estabelecidos internacionalmente. O consumo de 60 g de moluscos, por sua vez, não violaria os limites máximos estabelecidos internacionalmente para As inorgânico e para MeHg, mas, teriam representatividade de 20,58 e 12,64% dos limites máximos permitidos, respectivamente (Tabela 73).

No entanto, se para esses cálculos fossem considerados os limites máximos estabelecidos como referência para As inorgânico e MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a; b, respectivamente), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de molusco violaria os limites máximos estabelecidos tanto para As inorgânico quanto para MeHg. Neste caso, ainda que o consumo de molusco correspondesse a uma única porção de 60 g o limite máximo estabelecido para As inorgânico continuaria sendo violado, no entanto, não violaria o limite máximo estabelecido para MeHg (Tabela 73).

**Tabela 73. Média da concentração total de arsênio (As<sup>3+</sup> e As<sup>5+</sup>) e da forma orgânica de mercúrio (MeHg), em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido, determinadas em moluscos capturados no PT 1 e suas respectivas porcentagens de ingestão diária, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

Concentração total	As inorgânico				MeHg			
	0,319				0,0295			
Representatividade	JECFA FAO/WHO (2011)		US EPA (2016a)		FAO/WHO (2016)		US EPA (2016b)	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
	20,58	105,99	106,33	547,62	12,64	65,11	29,50	151,93

Quando os resultados obtidos para os 17 elementos são separados para cada uma das espécies de moluscos capturadas, identifica-se que a espécie *Perna perna* (mexilhões/mariscos) foi a que mais acumulou elementos, seguida de *Loligo sanpaulensis* (lulas) e *Crassostrea rhizophorae* (ostras do mangue) (Tabela 74, Tabela 75 e Tabela 76). Dos 17 elementos avaliados, 10 (Al, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Ni,

Pb, Sb e Se) estiveram em maiores concentrações em mexilhões/mariscos; 4 (As, Cd, Cu e Hg) apresentaram maiores concentrações em lulas e 2 (Sn e Zn) foram detectados em maiores concentrações em ostras, de acordo com o laboratório 1 (Tabela 74). De acordo com o laboratório 2, dentre os elementos avaliados, 8 (Al, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Ni e Pb) foram determinados em maiores concentrações em mexilhões/mariscos; 5 (As, Cd, Cu, Hg e Se) apresentaram maiores concentrações em lulas e apenas o Zn foi determinado em maiores concentrações em ostras, uma vez que o Sb e Sn não foram determinados em moluscos de acordo com este laboratório (Tabela 75). De acordo com o laboratório 3, 11 (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb e Sn) dos 17 elementos avaliados foram determinados em maiores concentrações em mexilhões/mariscos; 4 (As, Cu, Hg e Se) em lulas e apenas o Zn foi determinados em maiores concentrações em ostras, uma vez que o Ag não foi determinado em moluscos através da metodologia empregada por este laboratório (Tabela 76).

**Tabela 74. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, nas três espécies de moluscos capturadas no ponto amostral 1 (foz do Piraquê-Açu), durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	0,0187	132,1835	2,7081	0,2929	0,0608	0,0864	0,2316	2,5821	91,4049	0,0104	7,7075	0,1656	0,0509	0,0027	1,0192	0,0155	109,2101
<i>Loligo sanpaulensis</i>	ND	15,1879	7,4667	0,1110	0,1226	0,0091	0,0249	6,7426	11,9803	0,0507	0,7440	0,0200	0,0178	0,0012	1,1772	0,0031	11,4679
<i>Perna perna</i>	ND	330,5627	3,7216	0,4853	0,0042	0,1942	0,4139	2,2129	190,5990	0,0073	12,8500	0,3661	0,0885	0,0036	1,1779	0,0147	10,1296

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

**Tabela 75. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, nas três espécies de moluscos capturadas no ponto amostral 1 (foz do Piraquê-Açu), durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	ND	140,8731	1,8772	0,2826	0,0707	0,0993	0,2943	4,0819	118,9735	ND	7,0396	0,2217	0,0930	ND	0,5685	ND	110,7019
<i>Loligo sanpaulensis</i>	ND	12,8504	6,0371	0,4226	0,0900	ND	0,1771	8,4075	12,7870	0,0485	0,6464	0,0600	0,1078	ND	0,6095	ND	9,7869
<i>Perna perna</i>	ND	524,0061	2,5983	0,7741	ND	0,2474	0,5974	4,6500	368,9531	ND	13,3782	0,5743	0,2673	ND	0,5760	ND	10,8422

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

**Tabela 76. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, nas três espécies de moluscos capturadas no ponto amostral 1 (foz do Piraquê-Açu), durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	ND	54,6405	2,2435	0,2467	0,0690	0,0938	0,2535	8,6690	87,8950	ND	6,2895	0,1891	0,1214	ND	0,6935	0,1534	142,6250
<i>Loligo sanpaulensis</i>	ND	7,9200	6,4455	0,2617	0,1110	0,0850	0,1209	14,8245	17,2940	0,0757	1,0714	0,0885	0,0846	0,0811	0,7383	0,1665	13,1555
<i>Perna perna</i>	ND	191,1050	2,9015	0,4651	0,1470	0,2329	0,4632	7,2285	247,1950	ND	14,1375	0,4489	0,2282	0,0813	0,6284	0,2683	11,9170

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral.

Dentre os elementos que possuem limites máximos legislados no Brasil (ANVISA, 1998; 2013), apenas o As teve os limites violados e a violação ocorreu independentemente da espécie de molusco avaliada. Em outras palavras, todas as espécies avaliadas apresentaram concentrações superiores aos limites máximos permitidos pela legislação (Tabela 74, Tabela 75 e Tabela 76). No entanto, dentre as espécies avaliadas, a que mais acumulou este elemento foi *Loligo sanpaulensis* (lula), em seguida a espécie *Perna perna* (mexilhão/marisco) e, por fim, *Crassostrea rhizophorae* (ostra). As porcentagens de violação aos limites máximos legislados variaram, entre as espécies, entre 88 a 647% (Tabela 77).

**Tabela 77. Porcentagem de violação em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada espécie de molusco capturado no ponto 1, de acordo com os laboratórios (Lab) 1, 2 e 3**

	% violação de As		
	Lab 1	Lab 2	Lab 3
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	171	88	124
<i>Loligo sanpaulensis</i>	647	504	545
<i>Perna perna</i>	272	160	190

O maior acúmulo de As em lulas foi totalmente compatível com o processo de biomagnificação deste elemento nestes organismos, pois, por esta espécie ser carnívora, tende a acumular EPTs em concentrações superiores aos demais organismos, em decorrência do aumento progressivo das concentrações de EPTs ao longo dos diferentes níveis da cadeia trófica (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; MORAIS, 2009; NIENCHESKI et al., 2014; YANCHEVA et al., 2015; FERNANDES et al., 2016; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014; SISINNO; OLIVEIRA-FILHO, 2013; MANN et al., 2011; MACKAY et al., 2016; ALI; KHAN, 2018). Assim como evidenciado neste estudo, tanto na primeira, quanto na segunda campanha realizada. É importante mencionar, no entanto, que a contaminação por As, embora em menor magnitude que nas lulas, também foi evidenciada em mexilhões/mariscos e ostras, importantes recursos alimentares para a população local.

Embora não tenham sido encontrados estudos pretéritos com a espécie *Loligo sanpaulensis* (lula) na região amostrada, quando comparados os resultados obtidos no presente para as espécies de moluscos bivalves *C. rhizophorae* (ostra) e *Perna perna* (mexilhão/marisco), com estudos anteriores realizados com as mesmas espécies na região de Santa Cruz/Aracruz, identificou-se aumento na concentração de As no presente estudo. Além disso, as concentrações de As aqui apresentadas também foram maiores que as apresentadas por Silva et al. (2008) e Aplysia (2017) para essas espécies capturadas em Guarapari e, especialmente em Vitória, que é reconhecidamente impactada por uma série de atividades antrópicas. No entanto, é importante mencionar que os resultados obtidos no

presente estudo para a espécie *Perna perna*, foram inferiores aos apresentados por Moreira (2011). Foi possível, ainda, identificar aumento nas concentrações de Cd, Cu e Pb em relação aos resultados apresentados por Silva et al. (2008), porém, redução em relação aos resultados apresentados por Niencheski et al. (2014). O elemento Zn foi o único cujas concentrações mostraram-se reduzidas nas espécies capturadas no presente estudo em relação aos estudos pretéritos (Tabela 78).

Ao compararmos os resultados obtidos para a espécie de ostra *C. rhizophorae* no presente estudo com os obtidos para a mesma espécie pela Econservation (2016), na localidade de Santa Cruz/Aracruz entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016, ou seja, logo após a ocorrência do desastre, verifica-se incremento nas concentrações de todos os EPTs no presente estudo, exceto para o As que apresentou menor concentração e para o Hg que se manteve com a mesma concentração (Tabela 79). Tal condição demonstra que mesmo 3 anos e 11 meses após o desastre, os EPTs estão biodisponíveis no ambiente e, conseqüentemente, os organismos estão bioacumulando. Galvão et al. (2009) sugere que a avaliação da bioacumulação em moluscos bivalves reflete, de forma direta, a exposição humana aos agentes tóxicos. Por serem sésseis e filtradores, os mesmos incorporam os contaminantes, mesmo que em pequenas concentrações, presentes no material particulado em suspensão na coluna d'água funcionando, portanto, como excelentes indicadores da condição ambiental e, representariam o que aconteceria com a população humana ao longo do tempo (GALVÃO et al., 2009; JESUS et al., 2009; FERREIRA et al., 2013).

**Tabela 78. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em moluscos bivalves capturados em Santa Cruz/Aracruz: Comparação entre o estudo atual e estudos pré-desastre (linha base)**

	Silva et al. (2008)			Moreira (2011)	Niencheski et al. (2014)	Aplysia (2017)*				Lactec (2019)	
	<i>C. rhizophorae</i>			<i>P. perna</i>	<i>C. rhizophorae</i>	<i>P. perna</i>				<i>C. rhizophorae</i>	<i>P. perna</i>
	Santa Cruz/Aracruz	Guarapari	Vitória	Vitória	Santa Cruz/Aracruz	Santa Cruz/Aracruz	Guarapari	Vitória	Anchieta	Santa Cruz/Aracruz	
<b>Ag</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,02	ND
<b>Al</b>	NA	NA	NA	840,72	NA	NA	NA	NA	NA	109,23	348,56
<b>As</b>	1,15	1,55	0,75	8,07	NA	1,07	1,96	1,83	2,31	2,28	3,07
<b>Ba</b>	NA	NA	NA	4,62	NA	NA	NA	NA	NA	0,27	0,57
<b>Cd</b>	0,04	0,05	0,05	NA	0,59	NA	NA	NA	NA	0,07	0,08
<b>Co</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,09	0,22
<b>Cr</b>	NA	NA	NA	9,30	0,62	NA	NA	NA	NA	0,26	0,49
<b>Cu</b>	2,70	5,90	2,95	5,30	17,76	NA	NA	NA	NA	5,11	4,70
<b>Fe</b>	NA	NA	NA	794,05	NA	NA	NA	NA	NA	99,42	268,92
<b>Hg</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,01	0,01
<b>Mn</b>	NA	NA	NA	14,43	NA	NA	NA	NA	NA	7,01	13,46
<b>Ni</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,19	0,46
<b>Pb</b>	0,07	0,08	0,06	NA	0,46	NA	NA	NA	NA	0,09	0,19
<b>Sb</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,04
<b>Se</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,76	0,79
<b>Sn</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,08	0,14
<b>Zn</b>	160,00	260,00	972,00	94,42	1451,32	NA	NA	NA	NA	120,85	10,96

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, nas comparações entre os estudos realizados para uma mesma espécie em uma mesma localidade. O asterisco ao lado da referência Aplysia (2017) indica que essa referência apresenta um compilado de dados pretéritos para a espécie *Perna perna*. Os resultados apresentados pelo Lactec correspondem a médias dos resultados dos três laboratórios para as espécies avaliadas. NA = não avaliado.

**Tabela 79. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em moluscos bivalves capturados em Santa Cruz/Aracruz: Comparação entre o estudo atual e o estudo realizado logo após o desastre**

	Econservation 2016	Lactec (2019)
	Santa Cruz/Aracruz	Santa Cruz/Aracruz
Ag	0,01	0,02
Al	57,83	109,23
As	2,41	2,28
Ba	0,05	0,27
Cd	0,03	0,07
Co	0,04	0,09
Cr	0,13	0,26
Cu	1,79	5,11
Fe	32,34	99,42
Hg	0,01	0,01
Mn	2,13	7,01
Ni	0,09	0,19
Pb	0,02	0,09
Se	0,21	0,76
Zn	67,17	120,85

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores e inferiores, respectivamente, nas comparações entre os estudos realizados em uma mesma localidade. Células em branco correspondem a ausência de diferença entre as concentrações determinadas pelos estudos.

Assim, quando os resultados das amostras das diferentes espécies de moluscos são convertidos em porcentagens para identificação da representatividade dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações nacionais (ANVISA, 2018b) e internacionais (FAO/WHO, 2016; US EPA, 2019) identifica-se que para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), a violação dos limites de As variou entre 322 a 4.649% para a espécie *C. rhizophorae*, entre 1.037 a 12.818% para a espécie *L. sanpaulensis* e entre 446 a 6.389% para a espécie *P. perna* conforme resultados apresentados pelos três laboratórios (Tabela 80, Tabela 81 e Tabela 82).

Além do As, foi possível verificar que, para a espécie *C. rhizophorae*, ocorreram violações aos limites máximos diários estabelecidos nacional e/ou internacionalmente para os elementos Al, Cd, Mn, Se e Zn, de acordo com os resultados do laboratório 1; para os elementos Al, Cd, Fe, Mn e Zn, de acordo com os resultados do laboratório 2 e dos elementos Cd, Mn e Zn, de acordo com o laboratório 3. Além disso, para os elementos Al, Cu, Fe e Se as concentrações determinadas representariam mais do que 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais. Para a espécie *L. sanpaulensis*, além do As, ocorreram violações aos limites máximos diários estabelecidos nacional e/ou internacionalmente para os elementos Cd e Se, de acordo com o laboratório 1; apenas para o Cd, de acordo com o laboratório 2 e para os elementos Cd, Cu e Hg, de acordo com o laboratório 3. Para os elementos Cd, Cu, Hg e Se as concentrações encontradas nesta espécie representariam mais do que 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais. Por fim, para a espécie *P. perna*, além do As, os elementos Al, Fe, Mn e Se, de acordo com o laboratório 1 e os elementos Al, Fe e Mn, de acordo com os laboratórios 2 e 3, violaram os limites máximos diários estabelecidos nacional e/ou internacionalmente. Do mesmo modo que nas demais espécies já citadas, as concentrações determinadas pelos laboratórios para os elementos Cr, Cu, Mn e Se representariam mais do que 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais (Tabela 80, Tabela 81 e Tabela 82).

**Tabela 80. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
<i>C. rhizophorae</i>	1,92	238,30	464,89	4648,92	0,75	37,60	313,32	28,63	26,60	8,89	58,84	82,32	9,47	17,89	28,35	143,47	7,49	3,53	104,98	98,41	0,00	187,48	114,05	187,48
<i>L. sanpaulensis</i>	ND	27,38	1281,79	12817,91	0,29	75,80	631,64	3,08	69,45	23,23	7,71	10,79	46,12	87,12	2,74	13,85	2,62	1,51	121,25	113,67	0,00	19,69	11,98	19,69
<i>P. perna</i>	ND	595,94	638,87	6388,73	1,25	2,59	21,60	51,16	22,79	7,62	122,70	171,66	6,67	12,60	47,27	239,20	13,02	4,59	121,33	113,74	0,00	17,39	10,58	17,39

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

**Tabela 81. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
<i>C. rhizophorae</i>	ND	253,97	322,26	3222,57	0,73	43,69	364,09	36,38	42,04	14,06	76,59	107,15	ND	ND	25,90	131,04	13,69	ND	58,56	54,90	ND	190,04	115,60	190,04
<i>L. sanpaulensis</i>	ND	23,17	1036,37	10363,69	1,09	55,63	463,62	21,89	86,60	28,96	8,23	11,52	44,08	83,26	2,38	12,03	15,87	ND	62,78	58,86	ND	16,80	10,22	16,80
<i>P. perna</i>	ND	944,68	446,05	4460,50	1,99	ND	ND	73,83	47,89	16,02	237,51	332,28	ND	ND	49,21	249,03	39,33	ND	59,32	55,62	ND	18,61	11,32	18,61

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

**Tabela 82. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com os Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
<i>C. rhizophorae</i>	ND	98,51	385,13	3851,34	0,64	42,62	355,16	31,33	89,29	29,86	56,58	79,16	ND	ND	23,14	117,08	17,87	ND	71,43	66,97	ND	244,84	148,94	244,84
<i>L. sanpaulensis</i>	ND	14,28	1106,48	11064,78	0,67	68,57	571,44	14,94	152,69	51,07	11,13	15,58	68,80	129,95	3,94	19,94	12,44	ND	76,05	71,30	ND	22,58	13,74	22,58
<i>P. perna</i>	ND	344,52	498,09	4980,91	1,20	ND	ND	57,25	74,45	24,90	159,13	222,63	ND	ND	52,01	263,16	33,57	ND	64,73	60,68	ND	20,46	12,44	20,46

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

Mesmo quando considerado o consumo da menor porção (60 g) diária, os limites de As superariam os limites máximos indicados pela regulamentação internacional, independentemente da espécie, conforme resultados dos três laboratórios e/ou nacional para as espécies *L. sanpaulensis* e *P. perna* (de acordo com os resultados do laboratório 1) e para *L. sanpaulensis* (de acordo com os laboratórios 2 e 3). Tal condição confirma a elavada contaminação destes organismos por este elemento. Além disso, ainda que o consumo fosse de apenas 60 g por dia, além do As, os elementos Al e Cd teriam seus limites máximos violados com a ingesta de lula e/ou mexilhão/marisco, enquanto, os elementos Al, Cd, Fe e Mn extrapolariam 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais, cujas espécies são variáveis de acordo com os laboratórios (Tabela 83, Tabela 84 e Tabela 85).

**Tabela 83. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
<i>C. rhizophorae</i>	0,37	46,27	90,27	902,70	0,15	7,30	60,84	5,56	5,16	1,73	11,43	15,98	1,84	3,47	5,51	27,86	1,45	0,69	20,38	19,11	0,00	36,40	22,14	36,40
<i>L. sanpaulensis</i>	ND	5,32	248,89	2488,92	0,06	14,72	122,65	0,60	13,49	4,51	1,50	2,10	8,96	16,92	0,53	2,69	0,51	0,29	23,54	22,07	0,00	3,82	2,33	3,82
<i>P. perna</i>	ND	115,72	124,05	1240,53	0,24	0,50	4,19	9,93	4,43	1,48	23,82	33,33	1,30	2,45	9,18	46,45	2,53	0,89	23,56	22,09	0,00	3,38	2,05	3,38

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

**Tabela 84. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
<i>C. rhizophorae</i>	ND	49,31	62,57	625,74	0,14	8,48	70,70	7,06	8,16	2,73	14,87	20,81	ND	ND	5,03	25,44	2,66	ND	11,37	10,66	ND	36,90	22,45	36,90
<i>L. sanpaulensis</i>	ND	4,50	201,24	2012,37	0,21	10,80	90,02	4,25	16,81	5,62	1,60	2,24	8,56	16,17	0,46	2,34	3,08	ND	12,19	11,43	ND	3,26	1,98	3,26
<i>P. perna</i>	ND	183,43	86,61	866,12	0,39	ND	ND	14,34	9,30	3,11	46,12	64,52	ND	ND	9,56	48,36	7,64	ND	11,52	10,80	ND	3,61	2,20	3,61

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

**Tabela 85. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes nas diferentes espécies de moluscos, capturadas no ponto amostral 1 (PT 1) em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com os Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
<i>C. rhizophorae</i>	ND	19,13	74,78	747,83	0,12	8,28	68,96	6,08	17,34	5,80	10,99	15,37	ND	ND	4,49	22,73	3,47	ND	13,87	13,00	ND	47,54	28,92	47,54
<i>L. sanpaulensis</i>	ND	2,77	214,85	2148,50	0,13	13,32	110,96	2,90	29,65	9,92	2,16	3,02	13,36	25,23	0,77	3,87	2,42	ND	14,77	13,84	ND	4,39	2,67	4,39
<i>P. perna</i>	ND	66,90	96,72	967,17	0,23	ND	ND	11,12	14,46	4,84	30,90	43,23	ND	ND	10,10	51,10	6,52	ND	12,57	11,78	ND	3,97	2,42	3,97

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado

Quando avaliadas as concentrações das espécies de As para cada uma das espécies de moluscos, identificou-se que apenas mexilhões/mariscos e ostras apresentaram este elemento em suas formas especiadas que são, inclusive, mais tóxicas (Tabela 86). A porcentagem de representatividade do As inorgânico em relação ao limite máximo estabelecido por dia pela regulamentação internacional (JECFA FAO/WHO, 2011) seria violada, considerando o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), para a espécie *Perna perna* (mexilhão/marisco) e corresponderia a mais que 50% do limite máximo estabelecido internacionalmente para a espécie *Crassostrea rhizophorae* (ostra). O consumo de 60 g de moluscos não violaria o limite máximo estabelecido internacionalmente para As inorgânico, mas, teria representatividade de 24,92 e 15,57% do limite máximo diário permitido, para cada uma das espécies, respectivamente (Tabela 86). No entanto, se considerado o limite máximo estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de tanto de ostra quanto de mexilhão/marisco violaria os limites máximos estabelecidos. Ainda, é importante ressaltar que mesmo o consumo de uma única porção de 60 g desses organismos representaria mais que 50% ou violaria o limite máximo estabelecido por esta regulamentação, respectivamente (Tabela 86).

A espécie orgânica de Hg, o MeHg, por sua vez, só foi determinado na espécie *Loligo sanpaulensis* (lula). Assim, as porcentagens de representatividade desta forma de tóxica de Hg para esta espécie é a mesma já descrita na Tabela 73 onde, em resumo, o consumo de uma porção de 309 g de lula superaria 50% dos limites diários estabelecidos se considerada a regulamentação FAO/WHO (2016) e, violaria o limite máximo se considerada a regulamentação US EPA (2016b), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva.

**Tabela 86. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+}$  +  $As^{5+}$ ), em  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido, determinadas nas diferentes espécies de moluscos capturadas no PT 1 e porcentagem de ingestão diária do As inorgânico, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

	Concentrações			Representatividade			
	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico	JECFA FAO/WHO (2011)		US EPA (2016a)	
				60 g	309 g	60 g	309 g
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	0,2072	0,0342	0,2414	15,57	80,19	80,45	414,32
<i>Loligo sanpaulensis</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Perna perna</i>	0,3163	0,0700	0,3863	24,92	128,34	128,76	663,09

ND = não determinado

É preciso ressaltar que o ponto 1 (foz do rio Piraquê-Açu) está fora da área de proibição da pesca (Figura 1). Assim, a elevada concentração total de As, e, conseqüentemente, porcentagem de

violação em relação aos limites máximos legislados, encontrada em moluscos capturados neste ponto, bem como a ocorrência deste elemento nas formas  $As^{3+}$  e  $As^{5+}$  em concentrações que também violam limites máximos estabelecidos internacionalmente, reforça a necessidade do monitoramento dos efeitos desse elemento sobre estes organismos e dos que deles se alimentam, incluindo seres humanos. A ingestão de pescado é uma das principais formas de contaminação por este elemento e os efeitos por ele causados são cumulativos e podem demorar até 15 anos para se manifestar (IPCS, 2001; RAMOS, 2005; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; ANGINO et al., 1970 *apud* QUEIROZ, 2006; DENOBILE, 2007). No entanto, assim como já mencionado, este não foi o único elemento acumulado em elevadas concentrações por estes organismos. A presença de elementos como Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg (e MeHg), Mn, Se e Zn, muitos dos quais não são legislados e, inclusive, apresentaram concentrações que superaram os limites máximos permitidos por dia, reforçam ainda mais a necessidade de monitorar os pescados desta localidade.

Os crustáceos foram capturados em todos os pontos amostrais, exceto no PT 6 (sul de Degredo), onde nenhuma espécie deste grupo taxonômico foi capturada. Os crustáceos foram representados nesta campanha pelas espécies *Ucides cordatus* (caranguejo uça), *Callinectes sapidus* (siri azul), *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas). A espécie *X. kroyeri* foi a única amostrada em todos os pontos e, inclusive, a única espécie de camarão amostrada nesta campanha. A espécie *U. cordatus* ocorreu apenas nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 8 (Guriri), enquanto a espécie *C. sapidus* ocorreu apenas nos pontos 1 e 5 (foz do rio Doce) (Tabela 58).

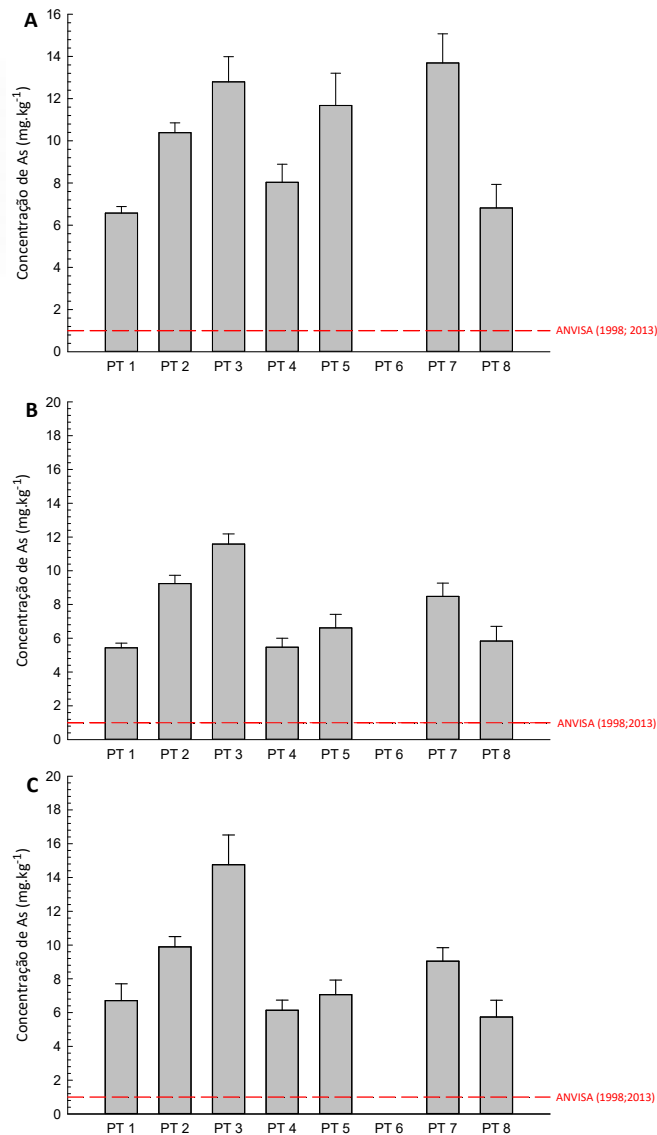
De acordo com o laboratório 1, dos 17 elementos avaliados, 9 (Ag, As, Cd, Co, Cu, Ni, Sb, Se e Zn) foram determinados em elevadas concentrações em crustáceos nos locais onde estes organismos foram capturados (Tabela 59). De acordo com o laboratório 2, dos elementos avaliados 4 (As, Cu, Se e Zn) foram determinados em maiores concentrações nestes organismos, no entanto, as concentrações dos elementos Ag, Sb e Sn não foram determinadas em nenhum grupo taxonômico por este laboratório. Além disso, o elemento Cd só foi determinado em amostras de moluscos e crustáceos do PT 1; o elemento Co só foi determinado em algumas amostras, tais como, moluscos e crustáceos do PT 1 e peixes dos pontos 2 (Barra do Riacho), 4 (estuário do rio Doce), 5 e 8; o elemento Hg não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 3 (Vila do Riacho) e 4 e o elemento Pb só foi determinado em crustáceos dos pontos 1, 3 e 8 e em peixes dos pontos 1, 4, 5, 6, 7 (pontal do Ipiranga) e 8 (Tabela 60). De acordo com o laboratório 3, dos 17 elementos avaliados, 5 (As, Co, Cu, Sn e Zn) foram determinados em concentrações maiores em crustáceos do que nos demais grupos taxonômicos capturados. No entanto, o elemento Ag não foi determinado em nenhum grupo taxonômico por este laboratório, o elemento Cd não foi determinado em crustáceos dos pontos 2 e 7, o elemento Co não

foi determinado em crustáceos dos pontos 2 e 3, o elemento Hg não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 4 e 8 e o elemento Sb não foi determinado em crustáceos dos pontos 2, 3 e 7 (Tabela 61).

Considerando os resultados apresentados pelos três laboratórios, dos elementos que os crustáceos apresentaram maiores concentrações, apenas o As e Cd possuem limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira para contaminantes inorgânicos em alimentos. Desses, apenas o As violou os limites máximos estabelecidos pela legislação (ANVISA, 1998; 2013 - Tabela 2 e Tabela 3). Da mesma forma que na primeira campanha, os crustáceos foram os organismos que apresentaram as maiores concentrações de As. Os limites estabelecidos pela legislação brasileira foram violados para estes organismos em todos os pontos onde os mesmos foram capturados. As violações nas concentrações de As variaram entre 558 (PT 1, foz do rio Piraquê-Açu) a 1.269% (PT 8, Guriri) de acordo com o laboratório 1; entre 442 (PT 1) a 1.058% (PT 3, Vila do Riacho) de acordo com o laboratório 2 e, entre 474 (PT8) e 1.376% (PT 3) de acordo com o laboratório 3 (Figura 10 e Tabela 87).

Apesar desses organismos terem violados os limites máximos estabelecidos pela legislação em todos os pontos onde os mesmos foram capturados, os pontos que apresentam maiores concentrações e, conseqüentemente, maior contaminação por As foram os pontos 2, 3, 5 e 7, de acordo com o laboratório 1; os pontos 2 e 3, de acordo com os laboratórios 2 e, os pontos 2, 3 e 7, de acordo com o laboratório 3. Desses pontos, é importante ressaltar, novamente, que o ponto 7 encontra-se fora da área de proibição da pesca e, portanto, configura-se como uma área bastante sensível quanto a contaminação e, especialmente, para obtenção de organismos aquáticos destinados ao consumo humano.

Figura 10. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em crustáceos pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a segunda coleta



Dados apresentados em média ± erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

Tabela 87. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em crustáceos em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios

Pontos	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 3
	% violação	% violação	% violação
PT 1	558	442	571
PT 2	939	827	889
PT 3	1180	1058	1376
PT 4	704	446	514
PT 5	1067	561	606
PT 6	NA	NA	NA
PT 7	1269	743	804
PT 8	582	484	474

NA = não amostrado

Quando as concentrações dos diferentes EPTs, determinadas em crustáceos pelos três laboratórios, foram convertidas em porcentagens e comparadas aos limites máximos de referência para ingestão diária, estabelecidos pelas regulamentações nacional (ANVISA, 2018b) e internacionais (OMS/FAO, 2016; US EPA, 2019), foi possível identificar que, para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), o As ultrapassou os limites máximos nacional e internacional de acordo com os resultados obtidos por todos os laboratórios, com porcentagens de violação que variaram entre 1.129 (PT 1) a 23.506% (PT 7) de acordo com o laboratório 1 (Tabela 88); 931 (PT 1) a 19.877% (PT 3) de acordo com o laboratório 2 (Tabela 89) e, entre 985 (PT 8) a 25.335% (PT 3) de acordo com o laboratório 3 (Tabela 90).

Além do As, o elemento Hg também ultrapassou os limites máximos nacional e/ou internacionais de acordo com os resultados de todos os laboratórios, com porcentagens que variaram entre 120 a 226% de acordo com o laboratório 1; entre 176 a 477% de acordo com o laboratório 2 e, entre 104 a 448% de acordo com o laboratório 3. Ainda, de acordo com o laboratório 2, os elementos Cd e Pb ultrapassaram em 489 e 357% os limites internacionais e nacional estabelecidos, respectivamente. De acordo com o laboratório 3, o elemento Cu ultrapassa o limite nacional entre 113 a 124% e os elementos Cd (entre 393 a 644%) e Sb (entre 104 a 167%) os limites internacionais estabelecidos pelas regulamentações da ANVISA (2018b) e OMS/FAO (2016) e US EPA (2019), respectivamente. Além disso, os elementos Al, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, Se e Zn apresentam concentrações cuja representatividade em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais é superior a 50% em vários pontos amostrais onde estes organismos foram capturados (Tabela 88, Tabela 89 e Tabela 90).

**Tabela 88. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>		<b>48</b>		<b>0,034</b>			<b>0,21</b>		<b>120</b>		<b>18</b>				
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>		<b>34,31</b>				<b>1,66</b>			<b>0,32</b>			<b>29,59</b>			
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>		<b>12</b>	<b>0,006</b>						<b>0,018</b>		<b>8,4</b>			<b>0,024</b>	<b>0,3</b>			<b>18</b>			
PT 1	0,92	70,76	1129,37	11293,70	1,17	4,53	37,76	6,01	52,14	17,44	14,75	20,63	119,78	226,24	6,67	33,74	1,61	2,30	72,04	67,54	0,00	53,69	32,66	53,69
PT 2	ND	6,13	1783,08	17830,81	0,07	3,36	28,02	2,03	29,33	9,81	2,71	3,79	28,65	54,12	1,12	5,68	0,46	1,79	85,11	79,79	0,00	17,44	10,61	17,44
PT 3	ND	14,66	2196,89	21968,86	0,11	5,57	46,39	2,55	42,17	14,10	4,28	5,99	27,81	52,53	1,33	6,74	0,84	2,40	89,77	84,15	0,00	20,70	12,59	20,70
PT 4	3,56	20,39	1379,50	13794,99	0,13	3,73	31,05	2,56	39,85	13,33	6,51	9,10	16,73	31,60	1,63	8,24	0,84	2,63	63,85	59,86	0,00	20,21	12,29	20,21
PT 5	4,95	15,52	2004,09	20040,85	0,89	5,77	48,07	2,14	64,03	21,41	6,74	9,43	68,09	128,61	2,32	11,72	1,06	3,09	74,67	70,00	0,00	37,07	22,55	37,07
PT 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7	2,21	6,91	2350,59	23505,91	0,11	1,47	12,25	1,01	19,50	6,52	3,74	5,23	27,92	52,73	1,01	5,10	0,60	3,98	88,46	82,93	0,00	19,11	11,62	19,11
PT 8	1,93	68,01	1170,74	11707,36	1,21	1,00	8,32	5,71	29,58	9,89	11,67	16,32	24,70	46,66	1,38	6,99	1,14	2,10	66,85	62,68	0,00	37,44	22,77	37,44

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 89. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>		<b>48</b>		<b>0,034</b>			<b>0,21</b>		<b>120</b>		<b>18</b>				
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>		<b>34,31</b>				<b>1,66</b>			<b>0,32</b>			<b>29,59</b>			
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>		<b>12</b>	<b>0,006</b>						<b>0,018</b>		<b>8,4</b>			<b>0,024</b>	<b>0,3</b>			<b>18</b>			
PT 1	ND	74,53	931,17	9311,72	1,85	58,71	489,25	19,57	80,69	26,99	19,29	26,99	176,23	332,88	5,41	27,36	95,64	ND	38,24	35,85	ND	53,45	32,51	53,45
PT 2	ND	7,47	1591,76	15917,64	0,34	ND	ND	6,94	35,07	11,73	4,48	6,27	ND	ND	0,82	4,14	ND	ND	38,53	36,12	ND	16,30	9,92	16,30
PT 3	ND	11,05	1987,69	19876,86	0,17	ND	ND	11,54	48,81	16,32	6,30	8,81	ND	ND	0,65	3,31	7,18	ND	40,40	37,87	ND	17,88	10,88	17,88
PT 4	ND	34,51	937,60	9376,04	0,53	ND	ND	8,04	45,11	15,09	8,52	11,92	ND	ND	0,90	4,53	ND	ND	36,11	33,85	ND	17,08	10,39	17,08
PT 5	ND	20,22	1133,90	11338,99	4,16	ND	ND	11,04	65,52	21,91	9,23	12,91	252,38	476,72	2,00	10,13	ND	ND	39,73	37,24	ND	30,45	18,53	30,45
PT 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7	ND	16,07	1446,31	14463,07	0,43	ND	ND	7,64	20,03	6,70	2,99	4,18	41,48	78,35	0,61	3,09	ND	ND	42,92	40,24	ND	13,68	8,32	13,68
PT 8	ND	71,97	1002,85	10028,45	4,98	ND	ND	26,15	56,72	18,97	18,38	25,71	46,11	87,10	1,86	9,39	357,35	ND	44,04	41,29	ND	54,39	33,09	54,39

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 90. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>	<b>48</b>		<b>0,034</b>				<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>				
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>		<b>34,31</b>				<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>				
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>		<b>12</b>	<b>0,006</b>							<b>0,018</b>		<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>				
PT 1	ND	40,45	1151,70	11517,03	1,49	57,64	480,37	13,62	116,33	38,91	18,49	25,87	237,41	448,44	5,32	26,94	14,26	104,55	31,58	29,61	0,06	64,69	39,35	64,69
PT 2	ND	15,51	1698,56	16985,56	0,42	ND	ND	14,07	86,64	28,98	8,29	11,60	ND	ND	2,18	11,02	9,00	ND	35,14	32,95	0,04	22,55	13,72	22,55
PT 3	ND	12,74	2533,46	25334,57	0,43	47,22	393,46	12,21	113,43	37,94	8,30	11,61	64,34	121,54	2,09	10,58	9,51	ND	38,78	36,36	0,07	24,93	15,17	24,93
PT 4	ND	9,49	1053,78	10537,79	0,34	67,14	559,46	18,13	88,15	29,48	5,48	7,66	ND	ND	1,53	7,72	12,57	121,41	54,65	51,24	0,06	20,25	12,32	20,25
PT 5	ND	9,32	1212,72	12127,22	3,24	77,25	643,75	16,08	123,73	41,38	6,38	8,93	187,06	353,33	3,70	18,71	10,87	167,38	48,58	45,55	0,06	37,12	22,58	37,12
PT 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7	ND	8,08	1552,15	15521,53	0,35	ND	ND	10,96	57,32	19,17	3,99	5,59	55,44	104,72	1,11	5,61	8,38	ND	30,68	28,77	0,36	25,34	15,41	25,34
PT 8	ND	53,16	985,26	9852,62	1,73	73,95	616,28	13,60	84,30	28,19	10,78	15,08	ND	ND	1,38	6,98	12,63	95,28	30,61	28,69	0,05	54,85	33,37	54,85

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

No entanto, mesmo quando o consumo da menor porção diária de crustáceo (60 g) foi considerado, os limites de As superaram os limites máximos indicados pelas regulamentações nacional e internacionais, conforme evidenciado pelos resultados dos três laboratórios. De acordo com o laboratório 1 os limites de As seriam violados entre 219 (PT 1 - Foz do rio Piraquê-Açu) a 4.564% (PT 7 – Pontal do Ipiranga); entre 181 (PT 1) a 3.860% (PT 3 - Vila do Riacho), de acordo com o laboratório 2 e entre 191 (PT 8 - Guriri) a 4.919% (PT 3), de acordo com o laboratório 3 (Tabela 91, Tabela 92 e Tabela 93). Além disso, a ingesta de 60 g de crustáceos por dia, de acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 2, faria com que mais que 50% dos limites máximos permitidos por dia para os elementos Cd (PT 1), Hg (PT 1 e 5 - foz do rio Doce) e Pb (PT 8) fossem atingidos. Ainda, de acordo com o laboratório 3, o consumo de 60 g de crustáceo faria com que o elemento Cd violasse o limite máximo permitido internacionalmente para os pontos 4 (109%), 5 (125%) e 8 (120%) e que as concentrações determinadas para os elementos Cd (PT 1 e 3) e Hg (PT 1 e 5) extrapolassem 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações internacionais (Tabela 93).

**Tabela 91. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
PT 1	0,18	13,74	219,30	2192,95	0,23	0,88	7,33	1,17	10,12	3,39	2,86	4,01	23,26	43,93	1,29	6,55	0,31	0,45	13,99	13,11	0,00	10,43	6,34	10,43
PT 2	ND	1,19	346,23	3462,29	0,01	0,65	5,44	0,39	5,69	1,90	0,53	0,74	5,56	10,51	0,22	1,10	0,09	0,35	16,53	15,49	0,00	3,39	2,06	3,39
PT 3	ND	2,85	426,58	4265,80	0,02	1,08	9,01	0,50	8,19	2,74	0,83	1,16	5,40	10,20	0,26	1,31	0,16	0,47	17,43	16,34	0,00	4,02	2,44	4,02
PT 4	0,69	3,96	267,86	2678,64	0,03	0,72	6,03	0,50	7,74	2,59	1,26	1,77	3,25	6,14	0,32	1,60	0,16	0,51	12,40	11,62	0,00	3,92	2,39	3,92
PT 5	0,96	3,01	389,14	3891,43	0,17	1,12	9,33	0,42	12,43	4,16	1,31	1,83	13,22	24,97	0,45	2,28	0,21	0,60	14,50	13,59	0,00	7,20	4,38	7,20
PT 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7	0,43	1,34	456,43	4564,25	0,02	0,29	2,38	0,20	3,79	1,27	0,73	1,02	5,42	10,24	0,20	0,99	0,12	0,77	17,18	16,10	0,00	3,71	2,26	3,71
PT 8	0,37	13,21	227,33	2273,27	0,23	0,19	1,62	1,11	5,74	1,92	2,27	3,17	4,80	9,06	0,27	1,36	0,22	0,41	12,98	12,17	0,00	7,27	4,42	7,27

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 92. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
PT 1	ND	14,47	180,81	1808,10	0,36	11,40	95,00	3,80	15,67	5,24	3,75	5,24	34,22	64,64	1,05	5,31	18,57	ND	7,43	6,96	ND	10,38	6,31	10,38
PT 2	ND	1,45	309,08	3090,80	0,07	ND	ND	1,35	6,81	2,28	0,87	1,22	ND	ND	0,16	0,80	ND	ND	7,48	7,01	ND	3,16	1,93	3,16
PT 3	ND	2,15	385,96	3859,58	0,03	ND	ND	2,24	9,48	3,17	1,22	1,71	ND	ND	0,13	0,64	1,39	ND	7,84	7,35	ND	3,47	2,11	3,47
PT 4	ND	6,70	182,06	1820,59	0,10	ND	ND	1,56	8,76	2,93	1,65	2,32	ND	ND	0,17	0,88	ND	ND	7,01	6,57	ND	3,32	2,02	3,32
PT 5	ND	3,93	220,17	2201,75	0,81	ND	ND	2,14	12,72	4,26	1,79	2,51	49,01	92,57	0,39	1,97	ND	ND	7,71	7,23	ND	5,91	3,60	5,91
PT 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7	ND	3,12	280,84	2808,36	0,08	ND	ND	1,48	3,89	1,30	0,58	0,81	8,05	15,21	0,12	0,60	ND	ND	8,33	7,81	ND	2,66	1,62	2,66
PT 8	ND	13,97	194,73	1947,27	0,97	ND	ND	5,08	11,01	3,68	3,57	4,99	8,95	16,91	0,36	1,82	69,39	ND	8,55	8,02	ND	10,56	6,42	10,56

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

**Tabela 93. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em crustáceos, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn										
<b>CODEX</b>	<b>17,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>	<b>0,21</b>	<b>120</b>	<b>18</b>																
<b>IN</b>					<b>0,25</b>	<b>8,9</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>		<b>0,32</b>				<b>29,59</b>										
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>	<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>	<b>0,024</b>	<b>0,3</b>				<b>18</b>										
PT 1	ND	7,85	223,63	2236,32	0,29	11,19	93,28	2,64	22,59	7,55	3,59	5,02	46,10	87,08	1,03	5,23	2,77	20,30	6,13	5,75	0,01	12,56	7,64	12,56	
PT 2	ND	3,01	329,82	3298,17	0,08	ND	ND	2,73	16,82	5,63	1,61	2,25	ND	ND	0,42	2,14	1,75	ND	6,82	6,40	0,01	4,38	2,66	4,38	
PT 3	ND	2,47	491,93	4919,33	0,08	9,17	76,40	2,37	22,03	7,37	1,61	2,25	12,49	23,60	0,41	2,06	1,85	ND	7,53	7,06	0,01	4,84	2,95	4,84	
PT 4	ND	1,84	204,62	2046,17	0,07	13,04	108,63	3,52	17,12	5,72	1,06	1,49	ND	ND	0,30	1,50	2,44	23,58	10,61	9,95	0,01	3,93	2,39	3,93	
PT 5	ND	1,81	235,48	2354,80	0,63	15,00	125,00	3,12	24,03	8,04	1,24	1,73	36,32	68,61	0,72	3,63	2,11	32,50	9,43	8,84	0,01	7,21	4,38	7,21	
PT 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7	ND	1,57	301,39	3013,89	0,07	ND	ND	2,13	11,13	3,72	0,78	1,09	10,76	20,33	0,22	1,09	1,63	ND	5,96	5,59	0,07	4,92	2,99	4,92	
PT 8	ND	10,32	191,31	1913,13	0,34	14,36	119,67	2,64	16,37	5,47	2,09	2,93	ND	ND	0,27	1,36	2,45	18,50	5,94	5,57	0,01	10,65	6,48	10,65	

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado; NA = não amostrado.

Assim como para as concentrações totais, as análises de especiação de As inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e Hg orgânico (MeHg) demonstram a ocorrência de todas as espécies avaliadas, embora estas não tenham sido determinadas em todos os pontos. A espécie de  $As^{3+}$  foi determinada em crustáceos capturados nos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 5 (foz do rio Doce), enquanto a espécie de  $As^{5+}$  foi determinada em crustáceos capturados nos pontos 1, 5 e 8 (Guriri). A concentração total de As inorgânico variou entre os pontos entre 0,0347 (PT 8) a 0,0875  $mg.kg^{-1}$  PU (PT 1) (Tabela 94). Além disso, os crustáceos apresentaram MeHg apenas nos pontos 1, 5, 7 (Pontal do Ipiranga) e 8, em concentrações que variaram entre 0,0257 (PT 8) a 0,1852  $mg.kg^{-1}$  PU (PT 5) (Tabela 94).

**Tabela 94. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+}$  +  $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg), em  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido, determinadas em crustáceos capturadas nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico	MeHg
PT 1	0,0598	0,0278	0,0875	0,1301
PT 2	ND	ND	ND	ND
PT 3	ND	ND	ND	ND
PT 4	ND	ND	ND	ND
PT 5	0,0351	0,0253	0,0604	0,1852
PT 6	NA	NA	NA	NA
PT 7	ND	ND	ND	0,0282
PT 8	ND	0,0347	0,0347	0,0257

NA = não amostrado; ND = não determinado

A porcentagem de representatividade de As inorgânico e MeHg, dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações internacionais (JECFA FAO/WHO, 2011; FAO/WHO, 2016, respectivamente), considerando-se o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), faria com que os limites máximos permitidos fossem violados apenas para MeHg e, somente nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 5 (foz do rio Doce), com porcentagens de violação de 287% e 409%, respectivamente. Apesar disso, para os pontos 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri) as concentrações determinadas teriam representatividade superior a 50% do limite máximo permitido por dia (Tabela 95). O consumo de 60 g de crustáceos, por sua vez, não violaria os limites máximos estabelecidos internacionalmente para As inorgânico, o qual representaria entre 2,24 a 5,65% do limite máximo permitido, mas, superaria 50% do limite máximo estabelecido para MeHg nos pontos 1 e 5 (Tabela 95).

No entanto, se os cálculos de representatividade considerarem os limites máximos estabelecidos como referência para As inorgânico e MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a; b, respectivamente), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g de molusco violaria os limites máximos estabelecidos

tanto para As inorgânico nos pontos 1 (150%) e 5 (104%) e, para o PT 8 (Guriri) representaria mais que 50% dos limites máximos. Para MeHg, o limite máximo estabelecido seria violado em todos os pontos em porcentagens entre 132 a 954% (Tabela 95). Mesmo que o consumo fosse restringido a 60 g de crustáceos por dia, de acordo com estas regulamentações, os limites máximos para MeHg seriam violados nos pontos 1 e 5 (Tabela 95).

**Tabela 95. Porcentagens de ingestão diária para As inorgânico (As<sup>3+</sup> + As<sup>5+</sup>) e metilmercúrio (MeHg) em crustáceos, em relação aos limites máximos estabelecidos em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

	As inorgânico				MeHg			
	JECFA FAO/WHO (2011)		US EPA (2016a)		FAO/WHO (2016)		US EPA (2016b)	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	5,65	29,08	29,18	150,25	55,77	287,21	130,13	670,16
PT2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PT3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PT4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PT5	3,90	20,06	20,13	103,67	79,35	408,67	185,16	953,57
PT6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT7	ND	ND	ND	ND	12,09	62,26	28,21	145,26
PT8	2,24	11,54	11,57	59,60	10,99	56,62	25,65	132,10

NA = não amostrado; ND = não determinado

Apenas nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri) foi possível capturar mais do que uma espécie de crustáceo. Assim, quando os resultados obtidos para os 17 elementos são separados para cada uma das espécies de crustáceos, identifica-se que a espécie *Ucides cordatus* (caranguejo uça) foi a que mais acumulou elementos, seguida da espécie *Callinectes sapidus* (siri azul) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas) (Tabela 96, Tabela 97 e Tabela 98). No ponto 1, dos 17 elementos avaliados, 11 (Al, Ba, Co, Cr, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn e Zn) estiveram em maiores concentrações nos caranguejos; 4 (Ag, Cd, Cu e Mn) foram determinados em maiores concentrações em siris e 2 (As e Se) foram detectados em maiores concentrações em camarões, conforme resultados apresentados pelo laboratório 1 (Tabela 96). De acordo com o laboratório 2, dentre os elementos avaliados, 4 (Al, Ba, Fe e Zn) foram determinados em maiores concentrações em caranguejos; 6 (Cd, Co, Cu, Hg, Mn e Ni) foram determinados em maiores concentrações em siris e 4 (As, Cr, Pb e Se) foram determinados em maiores concentrações em camarões, uma vez que os elementos Ag, Sb e Sn não foram determinados em crustáceos por este laboratório (Tabela 97). De acordo com o laboratório 3, 8 (Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Ni, Sb e Zn) dos elementos avaliados foram determinados em maiores concentrações em caranguejos; 5 (Co, Cu, Hg, Mn e Pb) em siris e, 3 (As, Se e Sn) foram determinados em maiores concentrações em camarões, uma vez que o Ag não foi determinado em crustáceos por este laboratório (Tabela 98).

No ponto 5, onde só foram capturados siris e camarões, de acordo com o laboratório 1, dos 17 elementos avaliados, 10 (Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn) foram determinados em maiores concentrações em siris e 7 (Ag, As, Cd, Co, Sb, Se e Sn) em camarões (Tabela 96). De acordo com o laboratório 2, 7 elementos (Al, Ba, Cu, Fe, Hg, Mn e Zn) foram determinados em maiores concentrações em siris, 4 (As, Cr, Ni e Se) foram determinados em maiores concentrações em camarões, enquanto, os elementos Ag, Cd, Co, Pb, Sb e Sn não foram determinados nestes organismos por este laboratório (Tabela 97). De acordo com o laboratório 3, 11 elementos (Al, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Se e Zn) foram determinados em maiores concentrações em siris, 5 (As, Cd, Pb, Sb e Sn) em camarões, pois, o elemento Ag não foi determinado em crustáceos por este laboratório (Tabela 98).

Para o ponto 8, onde só foram capturados caranguejos e camarões, de acordo com o laboratório 1 dos 17 elementos avaliados 12 (Ag, Al, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn e Zn) foram determinados em maiores concentrações caranguejos e 5 (As, Cd, Hg, Sb e Se) foram determinados em maiores concentrações em camarões (Tabela 96). De acordo com o laboratório 2, 10 (Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn) elementos foram determinados em maiores concentrações em caranguejos e 2 (As e Se) em maiores concentrações em camarões, pois, os elementos Ag, Cd, Co, Sb e Sn não foram detectados nestes organismos por este laboratório (Tabela 97). De acordo com o laboratório 3, 10 elementos (Al, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb e Zn) foram detectados em maiores concentrações em caranguejos, 5 (As, Cr, Ni, Se e Sn) em camarões, enquanto os elementos Ag e Hg não foram detectados nestes organismos por este laboratório (Tabela 98).

**Tabela 96. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 1, nas espécies de crustáceos capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT 1																	
<i>C. sapidus</i>	0,0158	23,3438	4,9453	0,5275	0,0109	0,0101	0,0374	5,8528	18,1336	0,1657	3,8448	0,0149	0,0068	0,0009	0,6623	0,0015	33,2981
<i>U. cordatus</i>	0,0021	85,5828	1,0462	0,7812	0,0018	0,0315	0,0909	4,0489	41,9274	0,2622	1,1338	0,0826	0,0159	0,0027	0,4301	0,0050	48,2097
<i>X. kroyeri</i>	ND	8,8200	13,7451	0,0555	0,0095	0,0140	0,0176	5,2839	8,6610	0,0196	0,4596	0,0339	0,0101	0,0018	1,0060	0,0005	12,3196
PT 2																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	3,2227	10,3869	0,0264	0,0054	0,0119	0,0164	2,8474	4,2106	0,0315	0,3051	0,0188	0,0031	0,0014	0,8263	0,0007	10,1606
PT 3																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	8,1302	12,797	0,044	0,009	0,016	0,021	4,094	6,6457	0,031	0,362	0,023	0,006	0,002	0,872	0,001	12,057
PT 4																	
<i>X. kroyeri</i>	0,035	11,31	8,0359	0,051	0,006	0,012	0,021	3,869	10,107	0,018	0,443	0,028	0,006	0,002	0,62	0,001	11,773
PT 5																	
<i>C. sapidus</i>	0,045	11,477	4,2392	1,219	0,005	0,009	0,021	6,984	14,255	0,236	1,206	0,018	0,008	7E-04	0,586	9E-04	46,06
<i>X. kroyeri</i>	0,049	7,6875	14,053	0,067	0,011	0,015	0,016	5,971	9,2653	0,023	0,445	0,03	0,007	0,003	0,769	0,001	13,768
PT 6																	
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7																	
<i>X. kroyeri</i>	0,021	3,835	13,693	0,043	0,002	0,01	0,008	1,894	5,8055	0,031	0,274	0,018	0,004	0,003	0,859	0,001	11,13
PT 8																	
<i>U. cordatus</i>	0,019	94,771	0,4049	1,25	4E-04	0,016	0,103	4,667	40,763	0,02	0,593	0,138	0,017	1E-03	0,332	0,004	44,952
<i>X. kroyeri</i>	0,018	6,0314	10,384	0,035	0,002	0,006	0,014	1,874	5,5448	0,031	0,255	0,018	0,003	0,002	0,825	9E-04	8,9499

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado e NA = não amostrado.

**Tabela 97. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 2, nas espécies de crustáceos capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT 1																	
<i>C. sapidus</i>	ND	23,8466	4,0642	0,7163	0,0950	0,0502	0,1427	10,1451	26,1805	0,2275	3,1018	0,2844	0,0550	ND	0,3058	ND	32,8184
<i>U. cordatus</i>	ND	89,7803	0,5737	1,3325	ND	ND	0,1581	7,0758	52,3532	ND	0,9728	0,1921	ND	ND	ND	ND	49,0967
<i>X. kroyeri</i>	ND	10,3936	11,6350	0,1063	ND	ND	0,1778	6,2798	11,3806	0,0596	0,3352	0,1333	1,2449	ND	0,4236	ND	11,4928
PT 2																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	4,1451	9,2724	0,1314	ND	ND	0,0562	3,4051	6,9611	ND	0,2223	0,1120	ND	ND	0,3741	ND	9,4947
PT 3																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	6,1314	11,5788	0,0679	ND	ND	0,0934	4,7388	9,7864	ND	0,1777	0,0944	0,0488	ND	0,3922	ND	10,4172
PT 4																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	19,1399	5,4618	0,2053	ND	ND	0,0650	4,3795	13,2387	ND	0,2434	0,0724	ND	ND	0,3505	ND	9,9472
PT 5																	
<i>C. sapidus</i>	ND	17,0751	1,2042	2,1630	ND	ND	0,0751	9,1238	23,5956	0,2777	1,3835	0,0610	ND	ND	0,3093	ND	41,2406
<i>X. kroyeri</i>	ND	9,3378	8,3336	0,5222	ND	ND	0,1889	5,4776	11,3742	ND	0,2757	0,3560	ND	ND	0,4101	ND	10,2199
PT 6																	
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	8,9149	8,4251	0,1663	ND	ND	0,0618	1,9442	4,6433	0,0456	0,1658	0,0476	ND	ND	0,4167	ND	7,9716
PT 8																	
<i>U. cordatus</i>	ND	90,9845	0,8977	2,8287	ND	ND	0,2698	10,8209	66,1967	0,0526	0,9817	3,1159	3,5578	ND	0,3526	ND	71,2993
<i>X. kroyeri</i>	ND	6,9780	8,5886	0,1422	ND	ND	0,1602	2,5553	7,6303	0,0503	0,2396	0,1875	0,1702	ND	0,4692	ND	9,6744

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado e NA = não amostrado.

**Tabela 98. Média da concentração de EPTs, determinados pelo laboratório 3, nas espécies de crustáceos capturadas nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT 1																	
<i>C. sapidus</i>	ND	12,6975	4,3095	0,6256	0,0847	0,1180	0,0905	13,9340	25,7780	0,2612	2,7461	0,0893	0,1047	0,0785	0,2838	0,2031	41,7450
<i>U. cordatus</i>	ND	47,2200	0,6294	0,8888	0,1190	0,0753	0,1304	11,0375	47,7700	ND	0,9834	0,1494	0,0881	0,0839	0,0785	0,2419	57,8300
<i>X. kroyeri</i>	ND	7,3930	15,1880	0,2161	ND	ND	0,1034	8,9115	12,6120	ND	0,6116	0,0693	0,0977	ND	0,3950	0,2592	13,4700
PT 2																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	8,6055	9,8945	0,1627	ND	ND	0,1138	8,4120	12,8755	ND	0,5923	0,0771	0,0611	ND	0,3412	0,1464	13,1355
PT 3																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	7,0660	14,7580	0,1662	0,0764	ND	0,0988	11,0125	12,8885	0,0708	0,5686	0,0616	0,0646	ND	0,3765	0,2667	14,5250
PT 4																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	5,2641	6,1385	0,1324	0,1086	0,1315	0,1467	8,5578	8,5081	ND	0,4147	0,1204	0,0854	0,0943	0,5306	0,2334	11,7933
PT 5																	
<i>C. sapidus</i>	ND	5,5438	1,8944	4,7484	ND	0,1300	0,1713	14,2550	16,4000	0,2058	2,8915	0,2390	0,0721	ND	0,6277	0,2270	45,1000
<i>X. kroyeri</i>	ND	5,0480	8,7188	0,1433	0,1250	0,0853	0,1189	11,2956	7,8412	ND	0,4016	0,0850	0,0743	0,1300	0,4132	0,2414	14,1108
PT 6																	
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PT 7																	
<i>X. kroyeri</i>	ND	4,4829	9,0417	0,1372	ND	0,0828	0,0887	5,5654	6,2050	0,0610	0,3011	ND	0,0570	ND	0,2979	1,3888	14,7608
PT 8																	
<i>U. cordatus</i>	ND	76,0430	0,3633	1,6507	0,1360	0,1260	0,1096	12,7625	38,4350	ND	0,5779	0,0965	0,0912	0,0757	0,2853	0,1670	71,8750
<i>X. kroyeri</i>	ND	3,6222	8,7261	0,1288	0,1115	0,0931	0,1107	5,6406	4,6897	ND	0,2623	0,0982	0,0782	0,0736	0,2997	0,1984	9,7719

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes correspondem às menores concentrações para cada elemento avaliado entre os grupos taxonômicos de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado e NA = não amostrado.

Dentre os elementos que possuem limites máximos legislados no Brasil (ANVISA, 1998; 2013), o As e o Pb tiveram seus limites violados. A violação do limite de Pb ocorreu apenas de acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 2 para a espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas) no PT 1 e para a espécie *Ucides cordatus* (caranguejo uça) no PT 8 (Tabela 96, Tabela 97, Tabela 98). Ressalta-se neste caso, que ambos os pontos, onde foi identificada violação dos limites de Pb, estão fora da área de proibição da pesca.

A violação para As ocorreu para as espécies *Callinectes sapidus* (siri azul) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas) em todos os pontos onde estes organismos foram capturados. Para a espécie *Ucides cordatus* (caranguejo uça), no entanto, não houve violação dos limites máximos de As nos pontos onde foram capturados, exceto no PT 1 que, de acordo com o laboratório 1, ocorreu a violação do limite em 5% (Tabela 96, Tabela 97 e Tabela 98). A espécie que acumulou As em maiores concentrações foi *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas), com porcentagens de violação que variaram entre 446 a 1.419%, seguida pela espécie *Callinectes sapidus* com porcentagens de violação aos limites máximos legislados variando entre 20 a 395% (Tabela 99).

Conforme já relatado na primeira campanha, o hábito alimentar e o hábitat dos camarões sete barba (*X. kroyeri*) favorecem a contaminação destes organismos e justifica a ocorrência de elevada contaminação por As nos mesmos. Porém, uma vez que os siris-azuis também são animais bentônicos, com hábito alimentar omnívoro, mas com preferência a carnívora e, com comportamento de revolvimento do sedimento onde está inserido (OLIVEIRA et al., 2006; SAMPAIO, 2009; RODRIGUES; D'INCAO, 2014), era esperado que os mesmos apresentassem, além da grande variedade de EPTs, maior contaminação por As. No entanto, a dieta destes organismos varia conforme seu hábitat, estação do ano, tamanho e distribuição dos organismos dos quais tem preferência (OLIVEIRA et al., 2006; SAMPAIO, 2009; RODRIGUES; D'INCAO, 2014). Ainda assim, estes animais apresentaram elevada concentração desse elemento e, por serem considerados importantes recursos pesqueiros (OLIVEIRA et al., 2006; SAMPAIO, 2009; MENDONÇA, VERANI; NORDI, 2010; RODRIGUES; D'INCAO, 2014), da mesma forma que os camarões, precisam ser monitorados quanto a contaminação por este e demais EPTs.

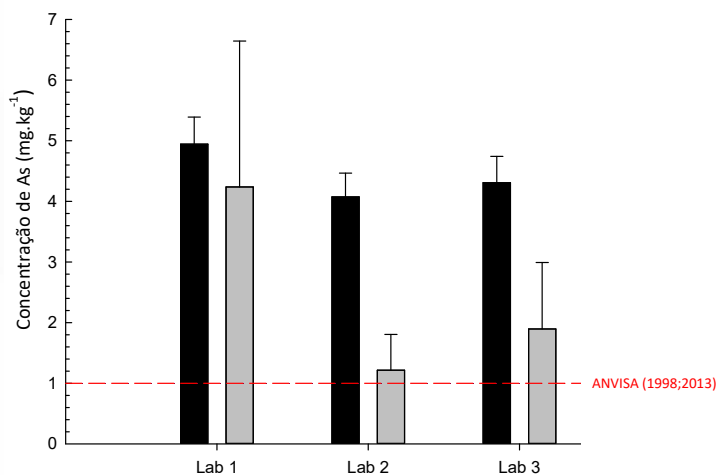
**Tabela 99. Porcentagem de violação de As em relação aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013), para cada espécie de crustáceo capturados nos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, de acordo com os laboratórios (Lab) 1, 2 e 3**

	% de violação de As		
	Lab 1	Lab 2	Lab 3
PT 1			
<i>C. sapidus</i>	395	306	331
<i>U. cordatus</i>	5	-	-
<i>X. kroyeri</i>	1275	1064	1419
PT 2			
<i>X. kroyeri</i>	939	827	889
PT 3			
<i>X. kroyeri</i>	1180	1058	1376
PT 4			
<i>X. kroyeri</i>	704	446	514
PT 5			
<i>C. sapidus</i>	324	20	89
<i>X. kroyeri</i>	1305	733	772
PT 6			
	NA	NA	NA
PT 7			
<i>X. kroyeri</i>	1269	743	804
PT 8			
<i>U. cordatus</i>	-	-	-
<i>X. kroyeri</i>	938	759	773

NA = não amostrado; os traços correspondem a ausência de violação dos limites

Ao compararmos as concentrações de As determinadas para cada uma das espécies, em cada um dos pontos de ocorrência, verificou-se que a espécie *C. sapidus* (siris-azuis), de acordo com o laboratório 1, tanto no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu), quanto no PT 5 (foz do rio Doce), apresentaram elevadas concentrações e, conseqüentemente, contaminação por As. No entanto, de acordo com os laboratórios 2 e 3, a maior concentração e, conseqüentemente, contaminação desta espécie ocorreu no ponto 1 (foz do rio Piraquê-Açu). Assim, de acordo com os três laboratórios, o PT 1 seria o pior local para captura destes organismos (Figura 11).

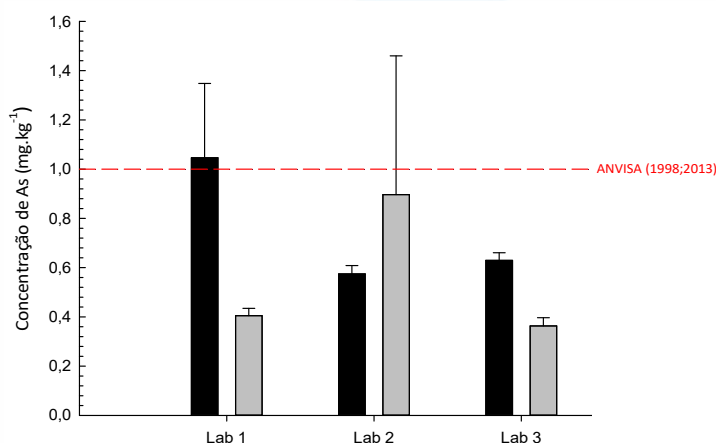
**Figura 11. Média da concentração de arsênio (As;  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de peso úmido) determinada em *Callinectes sapidus* (siri azul) pelos laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 nos pontos amostrais 1 (foz do rio Piraquê-Açu; barras pretas) e 5 (foz do rio Doce; barras cinzas)**



Dados apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

Para a espécie *Ucides cordatus* (caranguejo uça), de acordo com os laboratórios 1 e 3, o PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu) foi o que apresentou maior concentração e, conseqüentemente, contaminação por As. No entanto, de acordo com o laboratório 2, não existe diferença entre os níveis de contaminação entre os pontos 1 e 8 (Guriri). Novamente, para a captura desta espécie, a pior localidade é o PT 1, conforme resultados dos laboratório 1 e 3 (Figura 12).

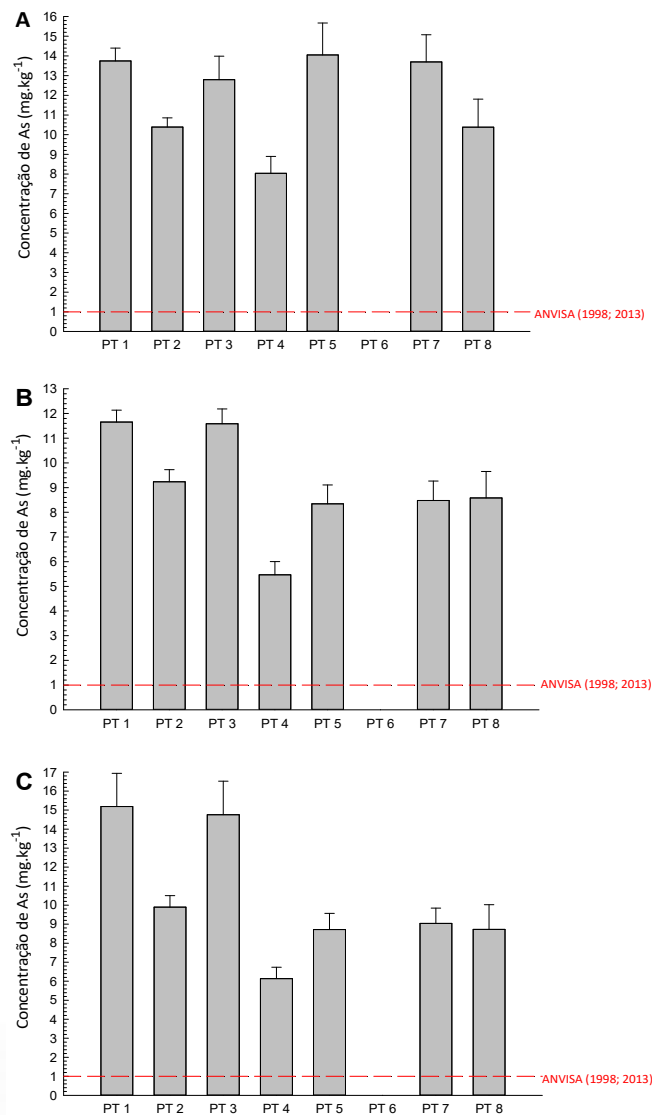
**Figura 12. Média da concentração de arsênio (As;  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de peso úmido) determinada em *Ucides cordatus* (caranguejo uça) pelos laboratórios (Lab) 1, 2 e 3 nos pontos amostrais 1 (foz do rio Piraquê-Açu; barras pretas) e 8 (Guriri; barras cinzas)**



Dados apresentados em média  $\pm$  erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

Por fim, para a espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas), de acordo com o laboratório 1, os pontos onde estes organismos apresentaram maiores concentrações de As e, conseqüentemente, maior contaminação, foram os pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 3 (Vila do Riacho), 5 (foz do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga). De acordo com os laboratórios 2 e 3, os pontos que apresentam as maiores concentrações e, conseqüentemente, maior contaminação, foram os pontos 1 e 3 (Figura 13). Assim, de acordo com os resultados apresentados pelos três laboratórios, os piores pontos para captura desta espécie seriam os pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 3 (Vila do Riacho).

**Figura 13. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas) pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**



Dados apresentados em média ± erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

Faz-se a ressalva, novamente, que dentre os pontos cujas concentrações de As foram mais elevadas para as diferentes espécies de crustáceos, os pontos 1 e 7 estão fora da área de proibição da pesca. No entanto, é muito importante ressaltar que, em todos os pontos onde estes organismos foram capturados foram identificadas elevadas concentrações de As, bem como de outros elementos, variáveis, de acordo com as espécies. Assim, todas as localidades amostradas configuram-se como pontos sensíveis para captura e consumo de crustáceos.

Além disso, embora não tenham sido encontrados estudos pré-desastre (linha base) para as espécies avaliadas, para a espécie *Ucides cordatus* e *Xiphopenaeus kroyeri* existem resultados pós-desastre obtidos pela RRDM (2019) e Econservation (2016), os quais antecederam os estudos do Lactec apresentados no presente relatório. A comparação realizada entre os resultados apresentados para a espécie *U. cordatus* capturados no PT 1 (foz do Piraquê-Açu) demonstra que para os elementos As, Cu, Fe, Hg, Pb e Zn, as concentrações determinadas no presente estudo foram superiores as determinadas pela RRDM, em ambas as coletas por eles realizadas (Tabela 100), o que demonstra que os manguezais também foram afetados pela passagem da lama, que estes EPTs continuam disponíveis no ambiente e que os organismos estão bioacumulando esses elementos. Lembrando que o PT 1 se encontra fora da área de proibição da pesca.

**Tabela 100. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em tecido muscular de *Ucides cordatus* capturados no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu): Comparação entre o estudo atual e estudo pretérito (pós-desastre) realizado entre 2 anos e 3 anos após o desastre**

Elementos (mg/kg PU)	RRDM (2019)		LACTEC (2019)
	set/out 2018	jan/fev 2019	mar/abr 2019
Ag	ND	ND	0,002
Al	ND	ND	74,194
As	0,235	0,495	0,750
Ba	ND	ND	1,001
Cd	0,065	0,003	0,060
Co	ND	ND	0,053
Cr	2,305	0,015	0,126
Cu	2,150	0,910	7,387
Fe	27,900	11,775	47,350
Hg	0,015	0,000	0,262
Mn	13,930	1,440	1,030
Ni	ND	ND	0,141
Pb	0,030	0,025	0,052
Sb	ND	ND	0,043
Se	ND	ND	0,254
Sn	ND	ND	0,123
Zn	0,650	40,420	51,712

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, em cada um dos estudos realizados, para cada localidade. Resultados apresentados pelo Lactec correspondem a médias dos resultados obtidos pelos três laboratórios que avaliaram as amostras. ND = não determinado.

A comparação realizada entre os estudos que apresentaram resultados para a espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete barbas) demonstra que, muito embora o estudo da Econservation (2016) ainda correspondesse a um período de contaminação intensa, pois, foi realizado 3 meses após a ocorrência do desastre (entre dezembro/2015 e fevereiro/2016), as concentrações de EPTs foram superiores no presente estudo, especialmente, durante a primeira campanha. Os elementos Al, Fe e Mn foram os únicos cujas concentrações foram superiores em todos os pontos amostrados no estudo da Econservation (2016), os demais elementos (14) apresentaram maiores concentrações no presente estudo e, como já mencionado, especialmente na primeira campanha. Conforme já discutido pela RRDM (2019), com base no modelo do ligante biótico, a primeira campanha ocorreu em uma época onde foi evidenciada maior biodisponibilidade dos elementos (Tabela 101), o que é totalmente compatível com os resultados aqui apresentados. No entanto, mesmo os resultados da segunda campanha realizada pelo Lactec demonstram que a contaminação desta espécie de camarão aumentou em relação aos resultados apresentados pela Econservation (2016) (Tabela 101). Essa condição, novamente, demonstra que independentemente do ponto de coleta, a chegada da onda de rejeitos disponibilizou EPTs no ambiente, estes continuam disponíveis e sendo bioacumulados pelas diferentes espécies de crustáceos capturadas.

**Tabela 101. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas em tecido muscular de camarões da espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudo pretérito (pós desastre) realizado entre 2 e 5 meses após o desastre**

	Econservation (2016)							Lactec (2019) - campanha 1							Lactec (2019) - campanha 2									
	Santa Cruz	Barra do Riacho	Vila do Riacho	Regência (rio Doce)		Degredo	Barra Nova	Barra Seca	Santa Cruz	Barra do Riacho	Vila do Riacho	Regência (rio Doce)		Degredo	Barra Nova	Barra Seca	Santa Cruz	Barra do Riacho	Vila do Riacho	Regência (rio Doce)		Degredo	Barra Nova	Barra Seca
			Estuário	Foz							Estuário	Foz							Estuário	Foz				
Ag	0,010	0,010	NA	NA	0,010	NA	0,010	0,010	0,003	1,501	1,501	NA	0,063	0,009	0,009	0,004	ND	ND	ND	0,035	0,049	NA	0,021	0,018
Al	14,980	33,870	NA	NA	36,150	NA	31,510	43,350	12,478	5,345	39,646	NA	16,843	16,157	7,856	14,298	8,869	5,324	7,109	11,905	7,358	NA	5,744	5,544
As	4,630	7,710	NA	NA	8,860	NA	8,690	8,900	10,358	9,696	10,108	NA	5,029	10,533	16,260	17,511	13,523	9,851	13,045	6,545	10,368	NA	10,387	9,233
Ba	0,026	0,099	NA	NA	0,161	NA	0,103	0,074	0,049	1,301	0,692	NA	0,078	0,058	0,139	0,089	0,126	0,107	0,093	0,130	0,244	NA	0,116	0,102
Cd	0,007	0,005	NA	NA	0,006	NA	0,004	0,004	0,003	1,501	1,501	NA	0,002	0,002	0,001	0,002	0,010	0,005	0,043	0,057	0,068	NA	0,0002	0,057
Co	0,020	0,010	NA	NA	0,020	NA	0,010	0,010	0,008	1,013	1,506	NA	0,017	0,011	0,009	0,008	0,014	0,012	0,016	0,072	0,050	NA	0,046	0,050
Cr	0,029	0,059	NA	NA	0,060	NA	0,055	0,065	0,066	0,198	0,266	NA	0,063	0,065	0,061	0,051	0,100	0,062	0,071	0,078	0,108	NA	0,053	0,095
Cu	2,680	3,810	NA	NA	4,450	NA	3,880	4,630	7,102	4,889	4,791	NA	5,645	5,320	4,920	4,563	6,825	4,888	6,615	5,602	7,581	NA	3,135	3,357
Fe	15,510	31,940	NA	NA	36,370	NA	28,080	28,750	5,584	4,572	5,588	NA	12,512	14,244	5,704	7,224	10,885	8,016	9,774	10,618	9,494	NA	5,551	5,955
Hg	0,018	0,011	NA	NA	0,010	NA	0,018	0,016	0,044	0,367	1,022	NA	0,048	0,063	0,073	0,082	0,040	0,032	0,051	0,018	0,023	NA	0,046	0,041
Mn	0,590	0,650	NA	NA	0,740	NA	0,970	0,790	0,231	0,308	0,763	NA	0,487	0,703	0,260	0,245	0,469	0,373	0,369	0,367	0,374	NA	0,247	0,252
Ni	0,030	0,030	NA	NA	0,030	NA	0,030	0,030	0,222	0,445	0,491	NA	0,181	0,102	0,150	0,150	0,079	0,069	0,060	0,074	0,157	NA	0,033	0,101
Pb	0,019	0,059	NA	NA	0,020	NA	0,019	0,018	0,054	0,402	1,214	NA	0,087	0,059	0,042	0,051	0,451	0,032	0,040	0,046	0,041	NA	0,031	0,084
Sb	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,002	1,501	1,501	NA	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,048	0,067	NA	0,003	0,038
Se	0,380	0,540	NA	NA	0,680	NA	0,850	0,750	0,735	0,855	0,905	NA	0,648	1,255	1,128	1,445	0,608	0,514	0,547	0,500	0,531	NA	0,525	0,531
Sn	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,002	1,501	1,501	NA	0,003	0,001	2,677	0,001	0,130	0,074	0,134	0,117	0,121	NA	0,695	0,100
Zn	11,940	9,410	NA	NA	12,170	NA	9,590	10,220	12,718	11,552	11,579	NA	10,107	10,946	10,973	11,286	12,427	10,930	12,333	11,171	12,700	NA	11,287	9,465

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, em cada um dos estudos realizados, para cada localidade. Resultados apresentados pelo Lactec correspondem a médias dos resultados obtidos pelos três laboratórios que avaliaram as amostras. NA = não amostrado e ND = não determinado.

Ainda, quando os resultados das amostras de cada uma das espécies de crustáceos são transformados em porcentagens para identificação da representatividade das concentrações determinadas dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações nacionais (ANVISA, 2018b) e internacionais (FAO/WHO, 2016; US EPA, 2019), identifica-se que, de acordo com os resultados dos três laboratórios, para uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), os limites de As seriam violados para todas as espécies, em todos os pontos de amostragem, em porcentagens que variaram entre 180 a 24.125%, de acordo com o laboratório 1; entre 154 a 20.006%, de acordo com o laboratório 2 e, entre 108 a 26.072%, de acordo com o laboratório 3. A única exceção a essa condição foi a espécie *U. cordatus* (caranguejo uça) capturada no PT 8 (Guriri), conforme resultados apresentados pelo laboratório 1 e 3 e, no PT 1 (foz do rio Piraquê-Açu), conforme resultado apresentado pelo laboratório 2, cujas concentrações de As determinadas corresponderiam a mais que 50% dos limites diários nacionais estabelecidos.

Além do As, foi possível verificar que os limites máximos estabelecidos por dia para o Hg, tanto nacional quanto internacional, também seriam violados para as espécies *C. sapidus* nos pontos 1 e 5 (foz do rio Doce), em porcentagens que variaram entre 151 a 406% de acordo com o laboratório 1; 207 a 419%, de acordo com o laboratório 2 e, 187 a 448%, de acordo com o laboratório 2. Ainda, para *U. cordatus* capturados no PT 1, os limites nacional e internacional de Hg seriam violados entre 215 a 406%, respectivamente, de acordo com os resultados do laboratório 1 (Tabela 102, Tabela 103 e Tabela 104).

Para a espécie *C. sapidus*, além dos elementos supracitados, os elementos Cd, Cu, Mn, Se e Zn (de acordo com o laboratório 1); Cu, Mn e Zn (de acordo com o laboratório 2) e Cd, Mn, Se e Zn (de acordo com o laboratório 3) representariam mais do que 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais. Para a espécie *U. cordatus*, além do As e do Hg, os elementos Se e Zn (de acordo com o laboratório 1); Cu, Fe e Zn (de acordo com o laboratório 2) e, Al, Cd, Sb e Zn (de acordo com o laboratório 3), apresentaram concentrações que representariam mais que 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais. Por fim, para a espécie *X. kroyeri*, além de As, os elementos Cd, Cu, Hg e Se (de acordo com o laboratório 1); Cu (de acordo com o laboratório 2) e, Cd, Cu e Sb (de acordo com o laboratório 3), apresentaram concentrações cuja representatividade é superior a 50% dos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacional e/ou internacionais (Tabela 102, Tabela 103 e Tabela 104).

É importante mencionar que a espécie *X. kroyeri* foi capturada em todos os pontos de amostragem, exceto no PT 6, onde não ocorreu nenhuma espécie de crustáceo. Assim, embora os

resultados de porcentagem de representatividade dos demais pontos (2, 3, 4 e 7), onde somente esta espécie de crustáceo foi capturada, não tenham sido apresentados aqui, a porcentagem de representatividade de cada EPT encontram-se, de acordo com os laboratório 1, 2 e 3, nas Tabela 88, Tabela 89 e Tabela 90, respectivamente.

**Tabela 102. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>	<b>48</b>		<b>0,034</b>			<b>0,21</b>			<b>0,32</b>		<b>120</b>	<b>18</b>			
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>		<b>34,3</b>				<b>1,66</b>				<b>0,32</b>		<b>29,6</b>			
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>		<b>12</b>	<b>0,006</b>						<b>0,018</b>		<b>8,4</b>			<b>0,024</b>	<b>0,3</b>			<b>18</b>			
PT 1																								
<i>C. sapidus</i>	1,62	42,08	848,94	8489,42	1,36	6,72	56,03	4,63	60,28	20,16	11,67	16,33	150,62	284,50	14,14	71,57	1,00	1,10	68,21	63,95	0,00	57,16	34,77	57,16
<i>U. cordatus</i>	0,22	154,29	179,60	1796,00	2,01	1,09	9,10	11,23	41,70	13,95	26,99	37,76	238,32	450,16	4,17	21,10	2,33	3,47	44,30	41,53	0,00	82,76	50,34	82,76
<i>X. kroyeri</i>	ND	15,90	2.359,57	23.595,69	0,14	5,89	49,07	2,17	54,42	18,20	5,58	7,80	17,81	33,64	1,69	8,55	1,49	2,33	103,62	97,15	0,00	21,15	12,87	21,15
PT 5																								
<i>C. sapidus</i>	4,64	20,69	727,74	7277,38	3,14	3,06	25,48	2,57	71,94	24,06	9,18	12,84	214,77	405,67	4,44	22,46	1,16	0,93	60,38	56,61	0,00	79,07	48,10	79,07
<i>X. kroyeri</i>	5,04	13,86	2.412,52	24.125,17	0,17	6,64	55,29	2,00	61,50	20,57	5,96	8,34	21,15	39,95	1,64	8,28	1,03	3,70	79,24	74,29	0,00	23,64	14,38	23,64
PT 8																								
<i>U. cordatus</i>	1,98	170,85	69,51	695,14	3,22	0,27	2,24	12,79	48,07	16,08	26,24	36,71	18,11	34,21	2,18	11,03	2,44	1,25	34,15	32,02	0,00	77,17	46,94	77,17
<i>X. kroyeri</i>	1,88	10,87	1782,53	17.825,27	0,09	1,40	11,70	1,77	19,31	6,46	3,57	4,99	28,36	53,57	0,94	4,75	0,42	2,57	85,02	79,71	0,00	15,36	9,35	15,36

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 103. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>			<b>0,05</b>			<b>3</b>	<b>48</b>		<b>0,034</b>			<b>0,21</b>			<b>0,32</b>		<b>120</b>	<b>18</b>			
<b>IN</b>								<b>0,25</b>	<b>8,97</b>		<b>34,3</b>				<b>1,66</b>				<b>0,32</b>		<b>29,6</b>			
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>		<b>12</b>	<b>0,006</b>							<b>0,018</b>		<b>8,4</b>			<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>			
PT 1																								
<i>C. sapidus</i>	ND	43,10	699,54	6995,40	1,85	2,94	24,46	14,12	104,57	34,97	16,86	23,59	206,95	390,90	11,45	57,95	0,40	ND	25,35	23,76	ND	56,30	34,25	56,30
<i>U. cordatus</i>	ND	162,13	98,58	985,76	3,46	ND	ND	18,62	73,20	24,48	33,81	47,30	ND	ND	3,59	18,15	ND	ND	ND	ND	ND	84,55	51,43	84,55
<i>X. kroyeri</i>	ND	18,82	2.000,62	20.006,25	0,27	ND	ND	14,21	64,94	21,72	7,38	10,32	13,51	25,52	1,24	6,27	9,09	ND	43,64	40,91	ND	19,84	12,07	19,84
PT 5																								
<i>C. sapidus</i>	ND	31,02	208,50	2084,96	5,69	ND	ND	8,22	94,83	31,72	15,37	21,50	221,67	418,71	5,16	26,13	ND	ND	32,34	30,32	ND	71,70	43,62	71,70
<i>X. kroyeri</i>	ND	16,82	1.432,32	14.323,21	0,21	ND	ND	0,92	56,54	18,91	7,34	10,27	ND	ND	1,00	5,08	ND	ND	42,47	39,82	ND	17,56	10,68	17,56
PT 8																								
<i>U. cordatus</i>	ND	164,07	153,93	1539,31	7,29	ND	ND	24,99	111,52	37,30	42,65	59,67	2,37	4,47	3,62	18,29	156,56	ND	36,03	33,78	ND	122,49	74,51	122,49
<i>X. kroyeri</i>	ND	10,86	1.472,85	14.728,50	0,10	ND	ND	9,33	26,31	8,80	4,92	6,88	5,17	9,77	0,88	4,46	2,09	ND	48,51	45,48	ND	16,65	10,13	16,65

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 104. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,3</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,6</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
PT 1																								
<i>C. sapidus</i>	ND	22,89	739,80	7.397,98	1,61	52,34	436,21	11,19	143,52	48,00	16,59	23,22	237,41	448,44	10,10	51,12	15,40	101,07	29,23	27,40	0,05	71,66	43,59	71,66
<i>U. cordatus</i>	ND	85,13	108,04	1.080,38	2,29	73,54	612,85	16,12	113,69	38,02	30,75	43,02	ND	ND	3,62	18,31	12,96	108,02	8,09	7,58	0,06	99,27	60,39	99,27
<i>X. kroyeri</i>	ND	13,33	2.607,27	26.072,73	0,56	ND	ND	12,78	91,79	30,70	8,12	11,36	ND	ND	2,25	11,38	14,38	ND	40,69	38,15	0,07	23,12	14,07	23,12
PT 5																								
<i>C. sapidus</i>	ND	9,99	325,21	3252,05	12,23	ND	ND	21,18	146,83	49,11	10,56	14,77	187,06	353,33	10,64	53,82	10,61	ND	64,65	60,61	0,06	77,42	47,10	77,42
<i>X. kroyeri</i>	ND	9,10	1.496,73	14.967,27	0,37	77,25	643,75	14,69	116,34	38,91	5,05	7,06	ND	ND	1,48	7,48	10,94	167,38	42,56	39,90	0,06	24,22	14,74	24,22
PT 8																								
<i>U. cordatus</i>	ND	137,09	62,37	623,67	4,25	84,05	700,40	13,54	131,45	43,96	24,74	34,62	ND	ND	2,13	10,76	13,42	97,46	29,39	27,55	0,04	123,39	75,06	123,39
<i>X. kroyeri</i>	ND	6,53	1.497,98	14.979,82	0,33	68,91	574,23	13,68	58,10	19,43	3,02	4,22	ND	ND	0,97	4,88	11,50	94,73	30,87	28,94	0,05	16,78	10,20	16,78

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

Mesmo que a menor porção (60 g) de cada uma das espécies de crustáceos fosse considerada, os limites máximos estabelecidos internacionalmente para o As seriam violados para todas as espécies, em todos os pontos de amostragem, conforme resultados apresentados pelos três laboratórios (Tabela 105, Tabela 106 e Tabela 107). Os limites máximos estabelecidos nacionalmente também seriam violados, exceto, para a espécie *U. cordatus* capturada nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 8 (Guriri), conforme resultados apresentados pelos três laboratórios e, para a espécie *C. sapidus* capturada no ponto 5 (foz do rio Doce), conforme resultado apresentado pelos laboratórios 2 e 3. Para *C. sapidus*, de acordo com o resultado apresentado pelo laboratório 3, as concentrações de As determinadas no PT 5 corresponderiam a mais que 50% dos limites máximos estabelecidos nacionalmente se a ingesta fosse de 60 g. Do mesmo modo, as concentrações de Hg determinadas em amostras da espécie *C. sapidus* corresponderiam a mais que 50% dos limites máximos estabelecidos internacionalmente nos pontos 1 e 5, conforme resultados apresentados pelos três laboratórios e, para a espécie *U. cordatus* capturada no PT 1, conforme resultado apresentado pelo laboratório 1. Para a espécie *C. sapidus*, capturada no PT 1, o elemento Cd também apresentou concentrações que corresponderiam a mais que 50% do limite máximo estabelecido internacionalmente, de acordo com o resultado apresentado pelo laboratório 3 (Tabela 105, Tabela 106 e Tabela 107).

**Tabela 105. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
PT 1																								
<i>C. sapidus</i>	0,32	8,17	164,84	1648,43	0,26	1,31	10,88	0,90	11,71	3,91	2,27	3,17	29,25	55,24	2,75	13,90	0,19	0,21	13,25	12,42	0,00	11,10	6,75	11,10
<i>U. cordatus</i>	0,04	29,96	34,87	348,74	0,39	0,21	1,77	2,18	8,10	2,71	5,24	7,33	46,28	87,41	0,81	4,10	0,45	0,67	8,60	8,06	0,00	16,07	9,78	16,07
<i>X. kroyeri</i>	ND	3,09	458,17	4581,69	0,03	1,14	9,53	0,42	10,57	3,53	1,08	1,51	3,46	6,53	0,33	1,66	0,29	0,45	20,12	18,86	0,00	4,11	2,50	4,11
PT 5																								
<i>C. sapidus</i>	0,90	4,02	141,31	1413,08	0,61	0,59	4,95	0,50	13,97	4,67	1,78	2,49	41,70	78,77	0,86	4,36	0,23	0,18	11,72	10,99	0,00	15,35	9,34	15,35
<i>X. kroyeri</i>	0,98	2,69	468,45	4684,50	0,03	1,29	10,74	0,39	11,94	3,99	1,16	1,62	4,11	7,76	0,32	1,61	0,20	0,72	15,39	14,43	0,00	4,59	2,79	4,59
PT 8																								
<i>U. cordatus</i>	0,39	33,18	13,50	134,98	0,63	0,05	0,43	2,48	9,33	3,12	5,10	7,13	3,52	6,64	0,42	2,14	0,47	0,24	6,63	6,22	0,00	14,98	9,11	14,98
<i>X. kroyeri</i>	0,37	2,11	346,12	3461,22	0,02	0,27	2,27	0,34	3,75	1,25	0,69	0,97	5,51	10,40	0,18	0,92	0,08	0,50	16,51	15,48	0,00	2,98	1,81	2,98

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 106. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
PT 1																								
<i>C. sapidus</i>	ND	8,37	135,83	1358,33	0,36	0,57	4,75	2,74	20,31	6,79	3,27	4,58	40,18	75,90	2,22	11,25	0,08	ND	4,92	4,61	ND	10,93	6,65	10,93
<i>U. cordatus</i>	ND	31,48	19,14	191,41	0,67	ND	ND	3,62	14,21	4,75	6,57	9,19	ND	ND	0,70	3,52	ND	ND	ND	ND	ND	16,42	9,99	16,42
<i>X. kroyeri</i>	ND	3,66	388,47	3884,71	0,05	ND	ND	2,76	12,61	4,22	1,43	2,00	2,62	4,95	0,24	1,22	1,77	ND	8,47	7,94	ND	3,85	2,34	3,85
PT 5																								
<i>C. sapidus</i>	ND	6,02	40,48	404,85	1,10	ND	ND	1,60	18,41	6,16	2,98	4,17	43,04	81,30	1,00	5,07	ND	ND	6,28	5,89	ND	13,92	8,47	13,92
<i>X. kroyeri</i>	ND	3,27	278,12	2781,21	0,04	ND	ND	0,18	10,98	3,67	1,42	1,99	ND	ND	0,19	0,99	ND	ND	8,25	7,73	ND	3,41	2,07	3,41
PT 8																								
<i>U. cordatus</i>	ND	31,86	29,89	298,90	1,42	ND	ND	4,85	21,65	7,24	8,28	11,59	0,46	0,87	0,70	3,55	30,40	ND	7,00	6,56	ND	23,79	14,47	23,79
<i>X. kroyeri</i>	ND	2,11	285,99	2859,90	0,02	ND	ND	1,81	5,11	1,71	0,95	1,34	1,00	1,90	0,17	0,87	0,41	ND	9,42	8,83	ND	3,23	1,97	3,23

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 107. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em espécimes de *Callinectes sapidus* (siri azul), *Ucides cordatus* (caranguejo uçá) e *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão 7 barbas), capturados nos pontos amostrais 1 (foz do Piraquê-Açu), 5 (foz do rio Doce) e 8 (Guriri), em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		<b>17,14</b>	<b>0,18</b>		<b>0,05</b>		<b>3</b>	<b>48</b>	<b>0,034</b>		<b>0,21</b>			<b>120</b>	<b>18</b>									
<b>IN</b>						<b>0,25</b>	<b>8,97</b>	<b>34,31</b>		<b>1,66</b>			<b>0,32</b>		<b>29,59</b>									
<b>EPA</b>	<b>0,3</b>		<b>0,018</b>	<b>12</b>	<b>0,006</b>				<b>0,018</b>	<b>8,4</b>		<b>0,024</b>	<b>0,3</b>		<b>18</b>									
PT 1																								
<i>C. sapidus</i>	ND	4,44	143,65	1436,50	0,31	10,16	84,70	2,17	27,87	9,32	3,22	4,51	46,10	87,08	1,96	9,93	2,99	19,63	5,68	5,32	0,01	13,92	8,46	13,92
<i>U. cordatus</i>	ND	16,53	20,98	209,78	0,44	14,28	119,00	3,13	22,08	7,38	5,97	8,35	ND	ND	0,70	3,55	2,52	20,98	1,57	1,47	0,01	19,28	11,73	19,28
<i>X. kroyeri</i>	ND	2,59	506,27	5062,67	0,11	ND	ND	2,48	17,82	5,96	1,58	2,21	ND	ND	0,44	2,21	2,79	ND	7,90	7,41	0,01	4,49	2,73	4,49
PT 5																								
<i>C. sapidus</i>	ND	1,94	63,15	631,47	2,37	ND	ND	4,11	28,51	9,54	2,05	2,87	36,32	68,61	2,07	10,45	2,06	ND	12,55	11,77	0,01	15,03	9,14	15,03
<i>X. kroyeri</i>	ND	1,77	290,63	2906,27	0,07	15,00	125,00	2,85	22,59	7,56	0,98	1,37	ND	ND	0,29	1,45	2,12	32,50	8,26	7,75	0,01	4,70	2,86	4,70
PT 8																								
<i>U. cordatus</i>	ND	26,62	12,11	121,10	0,83	16,32	136,00	2,63	25,53	8,54	4,80	6,72	ND	ND	0,41	2,09	2,61	18,93	5,71	5,35	0,01	23,96	14,57	23,96
<i>X. kroyeri</i>	ND	1,27	290,87	2908,70	0,06	13,38	111,50	2,66	11,28	3,77	0,59	0,82	ND	ND	0,19	0,95	2,23	18,39	5,99	5,62	0,01	3,26	1,98	3,26

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

Da mesma forma que para as concentrações totais, as análises de especiação de As inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e Hg orgânico (MeHg) demonstraram a ocorrência dessas em todas as espécies avaliadas, embora não tenham sido determinadas em todos os pontos. A espécie de  $As^{3+}$  foi determinada nas três espécies de crustáceos capturadas no 1 (foz do rio Piraquê-Açu), em concentrações que variaram entre 0,0519 a 0,0642  $mg.kg^{-1}$  PU e, apenas em *X. kroyeri* (0,0351  $mg.kg^{-1}$ ) capturada no PT 5 (foz do rio Doce). A espécie de  $As^{5+}$  também foi determinada em todas as espécies capturadas no ponto 1, em concentrações que variaram entre 0,0222 a 0,0286  $mg.kg^{-1}$  PU, na espécie *X. kroyeri* (0,0253  $mg.kg^{-1}$ ) capturada no PT 5 e, em *U. cordatus* (0,0347  $mg.kg^{-1}$ ) capturada no PT 8 (Guriri). A concentração total de As inorgânico ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) variou entre 0,0347 a 0,0863  $mg.kg^{-1}$  PU (Tabela 108). Nos demais pontos não apresentados aqui (2, 3, 4 e 7), onde somente a espécie *X. kroyeri* foi amostrada, não foram detectadas nenhuma das espécies de As avaliadas.

Com relação ao MeHg, o mesmo foi determinado em todas as espécies de crustáceos, embora também não tenha sido determinado em todos os pontos. A espécie *C. sapidus*, capturadas nos pontos 1 e 5, apresentaram concentrações de MeHg de 0,1582 e 0,1852  $mg.kg^{-1}$  PU, respectivamente. Essa foi, inclusive, a espécie de crustáceo que mais acumulou MeHg em seu tecido muscular. Para a espécie *U. cordatus* o MeHg foi detectado apenas nos espécimes capturados no PT 8 (Guriri), em concentração de 0,0512  $mg.kg^{-1}$ . Por fim, para a espécie *X. kroyeri*, o MeHg foi determinado apenas nos espécimes capturados nos pontos 1 e 8, em concentrações de 0,0178 e 0,0193  $mg.kg^{-1}$  PU, respectivamente (Tabela 108). Conforme já discutido para a primeira campanha, não existem no Brasil, regulamentações para os limites máximos das espécies de As e Hg em pescado. No entanto, registra-se, novamente, a informação de que estas são as formas mais tóxicas destes elementos e que todas as espécies de crustáceos avaliadas as apresentaram em seu tecido muscular, especialmente, a espécie *C. sapidus* que apresentou concentração média de 0,1717  $mg.kg^{-1}$  de PU.

**Tabela 108. Média da concentração das espécies de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), arsênio inorgânico total ( $As^{3+} + As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg), em  $mg.kg^{-1}$  de peso úmido, determinadas nas diferentes espécies de crustáceos capturadas nos diferentes pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, durante a segunda campanha**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico	MeHg
PT1				
<i>C. sapidus</i>	0,0642	0,0222	0,0863	0,1582
<i>U. cordatus</i>	0,0603	0,0256	0,0859	ND
<i>X. kroyeri</i>	0,0519	0,0286	0,0805	0,0178
PT5				
<i>C. sapidus</i>	ND	ND	ND	0,1852
<i>X. kroyeri</i>	0,0351	0,0253	0,0604	ND
PT8				
<i>U. cordatus</i>	ND	0,0347	0,0347	0,0512
<i>X. kroyeri</i>	ND	ND	ND	0,0193

ND = não determinado

A avaliação da porcentagem de representatividade de As inorgânico e MeHg, dentro dos limites máximos permitidos por dia pelas regulamentações internacionais (JECFA FAO/WHO, 2011; FAO/WHO, 2016, respectivamente), considerando o consumo de uma porção de 309 g (média descrita para a população através da Pesquisa de Orçamento Familiar da ANVISA (2019)), demonstra que apenas para o MeHg os limites máximos permitidos seriam violados. A violação ocorreria tanto para a espécie *C. sapidus* capturada nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 5 (foz do rio Doce), quanto para a espécie *U. cordatus* capturada no PT 8 (Guriri). As violações mais significativas aos limites estabelecidos internacionalmente foram identificadas para a espécie *C. sapidus*, com porcentagem média de representatividade de 379% em relação ao limite diário estabelecido internacionalmente. O consumo de 309 g de crustáceos, no entanto, representaria entre 11 a 29% de As inorgânico, em relação ao que é permitido internacionalmente em uma porção diária. O consumo de 60 g das diferentes espécies de crustáceos também não violaria os limites máximos estabelecidos internacionalmente para As inorgânico, o qual representaria entre 2,24 a 5,57% do limite máximo permitido, mas, representaria mais que 50% do limite máximo estabelecido se considerados os resultados obtidos nos pontos 1 e 5 em 67,80 e 79,37%, respectivamente, se a espécie escolhida para consumo fosse *C. sapidus* (Tabela 109).

No entanto, quando os cálculos de representatividade são realizados com base nos limites máximos estabelecidos para As inorgânico e MeHg pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a; b, respectivamente), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g violaria os limites máximos permitidos tanto para As inorgânico (em todos os pontos e para todas as espécies capturadas) quanto para MeHg (para a espécie *C. sapidus* nos pontos 1 e 5 e, para a espécie *U. cordatus* no ponto 8). Além disso, representaria mais que 50% dos limites máximos permitidos para MeHg para a espécie *X. kroyeri* nos pontos 1 e 8. Do mesmo modo, ainda que o consumo fosse restringido a uma porção de 60 g, o limite máximo estabelecido por esta regulamentação para MeHg seria violado para a espécie *C. sapidus* nos pontos 1 e 5 e, representaria mais que 50% no ponto 8, se a espécie escolhida para consumo fosse a espécie *U. cordatus* (Tabela 109).

Destacou-se o fato de que a espécie *C. sapidus* não foi, dentre as espécies de crustáceos, a que acumulou As total em maiores concentrações. No entanto, cabe lembrar que esses animais são bentônicos, com hábito alimentar omnívoro, mas com preferência a carnívoria e com comportamento de revolvimento do sedimento onde está inserido (OLIVEIRA et al., 2006; SAMPAIO, 2009; RODRIGUES; D'INCAO, 2014). Assim, as elevadas concentrações de As inorgânico e MeHg identificadas nestes organismos só reforça a necessidade de monitorá-los, uma vez que os mesmos caracterizam-se como

importante recurso pesqueiro (OLIVEIRA et al., 2006; SAMPAIO, 2009; MENDONÇA, VERANI; NORDI, 2010; RODRIGUES; D'INCAO, 2014).

**Tabela 109. Porcentagens de ingestão diária para As inorgânico (As<sup>3+</sup> + As<sup>5+</sup>) e metilmercúrio (MeHg) nas diferentes espécies de crustáceos, em relação aos limites máximos estabelecidos em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

	As inorgânico				MeHg			
	JECFA FAO/WHO (2011)		US EPA (2016a)		FAO/WHO (2016)		US EPA (2016b)	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1								
<i>C. sapidus</i>	5,57	28,67	28,77	444,45	67,80	349,17	158,20	814,73
<i>U. cordatus</i>	5,54	28,54	28,63	442,39	ND	ND	ND	ND
<i>X. kroyeri</i>	5,19	26,75	26,83	414,58	7,63	39,29	17,80	91,67
PT5								
<i>C. sapidus</i>	ND	ND	ND	ND	79,37	408,76	185,20	953,78
<i>X. kroyeri</i>	3,90	20,07	20,13	311,06	ND	ND	ND	ND
PT8								
<i>U. cordatus</i>	2,24	11,53	11,57	178,71	21,94	113,01	51,20	263,68
<i>X. kroyeri</i>	ND	ND	ND	ND	8,27	42,60	19,30	99,40

ND = não determinado

Nesta campanha, foram capturadas 17 espécies de peixes, distribuídas em todos os pontos amostrais, sendo 16 espécies de peixes ósseos e uma única espécie de peixe cartilaginoso, *Zapteryx brevirostris*, a qual ocorreu apenas nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 2 (Barra do Riacho). Os pontos com maior número de espécies foram, em ordem decrescente, PT 6 (sul de Degredo) com oito (8) espécies; PT 1 com sete (7) espécies; PT 8 (Guriri) com cinco (5) espécies; pontos 2, 3 (Vila do Riacho) e 7 (Pontal do Ipiranga) com quatro (4) espécies cada e pontos 4 (estuário do rio Doce) e 5 (foz do rio Doce) com três (3) espécies cada. Todas as espécies de peixes capturadas possuem hábito alimentar preferencialmente carnívoro, exceto a espécie *Mugil liza*, que possui hábito alimentar omnívoro (Tabela 7 e Figura 8).

De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 1, dos 17 elementos avaliados 9 (Al, Ba, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb, Se e Sn) foram determinados em elevadas concentrações em peixes dos diferentes pontos (Tabela 59). De acordo com o laboratório 2, dos elementos avaliados 7 (Al, Co, Cr, Fe, Hg, Mn e Pb) foram determinados em maiores concentrações nestes organismos em comparação a moluscos e crustáceos, no entanto, o elemento Cd só foi determinado em moluscos e crustáceos capturados no PT1 e, os elementos Sb e Sn não foram determinados por este laboratório em nenhum outro grupo taxonômico (Tabela 60). De acordo com o laboratório 3, 11 (Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb e Se) dos elementos avaliados foram determinados em maiores concentrações em peixes (Tabela 61).

Considerando-se os resultados obtidos por todos os laboratórios, dos elementos que os peixes apresentaram maiores concentrações, apenas Hg e Pb possuem limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira para contaminantes inorgânicos em alimentos (ANVISA, 1998; 2013 - Tabela 2 e Tabela 3). Mas, apesar dos peixes apresentarem as maiores concentrações destes elementos em relação aos demais grupos taxonômicos, não houve violação dos limites estabelecidos pela legislação brasileira em nenhum ponto de coleta para os elementos citados. Todavia, embora as concentrações desses elementos não tenham ultrapassado os limites legislados, é necessário o monitoramento das concentrações dos mesmos nestes organismos ao longo do tempo, uma vez que são elementos considerados prioritários pela Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ASTR, 2017).

Convém salientar, ainda, que, embora o Hg não tenha ultrapassado o limite máximo estabelecido pela legislação, a presença deste elemento em pescado, assim como já mencionado na primeira campanha, está, em grande parte, sob a forma de metilmercúrio (MeHg), que é uma forma extremamente problemática à saúde de diferentes organismos (LANSENS; LEERMAKERS; BAEYENS, 1991; WAGEMANN et al., 1997; RAMOS, 2005; MARŠÁLEK; SVOBODOVÁ, 2006; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2014). De fato, o MeHg foi determinado em concentrações bastante elevadas em peixes de todos os pontos amostrais, as quais variaram de 0,0297 (PT 3 – Vila do Riacho) a 0,6809 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 2 – Barra do Riacho). Além da elevada concentração determinada em peixes capturados no PT 2, as maiores concentrações de MeHg foram determinadas nos peixes capturados nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu) e 6 (sul de Degredo).

**Tabela 110. Média da concentração da forma orgânica de mercúrio, denominada metilmercúrio (MeHg; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido), em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais**

	MeHg
PT 1	0,0938
PT 2	0,6809
PT 3	0,0297
PT 4	0,0414
PT 5	0,0441
PT 6	0,1481
PT 7	0,0305
PT 8	0,0504

Dentre os demais elementos identificados em maiores concentrações em peixes, apenas Al, Fe e Zn apresentaram concentrações médias superiores a 1 mg.kg<sup>-1</sup> (média da concentração de todos os elementos que possuem limites legislados no Brasil) em todos os pontos, de acordo com os resultados obtidos pelos três laboratórios. As concentrações de Al variaram entre 1,8153 (PT 6) e 55.3789 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo com o laboratório 1; entre 3,4696 (PT 6) e 38,8633 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo

com o laboratório 2 e, entre 3,0843 (PT 6) e 17,9857 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo com o laboratório 3. Para Fe, as concentrações variaram entre 6,4285 (PT 3) e 51,7303 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo com o laboratório 1; entre 9,5708 (PT 7) e 38,8926 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo com o laboratório 2 e, entre 7,9541 (PT 7) e 33,1667 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo com o laboratório 3. Para Zn, as concentrações variaram entre 3,6247 (PT 8) e 10,1557 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 4), de acordo com o laboratório 1; 3,0131 (PT 2) e 8,2601 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 1), de acordo com o laboratório 2 e, entre 3,9213 (PT 8) e 17,2381 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 1), de acordo com o laboratório 3 (Tabela 59, Tabela 60 e Tabela 61).

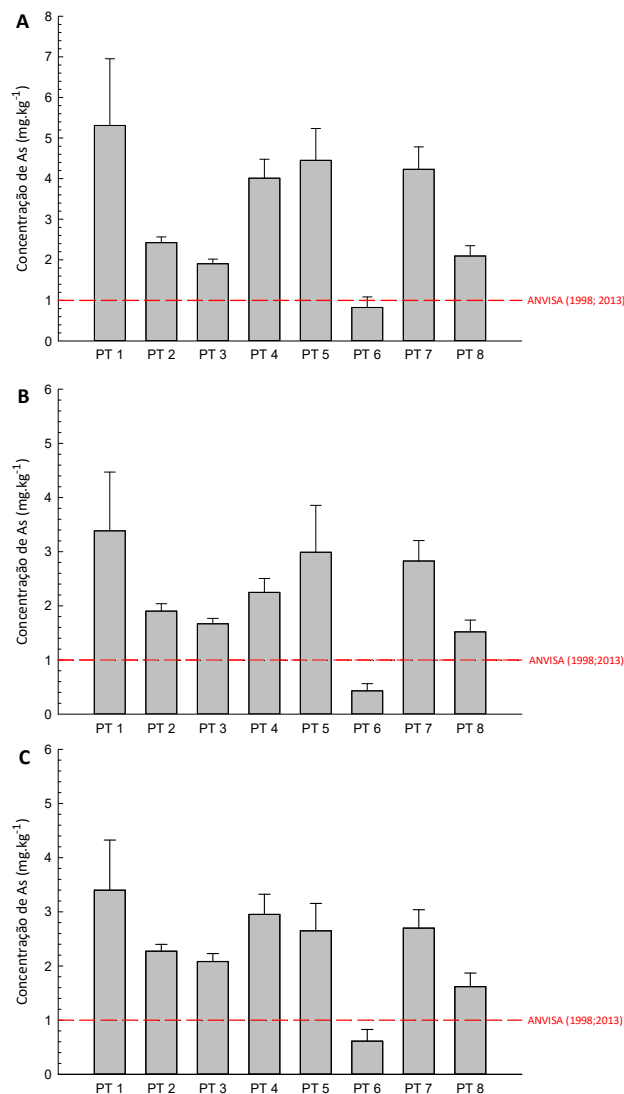
O Al é um elemento reconhecidamente tóxico e sem função fisiológica essencial. A exposição a esse elemento está relacionada com a ocorrência de doenças neurodegenerativas e de neurodesenvolvimento, como o Alzheimer e o autismo, respectivamente, bem como, com outras doenças do sistema nervoso (EXLEY, 2012; 2016; MOLD et al., 2018). Além disso, estudos tem demonstrado que este elemento pode atuar como um metaloestrogênio, ou seja, ele pode interferir em processos regulados pelo hormônio estrogênio e, nesse sentido, ter relação com o aumento na incidência de câncer de mama (DARBRE; PUGAZHENDHI; MANNELLO, 2011; HOUSE et al. 2013; PINEAU et al., 2014; EXLEY, 2016; MANDRIOTA, 2017).

Os elementos Fe e Zn são denominados essenciais por participarem da manutenção do funcionamento adequado de enzimas e proteínas. Para isso, são mantidos em baixíssimas concentrações nos diversos sistemas biológicos em que atuam. No entanto, estudos têm demonstrado que pequenas alterações nas concentrações ideais desses elementos podem desencadear efeitos tóxicos aos organismos, dentre os quais destacam-se doenças neurodegenerativas, como o Alzheimer e o Parkinson (SCHRAG et al., 2011; KOZLOWSKI et al., 2012; KIM et al., 2018). Isso posto, é notável que há um limite tênue e, não totalmente esclarecido, entre concentrações adequadas dos elementos essenciais à manutenção da homeostase e, portanto, benéficas ao indivíduo, daquelas concentrações que podem apresentar toxicidade (DINH et al., 2018; ULLAH et al., 2018). Tendo consciência dessa complexidade e, como nenhum destes elementos possui limite máximo estabelecido na legislação brasileira, sugere-se o monitoramento dos riscos e efeitos dos mesmos sobre a biota, incluindo a espécie humana, em todos os pontos avaliados, mas, especialmente, nos pontos 1 (foz do Piraquê-Açu), 4 (estuário do rio Doce), 6 (sul de Degredo), 7 (Pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri) onde esses elementos apresentaram concentrações mais elevadas.

Ademais, embora o As não tenha sido um dos elementos encontrados em maiores concentrações em peixes, esses organismos encontram-se contaminados por este elemento em todos os pontos amostrais, exceto no PT 6 (sul de Degredo) onde, segundo os resultados obtidos pelos três laboratórios, a média da concentração de As não ultrapassou o limite máximo estabelecido pela

legislação brasileira. Nos pontos onde ocorreram violações, as porcentagens variaram entre 91 (PT 3 – Vila do Riacho) a 431% (PT 1 – foz do rio Piraquê-Açu), de acordo com o laboratório 1; entre 52 (PT 8 – Guriri) a 238% (PT1), de acordo com o laboratório 2 e, entre 62 (PT 8) a 240% (PT 1) de acordo com o laboratório 3. Deste modo, se considerada apenas a contaminação por este elemento, os piores pontos para a captura de peixes seriam os pontos 1, 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga) (Figura 14 e Tabela 111). Destaca-se, outra vez, que os pontos 1 e 7 não estão inseridos na área de proibição da pesca.

**Figura 14. Média da concentração de arsênio (As; mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinada em peixes pelos laboratórios 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em cada um dos pontos amostrais durante a segunda campanha**



Dados apresentados em média ± erro padrão da média. Linha tracejada vermelha = limite máximo estabelecido pela ANVISA (1998; 2013)

**Tabela 111. Porcentagem de violação (%) das concentrações de As determinadas em peixes em relação aos limites máximos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998; 2013) em cada ponto amostral de acordo com cada um dos laboratórios**

Pontos	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 3
	% violação	% violação	% violação
PT 1	431	238	240
PT 2	142	91	127
PT 3	91	66	108
PT 4	301	124	195
PT 5	345	124	165
PT 6	-	-	-
PT 7	323	182	170
PT 8	109	52	62

Traço = ausência de violação ao limite legislado

Diante deste quadro, análises para determinação das espécies de As ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) foram realizadas e revelaram a ocorrência de As inorgânico nos pontos 1, 4, 5, 7 e 8, em concentrações que variaram entre 0,0242 (PT 1) a 0,0464 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 5). A forma  $As^{3+}$  foi determinada em peixes capturados nos pontos 4, 5, 7 e 8, em concentrações que variaram entre 0,0196 (PT 4) a 0,0277 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 5), enquanto a forma  $As^{5+}$  foi determinada em peixes capturados nos pontos 1, 4, 5, 7 e 8, em concentrações que variaram entre 0,0112 (PT 8) a 0,0242 mg.kg<sup>-1</sup> PU (PT 1).

**Tabela 112. Média da concentração das espécies inorgânicas de arsênio ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$  em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) e concentração total de As inorgânico ( $As^{3+}$  +  $As^{5+}$  em mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinadas em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais**

	$As^{3+}$	$As^{5+}$	As inorgânico
PT 1	ND	0,0242	0,0242
PT 2	ND	ND	ND
PT 3	ND	ND	ND
PT 4	0,0196	0,0238	0,0434
PT 5	0,0277	0,0187	0,0464
PT 6	ND	ND	ND
PT 7	0,0240	0,0138	0,0378
PT 8	0,0228	0,0112	0,0340

ND = não determinado

Não foram encontrados estudos pretéritos (entenda-se de linha-base) que tivessem avaliado as concentrações de As inorgânico em peixes capturados nas regiões amostradas. Porém, a comparação das concentrações totais dos diferentes EPTs avaliados na segunda campanha do presente estudo, com resultados obtidos antes da chegada da onda de lama nos pontos 1 (Santa Cruz/Aracruz – foz do rio Piraquê-Açu) e 5 (foz do rio Doce), permite identificar que as concentrações dos elementos no

presente estudo estão mais elevadas em relação aos estudos pretéritos, o que demonstra contribuição do desastre sobre o incremento identificado nas concentrações dos elementos.

No PT 1, quando os resultados encontrados na presente campanha são comparados com os resultados obtidos por Niencheski et al. (2014) verifica-se incremento nas concentrações dos elementos Cr, Cu, Sb e Zn, ficando apenas o Cd, dos elementos passíveis de comparação, com concentrações inferiores no presente estudo. No entanto, mesmo se as comparações forem realizadas com o estudo de Souza et al. (2013), o qual apresenta seus resultados em peso seco, ou seja, onde espera-se que concentrações sejam superiores as encontradas no presente estudo, o qual apresenta seus resultados em peso úmido, é possível verificar que as concentrações dos elementos Al, As, Cr, Cu, Fe, Pb e Se encontram-se mais elevadas no presente estudo, mesmo após 3 anos e 11 meses do desastre. Ainda em relação a comparação entre estes estudos, é importante destacar os elementos Ag, Cd e Ni, que apresentavam concentrações abaixo do limite de quantificação (<LQ), mas que, no presente estudo, encontram-se em concentrações elevadas. Para o PT 5, todos os elementos passíveis de serem comparados (ou seja, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb), encontraram-se em maiores concentrações no presente estudo que no estudo pretérito (Tabela 113).

Do mesmo modo, se comparados os resultados obtidos no presente estudo com os resultados obtidos nos estudos desenvolvidos pela RRDM (2019), os quais correspondem a estudos pós-desastre, mas, que antecederam os resultados aqui apresentados, verifica-se que as concentrações dos elementos foram ainda mais elevadas, corroborando não somente a influência do desastre sobre o incremento das concentrações dos EPTs nas localidades avaliadas, mas também, aumento da biodisponibilidade desses elementos (Tabela 113 e Tabela 114). Essa maior biodisponibilidade ao longo do tempo é corroborada, inclusive, pela comparação entre as campanhas realizadas pela RRDM com as realizada pelo Lactec em períodos similares, por exemplo, as coletas de setembro/outubro de 2018 da RRDM, em relação a coleta de setembro/outubro de 2019 do Lactec, com concentrações mais elevadas dos elementos As, Cu, Fe, Hg, Pb e Zn no presente estudo, embora os elementos Cd e Mg tenham sido determinados em maiores concentrações no estudo da RRDM (2019). Se comparados os estudos realizados pela RRDM em janeiro/fevereiro de 2019 em relação a coleta do presente estudo realizada em março/abril de 2019 também pode ser evidenciado na concentração dos elementos As, Cr (especificamente na foz do rio Doce), Cu, Hg, Pb e Zn, mesmo a coleta do Lactec tendo sido realizada um mês após a coleta da RRDM (Tabela 114).

**Tabela 113. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup> em peso úmido) determinadas em tecido muscular de peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual (segunda campanha) com estudos pré-desastre (linha base)**

	Pré-Desastre						Pós-desastre							
	Lagoa Mãe-Bá	Vitória	Santa Cruz	Vitória	Santa Cruz	Foz do rio Doce	Santa Cruz	Barra do Riacho	Vila do Riacho	Estuário rio Doce	Foz do rio Doce	Degredo	Pontal do Ipiranga	Guriri
	I <sup>a</sup>	II	III <sup>P</sup>	IV	V <sup>c</sup>	Dados obtidos pelo Lactec nos meses de setembro/outubro de 2019								
<b>Ag</b>	ND	ND	<LQ	<LQ	ND	ND	0,0008	0,0033	0,0006	0,0003	0,0005	0,0008	0,0038	0,0043
<b>Al</b>	8,92	ND	2,7	1,4	ND	ND	9,2214	5,0489	7,0127	37,4093	16,8524	3,0735	6,9685	4,8627
<b>As</b>	0,1	ND	0,82	0,51	ND	ND	4,0304	2,2006	1,8812	3,0679	3,1148	0,6235	3,2517	1,7435
<b>Ba</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,1705	0,1152	0,1821	0,2334	0,2105	0,2105	0,2001	0,1660
<b>Cd</b>	0,037	0,028	<LQ	<LQ	0,173	0,000001	0,0522	0,0613	0,0007	0,0619	0,0009	0,0538	0,0477	0,0478
<b>Co</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0623	0,0800	0,0037	0,0597	0,0322	0,0480	0,0377	0,0459
<b>Cr</b>	0,075	0,155	0,07	0,11	0,0002	0,00003	0,2389	0,1154	0,0786	0,1311	0,0797	0,0999	0,1980	0,1341
<b>Cu</b>	1,21	0,237	0,66	0,57	0,0049	0,001	5,0686	1,4667	1,5095	1,6184	1,4124	1,6601	1,5557	1,4753
<b>Fe</b>	33,87	ND	7,8	5	ND	0,005	14,4064	11,5713	10,3086	41,2632	23,4113	16,0854	9,5368	8,3412
<b>Hg</b>	0,203	ND	0,24	0,22	ND	ND	0,1740	0,3370	0,0462	0,0641	0,0679	0,2418	0,0547	0,0926
<b>Mn</b>	1,66	ND	0,95	0,39	ND	0,0005	0,5998	0,4010	0,5943	1,7775	1,2165	0,3637	0,4971	0,3247
<b>Ni</b>	0,023	ND	<LQ	0,05	ND	ND	0,1646	0,0717	0,0539	0,0520	0,0584	0,0646	0,2443	0,1211
<b>Pb</b>	0,024	0,25	0,05	0,1	ND	0,00002	0,7049	0,0658	0,0459	0,0465	0,0589	0,0627	0,0581	0,0565
<b>Sb</b>	ND	ND	ND	ND	0,0004	ND	0,0348	0,0393	0,0004	0,0616	0,0009	0,0616	0,0604	0,0635
<b>Se</b>	ND	ND	0,29	0,69	ND	ND	0,4936	0,4614	0,3915	0,4576	0,3845	0,4559	0,6779	0,6119
<b>Sn</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,1182	0,1172	0,1177	0,2400	0,1177	0,1688	0,2201	0,1087
<b>Zn</b>	34,12	4,7	14,2	12	0,0167	ND	9,8621	4,3719	4,7098	8,7744	7,4967	5,6757	5,0419	3,7850

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, nas comparações entre os estudos realizados numa mesma localidade. Números romanos correspondem as referências citadas, a saber: I – Pereira et al. (2010); II – Joyeux; Campanha Filho; Jesus (2004); III – Souza et al. (2013); IV – Niencheski et al. (2014); V – FAURG (2016). a e b – Correspondem a referências cujos resultados são apresentados em peso seco. c – corresponde à referência cujos valores foram aproximados devido terem sido obtidos de gráficos e não de dados brutos. Os valores apresentados pelo Lactec correspondem a média dos resultados obtidos pelos três laboratórios em cada um dos pontos.

**Tabela 114. Média das concentrações de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido) determinadas em tecido muscular peixes capturados dentro e fora da área de proibição da pesca: Comparação entre o estudo atual e estudos pretéritos realizados entre 2 anos e 4 anos após o desastre**

Elementos (mg.kg <sup>-1</sup> PU)	RRDM (2019)								LACTEC (2019)				LACTEC (2019)			
	setembro/outubro de 2018 (2 anos e 11 meses)*				janeiro/fevereiro de 2019 (3 anos e 3 meses)*				março/abril de 2019 (3 anos e 4 meses)				setembro/outubro de 2019 (3 anos e 11 meses)			
	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova	Santa Cruz/Aracruz	Foz do rio Doce	Degredo	Barra Nova
Alumínio (Al)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,519	1,096	8,895	21,496	9,221	16,852	3,074	6,968
Antimônio (Sb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,280	0,0002	0,0002	0,0002	0,035	0,001	0,062	0,060
Arsênio (As)	0,878	0,749	0,61	0,02	0,051	0,056	0,069	0,013	3,275	0,702	2,091	3,917	4,030	3,115	0,623	3,252
Bário (Ba)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,082	0,173	0,056	0,132	0,171	0,211	0,210	0,200
Cádmio (Cd)	0,1643	0,197	0,906	0,9118	0,77	0,148	0,045	0,05	0,500	0,0003	0,0002	0,001	0,052	0,001	0,054	0,048
Chumbo (Pb)	0,029	0,051	0,019	0,023	0,011	0,028	0,015	0,007	0,126	0,033	0,050	0,041	0,705	0,059	0,063	0,058
Cobalto (Co)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,502	0,005	0,007	0,037	0,062	0,032	0,048	0,038
Cobre (Cu)	0,606	0,889	0,19	0,648	0,138	0,105	0,085	0,12	0,919	1,348	1,265	0,943	5,069	1,412	1,660	1,556
Cromo (Cr)	2,453	2,204	0,395	0,273	0,126	0,092	0,367	0,12	0,055	0,093	0,117	0,072	0,239	0,080	0,100	0,198
Estanho (Sn)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,269	0,001	0,001	1,088	0,118	0,118	0,169	0,220
Ferro (Fe)	4,196	5,119	7,19	5,653	21,35	16,622	3,255	2,41	4,293	3,799	7,670	4,942	14,406	23,411	16,085	9,537
Manganês (Mn)	0,835	2,211	7,94	1,74	0,963	1,131	0,985	0,96	0,281	0,287	0,431	0,292	0,600	1,217	0,364	0,497
Mercúrio (Hg)	0,008	0,006	0,004	0,001	0,004	0,001	0,013	0,01	0,115	0,089	0,046	0,168	0,174	0,068	0,242	0,055
Níquel (Ni)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,148	0,128	0,148	0,233	0,165	0,058	0,065	0,244
Prata (Ag)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,501	0,0003	0,034	0,002	0,001	0,0005	0,001	0,004
Selênio (Se)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,509	0,509	0,555	0,666	0,494	0,384	0,456	0,678
Zinco (Zn)	2,916	4,776	16,32	10,938	2,96	2,602	2,945	3,24	3,072	2,738	3,040	3,158	9,862	7,497	5,676	5,042

Células coloridas correspondem às diferenças existentes entre os estudos. Células vermelhas, amarelas e verdes correspondem aos elementos cujas concentrações foram superiores, intermediárias e inferiores, respectivamente, nas comparações entre os estudos realizados numa mesma localidade. O asterisco ao lado da descrição das datas amostrais da referência RRDM (2019) indica que esses dados representam médias obtidas para as diferentes espécies e pontos de captura de uma mesma localidade. ND = não determinado. Os resultados apresentados pelo Lactec correspondem a médias dos resultados dos três laboratórios para as diferentes espécies de peixes capturadas em cada um dos pontos.

Diante do exposto, e, para o conhecimento sobre quais dos EPTs apresentaram concentrações que violam os limites máximos de referência para ingestão diária, estabelecidos pelas regulamentações nacional (ANVISA, 2018b) e internacional (OMS/FAO, 2016; US EPA, 2019), as médias das concentrações dos mesmos foram convertidas em porcentagens de representatividade em relação a esses limites. Se considerado o consumo de uma porção de 309 g de peixe, o elemento As viola os limites nacional e internacional, de acordo com os resultados obtidos pelos três laboratórios, exceto o PT 6 que, de acordo com o laboratório 2, tem concentrações com representatividade de 74% do limite diário nacional estabelecido para este elemento. As porcentagens de representatividade de As variaram entre 142 (PT 6 – sul de Degredo) a 9.116% (PT 1 – foz do rio Piraquê-Açu), de acordo com os resultados do laboratório 1; entre 260 (PT 8 – Guriri) a 5.807% (PT 1), de acordo com o laboratório 2 e, entre 105 (PT 6) a 5.834% (PT 1), de acordo com o laboratório 3 (Tabela 115, Tabela 116 e Tabela 117).

Da mesma maneira, o Hg viola os limites máximos diários estabelecidos nacional e internacionalmente nos pontos 1 e 6, de acordo com o laboratório 1; nos pontos 1, 2 e 6, de acordo com o laboratório 2 e nos pontos 1, 6 e 8 (Guriri), de acordo com o laboratório 3. Entretanto, viola o limite internacional nos pontos 4 (estuário do rio Doce) e 8, de acordo com o laboratório 1; nos pontos 5 e 8, de acordo com o laboratório 2 e em todos os pontos, de acordo com o laboratório 3. Além disso, as concentrações determinadas nos pontos 4, 5 (foz do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga), de acordo com o laboratório 1; nos pontos 4, 5 e 8, de acordo com o laboratório 2 e, nos pontos 2, 3, 4, 5 e 7, de acordo com o laboratório 3, representariam mais que 50% dos limites máximos diários estabelecidos nacionalmente. Ainda, as concentrações determinadas nos pontos 2, 3, 5 e 7, de acordo com o laboratório 1 e, nos pontos 3, 4 e 7, representariam mais que 50% dos limites máximos estabelecidos internacionalmente (Tabela 115, Tabela 116 e Tabela 117).

Além desses elementos, o consumo de 309 g de peixes faria com que as concentrações de Al representassem mais que 50% do limite nacional no PT 4, de acordo com os laboratórios 1 e 2. As concentrações determinadas para Se representariam mais que 50% dos limites máximos estabelecidos nacional e/ou internacionalmente em todos os pontos, de acordo com o laboratório 1 e, nos pontos 7 e 8, de acordo com o laboratório 2. Ainda, conforme resultados do laboratório 2, os elementos Cu e Pb violariam o limite máximo diário estabelecido nacionalmente no PT 1 e, o elemento Cr ultrapassaria 50% do limite máximo diário estabelecido internacionalmente no PT 1. Já, conforme os resultados do laboratório 3, as concentrações determinadas para os elementos Cd (nos pontos 1, 2, 4, 6, 7 e 8) e Sb (no PT 1) representariam mais que 50% dos limites máximos diários estabelecidos nacionalmente (Tabela 115, Tabela 116 e Tabela 117).

**Tabela 115. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr		Cu		Fe		Hg		Mn		Pb	Sb	Se		Sn	Zn	
CODEX		17,14	0,18			0,05		3		48		0,034				0,21				120		18		
IN								0,25	8,97		34,31				1,66					0,32		29,59		
EPA	0,3		0,018		12	0,006								0,018		8,4			0,024	0,3		18		
PT 1	0,08	16,32	911,63	9116,33	0,19	0,82	6,83	4,44	1,98	0,66	6,99	9,78	118,32	223,49	2,18	11,03	0,90	0,50	81,45	76,36	0,00	7,02	4,27	7,02
PT 2	0,34	12,26	416,08	4160,85	0,17	1,06	8,85	5,33	2,14	0,72	5,50	7,70	30,61	57,82	1,61	8,15	1,39	0,92	64,81	60,76	0,00	9,77	5,94	9,77
PT 3	0,07	7,74	327,04	3270,40	0,33	0,41	3,44	2,54	1,39	0,46	4,14	5,79	27,64	52,21	1,65	8,34	0,82	0,52	53,91	50,54	0,00	6,79	4,13	6,79
PT 4	0,03	99,84	688,87	6888,67	0,68	0,50	4,19	11,90	2,50	0,84	33,30	46,59	54,35	102,66	9,48	47,98	4,93	1,38	67,90	63,65	0,00	17,43	10,61	17,43
PT 5	0,05	30,73	764,07	7640,73	0,39	0,55	4,58	4,93	2,43	0,81	12,86	17,99	50,52	95,43	3,97	20,06	3,14	1,19	58,45	54,80	0,00	12,39	7,53	12,39
PT 6	0,09	3,27	142,01	1420,13	0,18	0,34	2,86	6,27	3,65	1,22	10,59	14,82	216,90	409,71	1,50	7,57	1,63	1,06	70,18	65,79	0,00	10,41	6,33	10,41
PT 7	0,39	11,75	726,41	7264,07	0,26	0,38	3,15	14,23	1,91	0,64	7,14	9,98	43,65	82,46	2,10	10,60	1,09	0,50	98,23	92,09	0,00	7,88	4,79	7,88
PT 8	0,44	10,23	359,63	3596,30	0,14	0,45	3,72	5,54	1,59	0,53	4,70	6,57	62,14	117,38	1,22	6,17	0,62	0,61	93,25	87,42	0,00	6,22	3,79	6,22

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 116. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr		Cu		Fe		Hg		Mn		Pb	Sb	Se		Sn	Zn		
CODEX		17,14	0,18			0,05		3		48		0,034				0,21				120		18			
IN								0,25	8,97		34,31				1,66					0,32		29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006								0,018		8,4			0,024	0,3		18			
PT 1	ND	21,52	580,66	5806,60	0,45	ND	ND	65,00	106,11	35,49	6,83	9,55	140,18	264,79	1,77	8,94	297,91	ND	ND	36,39	34,12	ND	14,18	8,63	14,18
PT 2	ND	7,30	327,26	3272,59	0,28	ND	ND	17,99	1,64	0,55	10,83	15,15	833,61	1574,59	1,28	6,47	ND	ND	ND	34,52	32,36	ND	5,17	3,15	5,17
PT 3	ND	19,13	284,56	2845,64	0,45	ND	ND	14,78	1,77	0,59	7,89	11,03	32,89	62,12	2,02	10,23	ND	ND	ND	33,97	31,85	ND	6,95	4,23	6,95
PT 4	ND	70,06	384,40	3844,00	0,51	ND	ND	13,42	4,85	1,62	25,04	35,03	51,21	96,72	5,01	25,36	4,34	ND	ND	34,50	32,35	ND	10,23	6,22	10,23
PT 5	ND	41,06	385,09	3850,92	0,54	ND	ND	12,73	2,06	0,69	20,72	28,99	53,41	100,89	4,76	24,06	11,89	ND	ND	29,63	27,78	ND	10,09	6,14	10,09
PT 6	ND	6,25	73,96	739,64	0,89	ND	ND	14,59	5,35	1,79	9,89	13,83	181,75	343,30	1,05	5,32	14,17	ND	ND	31,91	29,92	ND	7,27	4,42	7,27
PT 7	ND	15,52	484,90	4848,96	0,80	ND	ND	37,69	3,06	1,02	6,16	8,62	42,06	79,45	1,93	9,78	11,20	ND	ND	70,70	66,28	ND	9,84	5,99	9,84
PT 8	ND	10,51	260,43	2604,31	0,74	ND	ND	24,47	2,48	0,83	7,14	9,99	78,21	147,72	1,32	6,67	12,74	ND	ND	64,07	60,07	ND	6,54	3,98	6,54

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado.

**Tabela 117. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 309 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As		Ba	Cd		Cr	Cu		Fe		Hg		Mn	Pb	Sb	Se		Sn	Zn			
CODEX		17,14	0,18			0,05			3	48		0,034			0,21			0,32		120	18			
IN								0,25	8,97		34,31				1,66						29,59			
EPA	0,3		0,018		12	0,006							0,018		8,4		0,024	0,3			18			
PT 1	ND	12,03	583,37	5833,74	0,68	63,65	530,45	19,13	48,53	16,23	14,00	19,59	215,88	407,78	2,67	13,53	12,34	89,22	34,68	32,51	0,06	29,59	18,00	29,59
PT 2	ND	7,74	389,97	3899,69	0,43	74,67	622,25	19,47	41,54	13,89	6,02	8,42	54,68	103,29	1,54	7,78	17,98	100,39	43,23	40,53	0,06	7,58	4,61	7,58
PT 3	ND	11,06	357,24	3572,38	0,62	ND	ND	11,82	43,49	14,54	7,88	11,03	65,48	123,69	2,89	14,62	12,69	ND	33,09	31,02	0,06	10,52	6,40	10,52
PT 4	ND	32,42	506,69	5066,86	0,62	76,01	633,45	23,28	42,66	14,27	21,35	29,87	69,34	130,98	5,12	25,91	11,25	157,27	39,01	36,57	0,12	17,53	10,66	17,53
PT 5	ND	19,36	454,94	4549,37	0,69	ND	ND	11,89	39,15	13,09	11,63	16,27	81,10	153,20	4,70	23,81	10,95	ND	30,72	28,80	0,06	16,13	9,81	16,13
PT 6	ND	7,10	105,12	1051,18	0,55	66,21	551,74	16,17	42,29	14,14	10,59	14,81	260,48	492,03	1,46	7,41	11,86	157,46	38,80	36,37	0,09	11,54	7,02	11,54
PT 7	ND	10,42	463,32	4633,15	0,48	58,54	487,81	21,48	43,10	14,42	5,12	7,16	63,29	119,55	1,46	7,38	13,36	155,08	40,53	38,00	0,11	8,25	5,02	8,25
PT 8	ND	5,56	277,87	2778,65	0,41	58,65	488,74	19,72	41,52	13,89	4,27	5,97	112,04	211,63	1,04	5,29	11,59	162,84	31,76	29,77	0,06	6,73	4,09	6,73

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado.

Ainda que o consumo correspondesse a menor porção (60 g) diária de peixe, os limites de As violariam os limites máximos estabelecidos pela regulamentação internacional em todos os pontos amostrais, conforme resultados de todos os laboratórios e, ainda, os limites máximos estabelecidos pela regulamentação nacional nos pontos 1, 4, 5 e 7, de acordo com o laboratório 1 e, no PT 1, de acordo com os laboratórios 2 e 3. Adicionalmente, para os pontos 2, 3 e 8, de acordo com o laboratório 1; em todos os pontos, exceto nos pontos 1 e 6, de acordo com os laboratórios 2 e 3, as concentrações determinadas para As superariam 50% dos limites máximos diários estabelecidos nacionalmente. Do mesmo modo, as concentrações de Hg violariam os limites máximos estabelecidos nacional e internacionalmente no PT 2, de acordo com os resultados do laboratório 2 ou, ainda, superariam 50% dos limites máximos diários estabelecidos nacional e/ou internacionalmente no PT 1, de acordo com os laboratórios 1 e, nos pontos 1 e 6, de acordo com os laboratórios 2 e 3. Ainda, de acordo com os resultados apresentados pelo laboratório 2, o elemento Pb superaria 50% do limite máximo diário estabelecido nacionalmente no PT 1 e, de acordo com o laboratório 3, o limite máximo diário estabelecido para Cd internacionalmente seria violado nos pontos 1, 2, 4 e 6 ou, ainda, ultrapassaria 50% do limite máximo estabelecido nos pontos 7 e 8 (Tabela 118, Tabela 119 e Tabela 120).

**Tabela 118. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 1**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
CODEX	17,14	0,18		0,05		3	48	0,034		0,21			120	18										
IN					0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59										
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18									
PT 1	0,02	3,17	177,02	1770,16	0,04	0,16	1,33	0,86	0,38	0,13	1,36	1,90	22,97	43,40	0,42	2,14	0,17	0,10	15,81	14,83	0,00	1,36	0,83	1,36
PT 2	0,07	2,38	80,79	807,93	0,03	0,21	1,72	1,04	0,42	0,14	1,07	1,49	5,94	11,23	0,31	1,58	0,27	0,18	12,58	11,80	0,00	1,90	1,15	1,90
PT 3	0,01	1,50	63,50	635,03	0,06	0,08	0,67	0,49	0,27	0,09	0,80	1,12	5,37	10,14	0,32	1,62	0,16	0,10	10,47	9,81	0,00	1,32	0,80	1,32
PT 4	0,01	19,39	133,76	1337,61	0,13	0,10	0,81	2,31	0,49	0,16	6,47	9,05	10,55	19,93	1,84	9,32	0,96	0,27	13,18	12,36	0,00	3,39	2,06	3,39
PT 5	0,01	5,97	148,36	1483,64	0,08	0,11	0,89	0,96	0,47	0,16	2,50	3,49	9,81	18,53	0,77	3,90	0,61	0,23	11,35	10,64	0,00	2,41	1,46	2,41
PT 6	0,02	0,64	27,58	275,75	0,04	0,07	0,56	1,22	0,71	0,24	2,06	2,88	42,12	79,55	0,29	1,47	0,32	0,20	13,63	12,77	0,00	2,02	1,23	2,02
PT 7	0,08	2,28	141,05	1410,50	0,05	0,07	0,61	2,76	0,37	0,12	1,39	1,94	8,48	16,01	0,41	2,06	0,21	0,10	19,07	17,88	0,00	1,53	0,93	1,53
PT 8	0,09	1,99	69,83	698,31	0,03	0,09	0,72	1,08	0,31	0,10	0,91	1,28	12,07	22,79	0,24	1,20	0,12	0,12	18,11	16,98	0,00	1,21	0,73	1,21

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes).

**Tabela 119. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 2**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
CODEX	17,14	0,18		0,05		3	48	0,034		0,21			120	18										
IN					0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59										
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18									
PT 1	ND	4,18	112,75	1127,49	0,09	ND	ND	12,62	20,60	6,89	1,33	1,85	27,22	51,42	0,34	1,74	57,85	ND	7,07	6,62	ND	2,75	1,67	2,75
PT 2	ND	1,42	63,55	635,45	0,06	ND	ND	3,49	0,32	0,11	2,10	2,94	161,87	305,75	0,25	1,26	ND	ND	6,70	6,28	ND	1,00	0,61	1,00
PT 3	ND	3,71	55,26	552,55	0,09	ND	ND	2,87	0,34	0,11	1,53	2,14	6,39	12,06	0,39	1,99	ND	ND	6,60	6,18	ND	1,35	0,82	1,35
PT 4	ND	13,60	74,64	746,41	0,10	ND	ND	2,61	0,94	0,32	4,86	6,80	9,94	18,78	0,97	4,93	0,84	ND	6,70	6,28	ND	1,99	1,21	1,99
PT 5	ND	7,97	74,78	747,75	0,10	ND	ND	2,47	0,40	0,13	4,02	5,63	10,37	19,59	0,92	4,67	2,31	ND	5,75	5,39	ND	1,96	1,19	1,96
PT 6	ND	1,21	14,36	143,62	0,17	ND	ND	2,83	1,04	0,35	1,92	2,69	35,29	66,66	0,20	1,03	2,75	ND	6,20	5,81	ND	1,41	0,86	1,41
PT 7	ND	3,01	94,15	941,55	0,16	ND	ND	7,32	0,59	0,20	1,20	1,67	8,17	15,43	0,38	1,90	2,18	ND	13,73	12,87	ND	1,91	1,16	1,91
PT 8	ND	2,04	50,57	505,69	0,14	ND	ND	4,75	0,48	0,16	1,39	1,94	15,19	28,68	0,26	1,30	2,47	ND	12,44	11,66	ND	1,27	0,77	1,27

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado.

**Tabela 120. Porcentagem de ingestão diária de EPTs presentes em peixes, capturados em cada um dos pontos amostrais dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações nacionais e internacionais, considerando-se uma porção de 60 g - Resultados de acordo com o Laboratório 3**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Sb	Se	Sn	Zn									
<b>CODEX</b>		17,14	0,18		0,05		3	48	0,034		0,21			120	18									
IN						0,25	8,97	34,31		1,66			0,32		29,59									
EPA	0,3		0,018	12	0,006				0,018	8,4		0,024	0,3		18									
PT 1	ND	2,34	113,28	1132,77	0,13	12,36	103,00	3,72	9,42	3,15	2,72	3,80	41,92	79,18	0,52	2,63	2,40	17,33	6,73	6,31	0,01	5,75	3,50	5,75
PT 2	ND	1,50	75,72	757,22	0,08	14,50	120,83	3,78	8,07	2,70	1,17	1,64	10,62	20,06	0,30	1,51	3,49	19,49	8,39	7,87	0,01	1,47	0,89	1,47
PT 3	ND	2,15	69,37	693,67	0,12	ND	ND	2,29	8,44	2,82	1,53	2,14	12,71	24,02	0,56	2,84	2,46	ND	6,42	6,02	0,01	2,04	1,24	2,04
PT 4	ND	6,30	98,39	983,86	0,12	14,76	123,00	4,52	8,28	2,77	4,15	5,80	13,46	25,43	0,99	5,03	2,18	30,54	7,57	7,10	0,02	3,40	2,07	3,40
PT 5	ND	3,76	88,34	883,37	0,13	ND	ND	2,31	7,60	2,54	2,26	3,16	15,75	29,75	0,91	4,62	2,13	ND	5,97	5,59	0,01	3,13	1,91	3,13
PT 6	ND	1,38	20,41	204,11	0,11	12,86	107,13	3,14	8,21	2,75	2,06	2,88	50,58	95,54	0,28	1,44	2,30	30,58	7,53	7,06	0,02	2,24	1,36	2,24
PT 7	ND	2,02	89,96	899,64	0,09	11,37	94,72	4,17	8,37	2,80	0,99	1,39	12,29	23,21	0,28	1,43	2,59	30,11	7,87	7,38	0,02	1,60	0,97	1,60
PT 8	ND	1,08	53,95	539,54	0,08	11,39	94,90	3,83	8,06	2,70	0,83	1,16	21,76	41,09	0,20	1,03	2,25	31,62	6,17	5,78	0,01	1,31	0,80	1,31

A coloração das células indica a representatividade da concentração de EPT em relação aos limites diários estabelecidos pelas regulamentações nacionais e internacionais. Valores superiores a 100% (células vermelhas); valores acima de 50 e abaixo de 100% (células amarelas) e, valores inferiores a 50% (células verdes). ND = não determinado.

Apesar das concentrações totais de As estarem elevadas em peixes e ultrapassarem os limites máximos legislados, bem como terem uma elevada representatividade dentro dos limites máximos permitidos por dia, quando calculada a porcentagem de representatividade para as espécies de As inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ), dentro dos limites máximos permitidos por dia pela regulamentação internacional (JECFA FAO/WHO, 2011), o consumo, tanto de uma porção de 60 g (porcentagens entre 1,56 – 2,99%), quanto de 309 g (porcentagens entre 8,03% - 15,41%) não violaria os limites máximos permitidos por dia (Tabela 121). Para MeHg, as porcentagens de representatividade superariam os limites máximos estabelecidos internacionalmente (FAO/WHO, 2016), para uma porção de 309 g, nos pontos 1 (foz do rio Piraquê-Açu), 2 (Barra do Riacho), 6 (sul de Degredo) e 8 (Guriri). Ainda, nos pontos 3 (Vila do Riacho), 4 (estuário do rio Doce), 5 (foz do rio Doce) e 7 (Pontal do Ipiranga) as concentrações determinadas representariam mais de 50% do limite máximo diário estabelecido. Com o consumo de 60 g de peixe, o limite máximo diário estabelecido por essa regulamentação para o MeHg seria violado no PT 2 e representaria mais que 50% no PT 6 (Tabela 121).

No entanto, se a representatividade do As inorgânico e do MeHg fossem calculadas com base nos limites máximos estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2016a; b, respectivamente), a qual é mais restritiva e, portanto, mais protetiva, o consumo de uma porção de 309 g violaria de peixe representaria mais de 50% do limite máximo diário estabelecido para As inorgânico nos pontos 4, 5, 7 e 8, bem como, violaria o limite máximo diário estabelecido para MeHg em todos os pontos amostrais (Tabela 121). Mesmo que o consumo fosse restringido a apenas 60 g de peixe por dia, o limite máximo diário para MeHg seria violado nos pontos 2 e 6 ou, ainda, superaria 50% do limite máximo estabelecido por esta regulamentação nos pontos 1 e 8 (Tabela 121).

Isso posto e, especialmente pelas formas de As inorgânico e MeHg corresponderem as formas mais tóxicas dos elementos As e Hg, que já são reconhecidos pela elevada periculosidade ambiental e à saúde humana, da mesma forma que na primeira amostragem, sugere-se o monitoramento das concentrações desses elementos e de suas espécies em peixes capturados em todas as localidades amostradas.

**Tabela 121. Porcentagem de ingestão diária de As inorgânico (As<sup>3+</sup> + As<sup>5+</sup>) e metilmercúrio (MeHg) presentes em peixes capturados em cada um dos pontos amostrais, dentro e fora da área de proibição da pesca, em relação aos limites determinados em regulamentações internacionais, considerando porções de 60 e 309 g**

	As inorgânico				MeHg			
	JECFA FAO/WHO (2011)		US EPA (2016a)		FAO/WHO (2016)		US EPA (2016b)	
	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g	60 g	309 g
PT1	1,56	8,03	8,06	41,51	40,22	207,11	93,84	483,25
PT2	ND	ND	ND	ND	291,80	1502,77	680,87	3506,47
PT3	ND	ND	ND	ND	12,72	65,51	29,68	152,86
PT4	2,80	14,42	14,47	74,50	17,76	91,46	41,44	213,41
PT5	2,99	15,41	15,46	79,59	18,92	97,43	44,14	227,33
PT6	ND	ND	ND	ND	63,48	326,90	148,11	762,76
PT7	2,44	12,55	12,59	64,84	13,08	67,37	30,52	157,19
PT8	2,19	11,30	11,34	58,39	21,60	111,25	50,40	259,58

ND = não determinado.

Assim como já descrito, nesta campanha as amostras de peixes foram compostas por espécimes de 17 espécies que, exceto pela espécie *Mugil liza* (tainha), apresentam hábito alimentar carnívoro (Tabela 58). No entanto, como essas espécies ocupam habitats distintos, possuem preferências alimentares distintas e, especialmente, devido ao fato que a disponibilidade de alimento é dependente, tanto do habitat quanto da sazonalidade, verificou-se, novamente, que embora todas as espécies estejam contaminadas por EPTs ocorreu uma elevada variabilidade entre as espécies no que diz respeito ao acúmulo de EPTs (Tabela 122, Tabela 123 e Tabela 124). Corroborando o perfil identificado na primeira campanha, as espécies de topo de cadeia trófica e/ou que possuem hábitos demersais e bentônicos (de fundo) foram as que mais acumularam EPTs. Nesta campanha, como exemplo, citam-se as espécies *Diapterus rhombeus*, *Genidens genidens*, *Nebris microps*, *Ophioscion punctatissimus*, *Paralichthys patagonicus*, *Paralonchurus brasiliensis* e *Zapteryx brevirostris*. Com base nesses resultados, reforça-se, novamente, a necessidade de um levantamento quanto aos hábitos e preferências alimentares da população local para melhor direcionamento quanto a futuros estudos de análise de risco, uma vez que os peixes das diferentes espécies apresentaram elevadas concentrações de EPTs, especialmente de elementos como, por exemplo, As (especialmente concentração total) e Hg (tanto concentração total quanto MeHg), Cu, Cd, Se e Sb, os quais, inclusive, violam os limites máximos diários estabelecidos para consumo nas localidades.

**Tabela 122. Média da concentração de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido), determinados pelo laboratório 1, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT 1																	
<i>C. nobilis</i>	ND	5,2307	9,2882	0,0522	0,0024	0,0125	0,0436	0,1862	5,8997	0,9140	0,8661	ND	0,0025	ND	0,8237	ND	5,8774
<i>L. breviceps</i>	0,0018	4,7263	3,9910	0,0448	0,0010	0,0055	0,0280	0,1959	4,8707	0,0224	0,1393	0,0057	0,0024	ND	0,6471	0,0166	2,9002
<i>N. microps</i>	ND	ND	2,8739	ND	0,0022	0,0143	0,2431	0,2151	ND	0,0063	0,5329	0,0155	ND	ND	0,5709	0,0174	2,2438
<i>O. punctatissimus</i>	0,0006	9,4643	2,7565	0,0866	0,0008	0,0060	0,0161	0,1848	9,5597	0,0665	0,6233	0,0078	0,0051	0,0004	0,8478	0,0011	4,7429
<i>P. patagonicus</i>	ND	21,4407	3,3197	0,0350	0,0010	0,0061	0,0442	0,1295	55,8994	0,1252	1,5486	0,0123	0,0128	0,0003	0,7331	0,0020	4,1087
<i>P. squamosissimus</i>	0,0003	6,2166	12,3610	0,0091	0,0004	0,0087	0,0028	0,1347	8,7352	0,2528	0,2664	ND	0,0105	0,0004	1,4604	0,0004	4,2123
<i>Z. brevirostris</i>	0,0005	6,4041	38,0577	0,0700	0,0038	0,0031	0,0229	0,2244	10,8880	0,7875	0,7506	0,0107	0,0160	0,0006	1,1016	0,0012	5,7321
PT 2																	
<i>L. breviceps</i>	0,0005	3,1238	3,1616	0,0847	0,0002	0,0132	0,0172	0,1291	4,9122	0,0225	0,3040	0,0039	0,0150	0,0010	0,5224	0,0010	3,7814
<i>O. punctatissimus</i>	0,0008	2,3680	1,9197	0,0776	0,0006	0,0129	0,0352	0,1664	4,6439	0,0587	0,3667	0,0103	0,0052	0,0007	0,6757	0,0014	3,9916
<i>P. brasiliensis</i>	0,0004	5,4282	2,2161	0,0230	0,0005	0,0050	0,0653	0,1324	9,6517	0,0199	0,3201	0,0125	0,0041	0,0004	0,6653	0,0011	3,0915
<i>Z. brevirostris</i>	0,0637	119,2112	1,9038	0,2256	0,0457	0,0968	0,2076	2,4737	86,7691	0,0186	4,1827	0,1771	0,0528	0,0024	0,9550	0,0311	77,5503
PT 3																	
<i>L. breviceps</i>	0,0004	3,4522	2,2026	0,1369	0,0003	0,0018	0,0141	0,1162	6,0741	0,0504	0,3101	0,0054	0,0026	0,0002	0,4262	0,0010	3,5225
<i>N. microps</i>	0,0012	7,9793	1,7882	0,2625	0,0029	0,0038	0,0178	0,1928	8,3641	0,0421	0,6295	0,0113	0,0061	0,0003	0,3596	0,0026	5,3035
<i>O. punctatissimus</i>	0,0004	3,9395	1,5404	0,1440	0,0007	0,0042	0,0174	0,1249	5,5895	0,0237	0,5271	0,0056	0,0030	0,0001	0,5278	0,0007	4,3091
<i>P. brasiliensis</i>	0,0010	5,0280	2,3290	0,0555	0,0006	0,0047	0,0349	0,1609	8,0214	0,0184	0,3999	0,0125	0,0133	0,0012	0,6649	0,0011	3,4031
PT 4																	
<i>G. genidens</i>	0,0003	88,6680	6,3401	0,3583	0,0008	0,0433	0,1399	0,3003	77,7219	0,0669	4,0448	0,0509	0,0508	0,0024	0,5612	0,0053	14,9938
<i>O. punctatissimus</i>	ND	26,7487	1,8327	0,1971	0,0008	0,0113	0,0597	0,1837	29,7835	0,0524	1,3162	0,0214	0,0182	0,0006	0,7345	0,0030	5,9571
<i>P. brasiliensis</i>	ND	22,7662	2,9830	0,0527	0,0007	0,0129	0,0465	0,2501	23,4174	0,0617	1,1403	0,0206	0,0198	0,0006	0,8178	0,0014	5,6791
PT 5																	
<i>G. genidens</i>	ND	16,7848	7,8011	0,0578	0,0005	0,0136	0,0374	0,2848	21,1719	0,0972	0,7715	0,0145	0,0141	0,0010	0,4394	0,0019	7,6835
<i>O. punctatissimus</i>	0,0002	19,0791	1,4111	0,2252	0,0007	0,0121	0,0465	0,1768	20,8277	0,0239	1,1475	0,0232	0,0310	0,0006	0,5847	0,0004	6,3809
<i>P. brasiliensis</i>	0,0006	9,8193	4,8845	0,0997	0,0032	0,0109	0,0219	0,3044	12,3647	0,0369	1,8718	0,0247	0,0079	ND	0,9467	ND	8,9161
PT 6																	
<i>C. parallelus</i>	ND	1,3847	0,2082	0,0103	0,0007	0,0013	0,0464	0,1378	6,0720	0,2104	0,1104	0,0049	0,0033	ND	0,6765	ND	4,7497
<i>C. undecimalis</i>	ND	1,8240	0,4707	0,0458	0,0003	0,0023	0,0177	0,4553	9,5620	0,1823	0,1863	0,0046	0,0140	0,0003	0,7709	0,0006	5,8562
<i>D. rhombeus</i>	0,0005	1,5230	0,2361	0,1062	0,0003	0,0051	0,0766	0,2179	17,9757	0,0829	0,5528	0,0079	0,0072	0,0015	0,8255	0,0020	6,2636
<i>G. genidens</i>	ND	2,1761	4,4755	0,0489	0,0003	0,0105	0,0420	0,1538	14,0485	0,5266	0,5237	0,0069	0,0252	0,0006	0,3567	0,0007	6,4012
<i>M. liza</i>	0,0004	2,1852	1,1450	0,0440	0,0002	0,0044	0,0136	0,3206	10,3787	0,0323	0,2600	0,0017	0,0207	0,0011	0,3712	0,0012	6,0014
<i>O. saliens</i>	ND	1,3550	0,7085	0,0147	0,0013	0,0052	0,0444	0,6622	20,7627	0,5512	0,3411	0,0046	0,0085	0,0005	0,6370	0,0015	6,3303
<i>P. crocro</i>	0,0026	3,8421	0,1925	0,0485	0,0003	0,0087	0,0302	0,3153	14,9251	0,0682	0,3080	0,0016	0,0157	0,0002	0,6355	0,0022	4,5441
<i>T. falcatus</i>	0,0003	3,1507	2,8311	0,0080	0,0002	0,0024	0,0133	0,2708	13,6296	0,0824	0,2587	0,0023	0,0171	0,0005	0,5924	0,0056	6,2512
PT 7																	
<i>C. steiachneri</i>	0,0026	2,9965	3,1021	0,0298	0,0006	0,0031	0,1166	0,2042	8,1090	0,0331	0,2883	0,0093	0,0024	0,0004	1,0801	0,0021	4,0425
<i>N. microps</i>	0,0063	3,7498	5,9122	0,0345	0,0005	0,0021	0,1144	0,1666	11,4518	0,0491	0,2878	0,0091	0,0073	0,0003	0,6892	0,0016	3,6498
<i>O. punctatissimus</i>	0,0005	13,3696	1,8407	0,3024	0,0008	0,0079	0,1676	0,2142	14,5068	0,0518	1,3680	0,0174	0,0109	0,0004	1,0439	0,0017	7,3383
<i>P. brasiliensis</i>	0,0035	6,0545	3,3646	0,0498	0,0006	0,0059	0,0606	0,1912	7,3412	0,0452	0,3999	0,0110	0,0049	0,0006	1,4033	0,0021	3,8425
PT 8																	
<i>C. steiachneri</i>	0,0020	2,5550	3,7218	0,0222	0,0003	0,0019	0,0434	0,1286	3,5349	0,0440	0,1532	0,0073	0,0020	0,0005	0,8265	0,0012	3,3272
<i>N. microps</i>	0,0037	6,6364	1,1370	0,0772	0,0013	0,0030	0,0487	0,2007	8,4427	0,0363	0,3767	0,0158	0,0061	0,0005	0,9057	0,0017	4,1340
<i>O. punctatissimus</i>	0,0086	3,1072	1,7649	0,0623	0,0006	0,0058	0,0205	0,1220	5,5450	0,1368	0,3699	0,0111	0,0029	0,0004	0,9427	0,0020	3,6428
<i>P. patagonicus</i>	0,0079	23,5668	1,0692	0,0760	0,0008	0,0093	0,1353	0,1878	25,4189	0,0775	0,7093	0,0203	0,0110	0,0007	0,9078	0,0026	4,1727
<i>P. brasiliensis</i>	0,0040	4,2361	2,1862	0,0367	0,0005	0,0056	0,0351	0,1567	5,0337	0,0393	0,2820	0,0248	0,0031	0,0004	0,9717	0,0013	2,8805

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado

**Tabela 123. Média da concentração de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido), determinados pelo laboratório 2, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
<b>PT 1</b>																	
<i>C. nobilis</i>	ND	7,7315	4,1255	0,0547	ND	ND	ND	0,2486	10,1802	0,5973	0,1740	ND	0,0510	ND	0,3232	ND	3,9776
<i>L. breviceps</i>	ND	6,6958	2,1176	0,1822	ND	ND	0,5259	0,3315	9,5820	0,0356	0,3423	ND	ND	ND	0,3156	ND	3,2537
<i>N. microps</i>	ND	16,0471	2,1904	0,3598	ND	ND	ND	0,4227	9,8327	ND	0,6546	0,3523	ND	ND	0,2954	ND	5,3362
<i>O. punctatissimus</i>	ND	10,9562	1,7010	0,1111	ND	ND	ND	18,7629	10,7898	0,0855	0,4229	0,1150	2,5181	ND	0,3738	ND	11,5219
<i>P. patagonicus</i>	ND	26,6350	1,8642	0,1149	ND	ND	ND	0,1506	21,5227	0,1658	0,8850	ND	ND	ND	0,3201	ND	2,5421
<i>P. squamosissimus</i>	ND	4,7850	7,6186	0,1210	ND	ND	ND	0,2860	6,3910	0,1954	0,1320	ND	ND	ND	0,5500	ND	2,4200
<i>Z. brevirostris</i>	ND	9,4444	25,7286	0,0877	ND	ND	ND	0,2209	10,6141	0,6189	0,5988	ND	ND	ND	0,3987	ND	4,2298
<b>PT 2</b>																	
<i>L. breviceps</i>	ND	2,4642	2,2530	0,1148	ND	ND	0,0480	0,1314	25,5162	ND	0,2878	0,1226	ND	ND	0,2732	ND	2,8964
<i>O. punctatissimus</i>	ND	4,4939	1,3271	0,1105	ND	ND	0,1519	0,1774	11,1298	0,0495	0,4358	0,2451	ND	ND	0,3270	ND	2,8008
<i>P. brasiliensis</i>	ND	4,9127	1,8370	0,1012	ND	ND	0,3262	0,1443	13,0613	ND	0,3206	0,0505	ND	ND	0,4013	ND	2,5375
<i>Z. brevirostris</i>	ND	10,0450	5,4613	0,1389	ND	0,1149	0,0640	0,3598	21,9790	2,6527	0,2999	ND	ND	ND	0,4498	ND	12,1939
<b>PT 3</b>																	
<i>L. breviceps</i>	ND	3,8414	2,0953	0,1333	ND	ND	0,1132	0,1671	11,0592	ND	0,3938	0,0444	ND	ND	0,2849	ND	3,5971
<i>N. microps</i>	ND	4,5912	1,8724	0,1779	ND	ND	ND	0,2886	22,2112	ND	0,5684	ND	ND	ND	0,2881	ND	4,6554
<i>O. punctatissimus</i>	ND	15,2940	1,3750	0,2139	ND	ND	0,1212	0,1552	10,8952	0,0362	0,5871	0,0828	ND	ND	0,3205	ND	4,4893
<i>P. brasiliensis</i>	ND	10,3693	1,6770	0,0944	ND	ND	ND	0,1792	13,8077	ND	0,6441	ND	ND	ND	0,4094	ND	3,5138
<b>PT 4</b>																	
<i>G. genidens</i>	ND	58,0210	3,5158	0,2603	ND	0,0331	0,1106	0,6388	56,4197	0,0607	2,1768	0,0475	0,0317	ND	0,2826	ND	9,1104
<i>O. punctatissimus</i>	ND	22,1882	1,0147	0,1465	ND	0,0136	0,1087	0,2452	23,9262	0,0521	0,6629	0,0440	0,0242	ND	0,3794	ND	3,2289
<i>P. brasiliensis</i>	ND	21,4862	1,8745	0,0776	ND	ND	0,0789	0,1521	20,9675	0,0508	0,5614	ND	ND	ND	0,3904	ND	2,9977
<b>PT 5</b>																	
<i>G. genidens</i>	ND	23,8803	3,7699	0,1073	ND	0,0329	0,0819	0,2115	29,3322	0,0588	0,9055	ND	0,0774	ND	0,2225	ND	6,9538
<i>O. punctatissimus</i>	ND	23,5462	0,9274	0,3060	ND	0,0367	0,1138	0,1803	37,4454	ND	1,4916	0,0523	0,0910	ND	0,3132	ND	5,0529
<i>P. brasiliensis</i>	ND	15,8083	2,1632	0,1836	ND	ND	0,1012	0,2473	21,1912	ND	1,8532	ND	ND	ND	0,4136	ND	5,4178
<b>PT 6</b>																	
<i>C. parallelus</i>	ND	1,2296	0,1081	ND	ND	ND	0,0646	ND	10,3955	0,1355	0,1242	0,1242	ND	ND	0,2981	ND	2,4840
<i>C. uecimalis</i>	ND	2,1511	0,1843	ND	ND	ND	0,1482	0,1185	17,2534	0,1466	0,1320	ND	ND	ND	0,3465	ND	3,5709
<i>D. rhombeus</i>	ND	5,7423	0,1101	0,1683	ND	ND	0,0768	0,2130	8,1369	0,0964	0,2045	0,1055	ND	ND	0,3437	ND	4,2665
<i>G. genidens</i>	ND	0,4878	2,3597	0,1323	ND	ND	0,1016	0,4627	14,5477	0,3691	0,1919	0,1076	0,1259	ND	0,1870	ND	7,9532
<i>M. brasiliensis</i>	ND	10,9051	0,6830	0,0595	ND	ND	0,1314	1,0454	32,3995	ND	0,3118	0,1134	ND	ND	0,2032	ND	3,2675
<i>O. saliens</i>	ND	1,8063	0,3761	0,2054	ND	ND	0,1955	0,6961	23,0603	0,3300	0,2421	0,0534	0,0668	ND	0,3059	ND	3,9937
<i>P. crocro</i>	ND	1,3629	0,0940	1,7555	ND	ND	0,1008	0,1759	11,8833	0,0659	1,1998	0,0747	ND	ND	0,3371	ND	3,0926
<i>T. falcatus</i>	ND	4,5494	1,4695	ND	ND	ND	0,1261	0,6039	16,5603	0,0856	0,2684	0,0671	ND	ND	0,3087	ND	5,5022
<b>PT 7</b>																	
<i>C. steiachneri</i>	ND	4,2169	1,6472	ND	ND	ND	0,2086	0,2930	7,0893	ND	0,3126	ND	ND	ND	0,6037	ND	3,5875
<i>N. microps</i>	ND	4,1034	3,9561	0,1252	ND	ND	0,2013	0,2002	8,5088	0,0385	0,2810	ND	0,0678	ND	0,5516	ND	5,2168
<i>O. punctatissimus</i>	ND	16,7696	1,4932	0,4493	ND	ND	0,3293	0,2460	10,2655	0,0562	1,0318	ND	ND	ND	0,7948	ND	8,7242
<i>P. brasiliensis</i>	ND	10,7284	2,0403	0,5204	ND	ND	0,6422	0,5613	11,6900	0,0456	0,5675	0,6440	0,1176	ND	0,8824	ND	4,1735
<b>PT 8</b>																	
<i>C. steiachneri</i>	ND	3,7396	2,9161	0,3987	ND	ND	0,1282	0,2021	5,3972	0,0453	0,2059	ND	0,1873	ND	0,5404	ND	3,3624
<i>N. microps</i>	ND	6,2519	0,6161	0,1669	ND	ND	0,1281	0,2296	10,9115	0,0399	0,3064	0,2500	0,0920	ND	0,5569	ND	3,8641
<i>O. punctatissimus</i>	ND	5,2135	1,2140	0,4843	ND	0,0558	0,4005	0,1916	8,7847	0,1327	0,4646	ND	0,0769	ND	0,6939	ND	4,0464
<i>P. patagonicus</i>	ND	13,4325	0,6851	0,1043	ND	ND	0,1793	0,2480	22,2426	0,0656	0,4683	ND	0,0593	ND	0,5978	ND	4,5812
<i>P. brasiliensis</i>	ND	5,5546	1,7437	0,3302	ND	ND	ND	0,4110	19,3957	0,0328	0,4496	0,2166	0,0924	ND	0,7644	ND	3,6280

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado

**Tabela 124. Média da concentração de EPTs (mg.kg<sup>-1</sup> de peso úmido), determinados pelo laboratório 3, nas diferentes espécies de peixes capturadas durante a segunda campanha**

	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
PT 1																	
<i>C. nobilis</i>	ND	6,7500	3,2500	0,1890	ND	ND	0,0889	5,4400	11,2000	0,7710	0,4020	ND	0,0707	ND	0,2040	0,1500	4,9200
<i>L. breviceps</i>	ND	7,3867	2,1733	0,2847	ND	0,1330	0,1702	5,3000	14,2067	ND	0,5650	0,0838	0,0690	0,0656	0,5520	0,3323	138,4167
<i>N. microps</i>	ND	6,2989	2,6389	0,4919	0,1030	0,1000	0,3151	4,7100	32,1800	ND	1,3077	0,5625	0,0703	0,0730	0,2727	0,2191	9,1956
<i>O. punctatissimus</i>	ND	6,7570	1,7089	0,1805	ND	ND	0,0952	4,8070	21,0985	0,0688	0,5471	0,0824	0,0983	ND	0,3381	0,2453	5,1255
<i>P. patagonicus</i>	ND	6,5300	3,5700	0,2050	ND	ND	0,1290	3,5900	9,9300	0,0980	1,0900	ND	0,0529	ND	0,1300	0,1250	3,1400
<i>P. squamosissimus</i>	ND	2,3700	9,0700	0,1140	ND	ND	ND	3,3300	4,1500	0,1540	0,1690	ND	0,0552	ND	0,5900	0,1050	5,8200
<i>Z. brevirostris</i>	ND	8,6450	22,7000	0,1590	ND	ND	0,0920	3,7700	12,7000	0,9260	0,4145	ND	0,0673	ND	0,1400	0,1007	11,7050
PT 2																	
<i>L. breviceps</i>	ND	3,7367	2,8242	0,1866	0,1400	0,1220	0,0970	3,7717	8,4242	ND	0,3496	0,1090	0,2296	0,0738	0,3607	0,2232	4,9358
<i>O. punctatissimus</i>	ND	3,9642	1,6358	0,1703	0,1117	0,1063	0,1844	3,4775	8,1058	0,0602	0,4285	0,1059	0,0644	0,0796	0,4237	0,2143	3,9225
<i>P. brasiliensis</i>	ND	5,1600	2,3918	0,1388	0,1200	0,1140	0,1787	4,8745	11,6027	ND	0,4741	0,1160	0,0985	0,0790	0,4733	0,2636	4,3264
<i>Z. brevirostris</i>	ND	5,4500	1,9500	0,2400	ND	ND	0,0936	4,5900	10,7000	ND	0,4950	ND	0,0704	ND	0,3150	0,1970	4,9700
PT 3																	
<i>L. breviceps</i>	ND	4,2756	2,4056	0,2174	ND	ND	0,0837	4,1100	12,8222	ND	0,3969	ND	0,0814	ND	0,2128	0,2346	4,6444
<i>N. microps</i>	ND	5,6200	2,1050	0,3395	ND	ND	0,0669	5,1950	17,7500	ND	1,7150	ND	0,1297	ND	0,2430	0,3265	10,2350
<i>O. punctatissimus</i>	ND	6,3156	1,5166	0,2302	ND	ND	0,1087	4,0081	9,4400	0,0721	0,7394	ND	0,0823	ND	0,3181	0,2114	6,3331
<i>P. brasiliensis</i>	ND	7,9825	2,8388	0,2700	ND	ND	0,0821	4,5338	15,8413	ND	1,0820	0,0735	0,0836	ND	0,4490	0,2574	6,3525
PT 4																	
<i>G. genidens</i>	ND	21,8536	4,8014	0,2392	0,1120	ND	0,1716	4,1214	35,8714	0,0833	1,6776	0,0575	0,0836	ND	0,3096	0,7619	13,7729
<i>O. punctatissimus</i>	ND	13,8943	1,3126	0,2381	0,1285	0,1240	0,2019	4,1579	30,5286	0,0700	0,9961	0,1073	0,0705	0,1222	0,3929	0,2241	7,0171
<i>P. brasiliensis</i>	ND	19,5500	1,4750	0,2805	ND	ND	0,2115	4,1700	32,7000	0,0596	2,1650	ND	0,0693	ND	0,4320	0,2375	7,6100
PT 5																	
<i>G. genidens</i>	ND	12,8100	4,7843	0,2840	ND	0,0491	0,1107	3,9671	21,0100	0,0892	1,3400	0,1030	0,0751	ND	0,2494	0,3219	11,5929
<i>O. punctatissimus</i>	ND	9,6413	0,7978	0,2698	ND	ND	0,0752	3,5863	16,6763	ND	1,2838	ND	0,0739	ND	0,3173	0,1736	8,1888
<i>P. brasiliensis</i>	ND	7,8800	2,5900	0,2220	ND	ND	0,1296	4,0750	13,3350	ND	1,0460	ND	0,0731	ND	0,3540	0,1655	6,5350
PT 6																	
<i>C. parallelus</i>	ND	2,1400	ND	0,1110	ND	ND	0,1220	3,4600	36,0000	0,1800	0,2460	ND	ND	ND	0,1590	0,1770	4,7900
<i>C. uecimalis</i>	ND	2,7850	0,1263	0,1650	ND	ND	0,0933	4,2500	57,5000	0,2230	0,3085	0,0542	0,0604	ND	0,2133	0,1815	5,6000
<i>D. rhombeus</i>	ND	4,0700	0,1897	0,3075	0,1205	0,0977	0,1396	4,1445	10,2218	0,1200	0,5658	0,1353	0,1010	0,1175	0,4585	0,5277	6,5291
<i>G. genidens</i>	ND	2,9650	2,3365	0,1770	ND	ND	0,1038	4,5300	13,1500	0,5795	0,2880	ND	0,0544	ND	ND	0,1790	12,7000
<i>M. brasiliensis</i>	ND	2,6300	0,5315	0,1065	ND	ND	0,1440	2,9000	8,4550	ND	0,1855	ND	ND	ND	0,1178	0,1788	5,8450
<i>O. saliens</i>	ND	3,9614	0,3303	0,1311	0,0804	0,0770	0,1667	4,3000	17,0243	0,4073	0,2809	0,0683	0,0626	0,1320	0,3497	0,2535	6,5129
<i>P. crocro</i>	ND	5,7550	ND	0,2765	ND	ND	0,0853	3,7800	12,8000	0,0543	0,4790	ND	0,0703	ND	0,3340	0,1900	4,9250
<i>T. falcatus</i>	ND	7,2900	1,5400	0,1510	ND	ND	0,0533	4,9000	9,1000	0,0918	0,1900	ND	0,0524	ND	0,3110	0,1960	7,9600
PT 7																	
<i>C. steiachneri</i>	ND	3,8125	1,4525	0,1222	ND	ND	0,2179	4,2650	6,8400	ND	0,2115	ND	0,0759	ND	0,4480	0,4630	3,6775
<i>N. microps</i>	ND	3,5069	3,7707	0,1416	0,0972	0,0705	0,1427	4,2546	7,0410	0,0725	0,2195	0,0924	0,0938	0,1129	0,2635	0,3191	3,8690
<i>O. punctatissimus</i>	ND	12,2000	1,2666	0,3052	0,1070	0,0793	0,1715	4,1900	9,4558	0,0689	0,7729	0,0662	0,0897	0,1370	0,4532	0,8182	7,4426
<i>P. brasiliensis</i>	ND	4,3750	2,1656	0,1478	0,0751	0,0636	0,2174	4,0106	8,5950	ND	0,4235	0,0645	0,0884	0,1340	0,5328	0,2907	4,2922
PT 8																	
<i>C. steiachneri</i>	ND	2,8916	3,3024	0,1435	0,0678	0,0516	0,1513	3,8263	4,1989	ND	0,1858	0,1484	0,0838	0,1635	0,2996	0,2183	3,4768
<i>N. microps</i>	ND	3,1970	0,5088	0,1496	ND	ND	0,1311	4,1835	7,7670	0,0511	0,2585	0,0533	0,0838	ND	0,2558	0,2325	4,0015
<i>O. punctatissimus</i>	ND	2,4420	1,2361	0,1720	0,1080	0,0844	0,1343	3,9000	4,4035	0,1329	0,3064	0,0912	0,0693	0,1600	0,3390	0,2116	3,9265
<i>P. patagonicus</i>	ND	4,4367	0,5512	0,1683	ND	ND	0,3494	4,6500	19,1283	0,0777	0,4567	0,0613	0,0834	ND	0,2523	0,2313	6,6717
<i>P. brasiliensis</i>	ND	3,6427	2,0061	0,1635	0,1155	0,1005	0,1426	4,0073	5,9773	ND	0,3648	0,1069	0,0765	0,0727	0,3590	0,1806	3,0336

A coloração das células indica o gradiente de concentração encontrado entre as espécies em cada um dos pontos, deste modo, as células vermelhas correspondem às maiores concentrações, as células amarelas às concentrações intermediárias e as células verdes às menores concentrações para cada elemento avaliado entre as espécies de um mesmo ponto amostral. ND = não determinado

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação de ecossistemas terrestres e aquáticos por elementos potencialmente tóxicos (EPTs) constitui risco eminente de intoxicação à biota e ao homem, pois, todo EPT (e/ou seus compostos) possui toxicidade, a qual o grau de afetação dos organismos está relacionado com a quantidade e tempo de exposição aos elementos. Organismos aquáticos concentram EPTs em concentrações superiores às encontradas nos demais compartimentos do ambiente (água e sedimento), deste modo, apresentam relevante importância sobre a dinâmica de ciclagem desses elementos nos ecossistemas, atuando na exportação entre os ambientes aquáticos e terrestre, via cadeia alimentar, e ampliando o risco humano à contaminação.

Conforme verificado no presente estudo, é possível afirmar que todos os pescados (moluscos, crustáceos e peixes) capturados nos diferentes pontos ao longo da costa do Espírito Santo, estão contaminados por EPTs. Dentre os elementos, o mais representativo foi o As que apresenta para todos os grupos taxonômicos e, especialmente, para crustáceos, concentrações superiores aos limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira que regulamenta as concentrações de elementos químicos inorgânicos em alimento (ANVISA, 1998; 2013). No entanto, é importante mencionar que outros elementos como Cd, Cu, Cr, Hg, Mn e Se (para moluscos); Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb e Se (para crustáceos) e Ag, Al, Cd, Hg, Sb e Se (para peixes), também estão em concentrações cuja representatividade esta acima de 50% e, por vezes, de 100%, do limite máximo para consumo diário estabelecido pelas regulamentações nacional e/ou internacionais. Ressalta-se, ainda, que as concentrações dos diferentes elementos avaliados no presente estudo foram superiores as determinadas em estudos pretéritos nas regiões avaliadas. Assim, afirma-se que, de modo geral, todos os pontos amostrais apresentam contaminação por EPTs, com representatividades quanto aos contaminantes variáveis entre os grupos taxonômicos. Porém, para a maior parte dos organismos avaliados e, de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, os pontos com maior incidência de contaminantes foram os pontos 1 (Sata Cruz/Aracruz – foz do Piraquê-Açu); 4 (estuário do rio Doce); 5 (foz do rio Doce); 7 (pontal do Ipiranga) e 8 (Guriri), dentre os quais, os pontos 1, 7 e 8 encontram-se fora da área de proibição da pesca estabelecida pela Justiça Federal do Espírito Santo [processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0) datada de 17/02/2016].

Assim, como toda a região costeira adjacente a Foz do rio Doce representa uma das principais áreas de recursos pesqueiros no estado, de onde são obtidos recursos por meio de diversas modalidades de pesca, o consumo de pescado de toda a região acometida pelo desastre se caracteriza como uma forte fonte de contaminação e risco para a saúde da população local, quiçá nacional, visto que a ingestão de alimentos contendo EPTs é a principal forma de contaminação humana para

populações expostas de forma não ocupacional. Convém definir que risco refere-se a “probabilidade de perigo/ameaça para o homem e/ou para o meio ambiente que pode acarretar alguma consequência”<sup>3</sup>. Não obstante, é válido advertir que o Ministério da Saúde, no documento intitulado “Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos” estabeleceu que: “ (...) quando uma substância é considerada carcinogênica, ou potencialmente carcinogênica, não existe dose de exposição segura, devendo considerar toda população potencialmente exposta ao risco de câncer”.

Isso posto, é salutar mencionar que os riscos aqui mencionados são baseados não somente nas concentrações totais dos elementos (e suas espécies), mas também, no cálculo de porcentagem de representatividade das concentrações determinadas nos diferentes pescados, em relação aos limites máximos diários estabelecidos por regulamentações nacional e/ou internacionais. Porém, esses cálculos foram realizados com base em informações conservadoras quanto à massa de pescado (60 ou 309 g), consumido diariamente pela população local, a qual, talvez não seja condizente com os hábitos alimentares das diferentes comunidades. Assim, faz-se necessário um estudo específico quanto ao perfil alimentar da população das localidades amostradas para uma avaliação mais condizente com a realidade e, conseqüentemente, que possa oferecer informações mais fidedignas quanto aos riscos do consumo do pescado. Ademais, a análise realizada neste documento refere-se apenas a avaliação dos possíveis riscos decorrentes do acúmulo desses elementos nos pescados, ou seja, não foram consideradas outras fontes (como água, verduras, leite, etc.) nem outras vias (por exemplo, inalatória e cutânea) de exposição, assim como não foram considerados os efeitos que podem ser causados pela sinergia existente entre os diferentes elementos cujas concentrações foram aqui determinadas.

Ademais, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) e Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), a saúde deve ser considerada e avaliada de forma única, ou seja, sem dissociar a saúde do ambiente, a saúde animal e a saúde humana. Neste sentido, reforça-se que a proibição da pesca não foi instaurada apenas com o fundamento no princípio da precaução quanto aos efeitos sobre a saúde humana, mas sim, visando a proteção de toda a biota e, conseqüentemente, de todo o ecossistema, porém, com especial atenção à saúde humana, uma vez que estamos nos referindo a uma população que depende da pesca para subsistência e renda. Deste modo, por meio deste relatório, sugere-se a manutenção da proibição da pesca, estabelecida pela Justiça Federal do Espírito Santo, conforme processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0), datado de 17/02/2016.

<sup>3</sup> Definição baseada em dicionário, disponível em [https://www.google.com/search?q=risco+defini%C3%A7%C3%A3o&rlz=1C1CHZL\\_pt-BRBR750BR750&oq=ris&aqs=chrome.0.69i59j69i57j69i59j0l5.1391j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=risco+defini%C3%A7%C3%A3o&rlz=1C1CHZL_pt-BRBR750BR750&oq=ris&aqs=chrome.0.69i59j69i57j69i59j0l5.1391j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Portaria - nº 685, de 27 de agosto de 1998. Aprova o Regulamento técnico: “Princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos” e seu anexo: “Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos, 1998. 5p.

\_\_\_\_\_. Resolução - RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos, 2013. 11p.

\_\_\_\_\_. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 166, 24/07/2017. Guia para validação de métodos analíticos - Julho, 2017.

\_\_\_\_\_. *Codex Alimentarius*. Gerência Geral de Alimentos. 2018a. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br/foruns-internacionais?inheritRedirect=true>. Acesso realizado em 20 de abril de 2018.

\_\_\_\_\_. Instrução Normativa - IN nº 28, de 26 de julho de 2018. Estabelece as listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares, 2018b. 48p.

\_\_\_\_\_. Nota técnica no 8/2019/SEI/GEARE/GGALI/DIRE2/ANVISA. Avaliação de Risco: Consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão/MG, 2019. 28p.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Minimal Risk Levels (MRLs) List. July 2020. Disponível em <https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrlist.asp#3tag>. Acesso realizado em: 04 de agosto de 2020.

ALI, H., KHAN, E. Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/ webs—Concepts and implications for wildlife and human health, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 1-25, 2018.

ALI, H., KHAN, E., ILAHI, I. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Hindawi Journal of Chemistry*, 1-15, 2019.

ANDERSON, H.A; HANRAHAN, L.P.; SMITH, A; DRAHEIM, L.; KANAREK, M.; OLSEN, J. The role of sport-fish consumption advisories in mercury risk communication: a 1998-1999 12-state survey of women age 18-45. *Environmental Research*, 95: 315-324, 2004.

ANDRADE, C. A. Estudo ecotoxicológico no trecho médio da Bacia do Rio Doce – MG. 2003. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. 219p.

APLYSIA – Soluções Ambientais. Relatório Técnico no 245/2017. Levantamento de dados de arsênio em tecidos de peixes e moluscos. 2017. 19p.

ARRIFANO, G.P.F. Metilmercúrio e mercúrio inorgânico em peixes comercializados nos mercado municipal de Itaituba (Tapajós) e mercado do Ver-o-peso (Belém). 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular, da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2011. 68p.

AZEVEDO, B.F., FURIERI, L.B., PECANHA, F.M., WIGGERS, G.A., VASSALLO, P.F., SIMOES, M.R., FIORIM, J., DE BATISTA, P.R., FIORESI, M., ROSSONI, L., STEFANON, I., JESUS ALONSO, M., SALAICES, M., VASSALLO, D.V. 2012. Toxic Effects of Mercury on the Cardiovascular and Central Nervous Systems. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, doi:10.1155/2012/949048.

BASTOS DA SILVA, J.M.; BARRIO, R.J.; MOREIRA, J.C. Arsenic and health: a relationship that needs surveillance. *Vigilância Sanitária em Debate* 2(1): 57-63, 2014.

BEVILACQUA, J. E. Estudo sobre a caracterização e a estabilidade de amostras de sedimentos do rio Tietê, SP. 1996. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Química da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. 190p.

BOISCHIO, A.A.P.; HENSHEL, D. Fish consumption, fish lore, and mercury pollution – Risk communication for the madeira river people. *Environmental Research Section*, 84: 108-136, 2000.

BOSS, H., COSTA, R.C., SANTOS, R.A., NETO, J.D., RODRIGUES, E.S., RODRIGUES, L.F., D'INCAO, F., IVO, C.T.C., COELHO, P.A. Avaliação dos camarões Peneídeos (DECAPODA: PENAEIDAE). In: Pinheiro, M., Boss, H. (Eds). Livro Vermelho dos Crustáceos do Brasil: Avaliação 2010-2014. Porto Alegre, RS, Sociedade Brasileira de Carcinologia – SBC, 2016. 466p.

BRANCO, J.O., MORITZ-JUNIOR, H.C. Alimentação natural do camarão sete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), na armação do Itapocoroy, Penha, SC. *Revista Brasileira de Zoologia*, 18(1): 53-61, 2001.

BRASIL – MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF), PROCURADORIA DA REPÚBLICA EM MINAS GERAIS. LACTEC. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na Bacia do rio Doce. Relatório de Linha-Base: Volume I – Meio Físico, Curitiba, Paraná, Brasil. Outubro, 2017. 1375p.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na Bacia do rio Doce. Relatório Pós-Desastre 2 – Meios Físico e Biótico, Curitiba, Paraná, Brasil. Maio, 2018. 408p.

BRITO, N. M.; AMARANTE JUNIOR, O. P.; POLESE, L.; RIBEIRO, M. L. Validação de métodos analíticos: Estratégia e Discussão. *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 13, 129-146, 2003.

BYRNS, M.C.; PENNING, T.M. Toxicologia Ambiental: Carcinógenos e metais pesados. In: BRUNTON, L.L.; HILAL-DANDAN, R.; KNOLLMANN, B.C. (Eds). *As Bases Farmacológicas da Terapêutica de Goodman & Gilman*. Porto Alegre: AMGH/Art Med, 2019.

CABRAL, M.T., RISSO, W. E., MARTINEZ, C.B.R. Acúmulo de zinco em diferentes órgãos do teleósteo neotropical *Prochilodus lineatus* ao longo de 168 horas de exposição. In: XV Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia, 01 a 04 Setembro 2018, Anais... Aracaju, Brasil, 2018.

CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y.; JUNIOR, R. T.; CAMPOS, I. C.; CARMO, F. F.; SILVINO, G.; CASTRO, K. J. S. X.; MAURO, M. L.; RODRIGUES, N. U. A.; MIRANDA, M. P. S.; PINTO, C. E. F. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.002>. 2017.

CARNEIRO, M.F.H.; SEGURA, F.R.; JÚNIOR, F.B.; BATISTA, B.L. Elementos químicos em toxicologia forense. In: DORTA, D.J.; YONAMINE, M.; COSTA, J.L.; MARTINIS, B.S. (Eds). *Toxicologia Forense*. São Paulo: Blucher, 2018.

CARTA, P.; FLORE, C.; ALINOVI, R.; IBBA, A.; TOCCO, M.G.; ARU, G.; CARTA, R.; GIREI, E.; MUTTI, A; LUCCHINI, R. & RANDACCIO, F.S. Sub-clinical neurobehavioral abnormalities associated with low level of mercury exposure through fish consumption. *Neurotoxicology*, 24: 617-623, 2003.

CHAPMAN, P. M.; PAINE, M. D.; ARTHUR, A. D.; TAYLOR, L. A. A triad study of sediment quality associated with a major, relatively untreated marine sewage discharge. *Marine Pollution Bulletin*, 32 (1): 47-67, 1996.

CONSELHO FEDERAL DE BIOLOGIA (CFBio). Portaria no. 148 de 8 de dezembro de 2012. Disponível em <http://www.crbio-02.gov.br/Noticias.aspx?n=71&t=PORTARIA%20CFBio%20N%C2%BA%20148/2012>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

CRATHORNE, B., DOBBS, A.J., REES, Y. Chemical pollution of aquatic environment by priority pollutants and its controls. In.: HARRISON, R.M. (Ed). Pollution causes, effects and control. 3 ed., London: The Royal Society of Chemistry, 1996.

CURRIE, L. A. Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities. IUPAC Recommendations 1995, IUPAC Pure and Applied Chemistry, 67, 1699-1723, 1995.

DARBRE, P.D., PUGAZHENDHI, D., MANNELLO, F. Aluminium and Human Breast Diseases. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 105 (11): 1484–1488, 2011.

DENOBILO, M. Estudo da ocorrência de compostos arseniais, mercuriais e de selênio em cações comercializados na cidade de São Paulo. 2007. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Toxicologia e Análises Toxicológicas da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 166p.

DI GIULIO, R.T., HINTON, D.E. Fish toxicology. CRC Press. Taylor & Francis Group, LLC; 2008.

DINH, Q.T., CUI, Z., HUANG, J., TRAN, T.A.T., WANG, D., YANG, W., ZHOU, F., WANG, M., YU, D., LIANG, D. Selenium Distribution in the Chinese Environment and Its Relationship with Human Health: A Review. *Environment International* 112: 294–309, 2018.

ECONSERVATION - Estudos e Projetos Ambientais. Relatório técnico RT ECV 065/16: Monitoramento de bioacumulação (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão, abril, 2016. 972p.

EISLER, R. Handbook of Chemical Risk Assessment: Health Hazards to Humans, Plants, and Animals. CRC Press, 2000. 4141p.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal*, 10 (12): 1-241, 2012.

EXLEY, C. The Coordination Chemistry of Aluminium in Neurodegenerative Disease. *Coordination Chemistry Reviews* 256 (19–20): 2142–2146. 2012.

EXLEY, C. The Toxicity of Aluminium in Humans. *Morphologie*, 100(329): 51–55, 2016.

FERNANDES, V. O.; CAVATI, B.; SOUZA, B. D. A.; MACHADO, R. G.; COSTA, A. G. Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES): Um Ecossistema com potencial de floração de cianobactérias? *Oecologia Brasiliensis*, 13 (2): 366-381, 2009.

FERNANDES, G. W.; GOULART, F. F.; RANIERI, B.D.; COELHO, M.S.; DALES, K.; BOESCHE, N.; BUSTAMANTE, M.; CARVALHO, F.A.; CARVALHO, D.C.; DIRZO, R.; FERNANDES, S.; GALETTI JR, P. M.; MILLAN, V.E.G.; MIELKE, C.; RAMIREZ, J.L.; NEVES, A.; ROGASS, C.; RIBEIRO, S.P.; SCARIOT, A.; SOARES-FILHO, B. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza e Conservação*, 14: 35-45, 2016.

FERREIRA, C.J.S. Impacto automotivo em populações de *Ctenomys minutus* na planície costeira do RS: avaliação do teor de metais tóxicos e medição de lipoperoxidação. 2003. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ecologia da UFRS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 57p.

FERREIRA, M.S., MÁRSICO, E.T., CONTE JUNIOR, C.A., MARQUES JÚNIOR, A.N., MANO, S.B., SÃO CLEMENTE, S.C. Contaminação por metais traço em mexilhões *Perna perna* da costa brasileira. *Ciência Rural*, 43 (6): 1012-1020, 2013.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. Metal pollution in the aquatic environment. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE (FAURG). Relatório técnico-científico, contrato 105/2016. Etapa 1: Análise de contaminantes (metais); Etapa 2: Análise sobre as possibilidades de contaminação do Parque Nacional Marinho de Abrolhos e regiões relacionadas; Etapa 3: Assinatura geoquímica de elementos de comparação com a pluma de sedimentos do rio Doce; Etapa 4: Análise de biomarcadores (lipoperoxidação). 2016. 63p.

GALVÃO, P.M.A., REBELO, M.F., GUIMARÃES, J.R.D., TORRES, J.P.M., MALM, O. Bioacumulação de metais em moluscos bivalves: Aspectos evolutivos e ecológicos a serem considerados para a biomonitoração de ambientes marinhos. *Brazilian Journal of Aquat Scienci and Technology*, 13(2): 59-66, 2009.

GOCHFELD, M. Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56: 174-179, 2003.

GONZÁLEZ, A.G., HERRADOR, A. A practical guide to analytical method validation, including measurement uncertainty and accuracy profiles. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 26(3): 227-238, 2007.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em Ciências do Solo*, 4: 345-390, 2005.

GUERRA, M. B. B.; TEANEY, B. T.; MOUNT, B. J.; ASUNSKIS, D. J.; JORDAN, B. T.; BARKER, R. J.; SANTOS, E. E.; SCHAEFER, C. E. G. R. Post-catastrophe analysis of the Fundão Tailings Dam Failure in the Doce River System, Southeast Brazil: Potentially Toxic Elements in Affected Soils. *Water, Air and Soil Pollution*, 228 – 252, 2017.

GUPTA, A., RAI, D., PANDEY, R., SHARMA, B. Analysis of some heavy metals in the riverine water, sediments and fish from river Ganges at Allahabad. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157: 449–458, 2009.

HA, E., BASU, N., BOSE-O'REILLY, B., DÓREA, J.G., MCSORLEY, E., SAKAMOTO, E., MAN, H. Current Progress on Understanding the Impact of Mercury on Human Health. *Environmental Research* 152: 419–33, 2017.

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; SOUZA, G. C.; MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Nature: Scientific Reports*, 7 (10706): 1-13, 2017.

HENRIQUES, M.C., LOUREIRO, S., FARDILHA, M., HERDEIRO, M.T. Exposure to Mercury and Human Reproductive Health: A Systematic Review. *Reproductive Toxicology* 85: 93–103, 2019.

HORA, A. M.; DIAS, C. A.; GUEDES, G. R.; COSTA, A. S. V.; JUNIOR, M. J. F. Da exploração econômica da bacia hidrográfica do Rio Doce ao atual processo de degradação de seus recursos naturais. In.: TERRITÓRIO, MOBILIDADE POPULACIONAL E AMBIENTE, p. 213-234, 2012. Disponível em [http://gilvanguedes.com/wp-content/uploads/2016/09/hora\\_etal\\_2012\\_livro\\_tmpa\\_cap9.pdf](http://gilvanguedes.com/wp-content/uploads/2016/09/hora_etal_2012_livro_tmpa_cap9.pdf). Acesso em 20 de setembro de 2017.

HOUSE, E., POLWART, A., DARBRE, P., BARR, L., METAXAS, G., EXLEY, C. The Aluminium Content of Breast Tissue Taken from Women with Breast Cancer. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 27(4): 257-266, 2013.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Arsenic and arsenic compounds, 2018. Disponível em <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-6.pdf>. Acesso realizado em: 09 de junho de 2020.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS). Environmental Health Criteria, 224. Arsenic and Arsenic Compounds. Geneva: WHO, 2001. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm>>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Estatística da pesca 2007 Brasil: Grandes Regiões e Unidades da Federação. 2009. 175 p.

\_\_\_\_\_. Laudo Técnico Preliminar dos impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015. Disponível em: [http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias\\_ambientais/laudo\\_tecnico\\_preliminar.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf). Acesso em: 11 de janeiro de 2016.

\_\_\_\_\_. Parecer técnico sobre os resultados obtidos das coletas de amostras de água, na região da foz do rio Doce, no período de 22/11/15 a 01/01/16. 2016. 22p.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER) – Dados médios da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Linhares/ES. Disponível em <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-linhares>. Acesso realizado em: 21 de outubro de 2019

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Relatório de avaliação do impacto da lama/pluma Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos (ES e BA) com ênfase nas Unidades de Conservação - 1a Expedição do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do CEPsul/ICMBio (28 de abril de 2016). Equipe de Pesquisa Universidade Federal do Rio Grande – FURG/Coral Vivo. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 28 de abril. 2016. 62p.

\_\_\_\_\_. Nota técnica no 23/2017/TAMAR-Vitória-ES/DIBIO/ICMBio. Monitoramento da pluma de sedimentos proveniente da Barragem de Fundão. Ministério do Meio Ambiente. Vitória, ES, 25 de setembro. 2017. 44p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS DE ENSAIOS QUÍMICOS. DOQ-CGCRE-008. Revisão 02, 2007. 24p.

INTEGRATE TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM - ITIS. Disponível em [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=95602#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=95602#null). Acesso realizado em; 14 de outubro de 2019.

JESUS, H.C., SANTANA, E.J., BELO, M.J., SILVA, L.B., CEOTTO, C.S., CASTRO NEVES, D.M., CASTRO, L.B. Avaliação da poluição ambiental dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim (Santa Cruz – ES) através da análise de águas, biomonitorios e sedimentos. Relatório Técnico- Projeto Aracruz Celulose, Processo UFES n° 034373/2007-80, 2009.

JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES (JECFA). Safety evaluation of certain contaminants in food, 2011. Disponível em [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44520/9789241660631\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44520/9789241660631_eng.pdf). Acesso realizado em: 01 de junho de 2020.

JOIRIS, C.R.; HIRENDA, K.DAS; HOLSBEEK, L. Mercury accumulation and speciation in marine fish from bangladesh. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 454-457, 2000.

JOYEUX, J. C.; CAMPANHA FILHO, E. A.; JESUS, H. C. Trace metal contamination in estuarine fishes from Vitória Bay, ES, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47 (5): 765-774, 2004.

JUNCA, F. A.; PAVAN, D.; JESUS, T.B.; ETEROVICK, P. Girinos como bioindicadores da qualidade da água do rio Doce. Relatório Final Greenpeace, junho, 2017. 33p.

KHAN, F., MOMTAZ, S., ABDOLLAHI, M. The Relationship between Mercury Exposure and Epigenetic Alterations Regarding Human Health, Risk Assessment and Diagnostic Strategies. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 52: 37–47, 2019.

KIM, M.J., OH, S.B., KIM, J., KIM, K., RYU, H.S., KIM, M.S., AYTON, S., BUSH, A.I., LEE, J.Y., CHUNG, S.J. Association of Metals with the Risk and Clinical Characteristics of Parkinson's Disease. *Parkinsonism and Related Disorders* 55: 117–21, 2018.

KOLBINGER, V., ENGSTRÖM, K., BERGER, U., O'REILLY, S.B. Polymorphisms in Potential Mercury Transporter ABCC2 and Neurotoxic Symptoms in Populations Exposed to Mercury Vapor from Goldmining. *Environmental Research* 176: 108512, 2019.

KOZLOWSKI, H., LUCZKOWSKI, M., REMELLI, M., VALENSIN, D. Copper, Zinc and Iron in Neurodegenerative Diseases (Alzheimer's, Parkinson's and Prion Diseases). *Coordination Chemistry Reviews*, 256(19–20): 2129–2141, 2012.

LABORATÓRIO DE ESTUDOS DO MOVIMENTO MIGRATÓRIO (LEMM); LABORATÓRIO DE ESTUDOS DE IDENTIDADES E TECNOCIÊNCIA (LEIDETEC); GRUPO INDEPENDENTE PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL (GIAIA). Ribeirinhos do Baixo rio Doce - Relatório preliminar. Janeiro/ Julho. Mimeo. 2016.

LANSENS, P., LEERMAKERS, M., BAEYENS, W. Determination of Methylmercury in Fish by Headspace- Gas Chromatography with Microwave-Induced-Plasma Detection. *Water, Air and Soil Pollution*, 56: 103–15, 1991.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. Estatística: Teoria de Aplicações usando Microsoft Excel em Português. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

LINDBERG, A.; ASK BJORNBERG, K.; VAHTER, M. & BERGLUND, M. Exposure to methylmercury in non-eating people in Sweden. *Environmental Research*, 96: 28- 33, 2004.

MAIA, F. F. Elementos traços em sedimentos e qualidade da água de rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG. 2017. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017. 57p.

MACEDA-VEIGA, A., MONROY, M., NAVARRO, E., VISCOR, G., SOSTOA, A. Metal concentrations and pathological responses of wild native fish exposed to sewage discharge in a Mediterranean river. *Science of the Total Environment*, 449: 9–19, 2013.

MACKAY, D., CELSIE, A.K.D., ARNOT, J.A., POWELL, D.E. Processes influencing chemical biomagnification and trophic magnification factors in aquatic ecosystems: Implications for chemical hazard and risk assessment. *Chemosphere*, 154: 99 – 108, 2016.

MALAGRINO, W. MESQUITA, C. H. SOUSA, E. C. P. M. Bioacumulação e eliminação de mercúrio por peixe-rei (*Xenomelanires brasiliensis*) - técnica dos radiotraçadores. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, 1190-1194, 2002.

MANDRIOTA, S.J. A Case-Control Study Adds a New Piece to the Aluminium/Breast Cancer Puzzle. *EBioMedicine*, 22: 22–23, 2017.

MANN, R.M., VIJVER, M.G., WILLIE, J.G.M. Metals and Metalloids in Terrestrial Systems: Bioaccumulation, Biomagnification and Subsequent Adverse Effects. *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*, 43-62, 2011.

MARŠÁLEK, P., SVOBODOVÁ, Z. Rapid Determination of Methylmercury in Fish Tissues. *Czech Journal of Food Sciences*, 24(3): 138–42, 2006.

MENDONÇA, J.T., VERANI, J.R., NORDI, N. Evaluation and management of blue crab *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) (Decapoda - Portunidae) fishery in the Estuary of Cananéia, Iguape and Ilha Comprida, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70 (1): 37-45, 2010.

MÍNGUEZ-ALARCÓN, L., AFEICHE, M.C., WILLIAMS, P.L., ARVIZU, M., TANRIKUT, C., AMARASIRIWARDENA, C.J., FORD, J.B., HAUSER, R., CHAVARRO, J.E., STUDY, E. International Journal of Hygiene and Hair Mercury (Hg) Levels, Fish Consumption and Semen Parameters among Men Attending a Fertility Center. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(2): 174–82, 2018.

MIRANDA, M.R., COELHO-SOUZA, S.A., GUIMARÃES, H.R.D., CORREIA, R.R.S., OLIVEIRA, D. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. *Oecologia brasiliensis*, 11(2): 240-25, 2007.

MOLD, M., UMAR, D., KING, A., EXLEY, C. Aluminium in Brain Tissue in Autism. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 46: 76–82, 2018.

MORAIS, A. C. T. Concentração de metais pesados em peixes teleósteos do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 108p.

MOREIRA, R. P. G. Bioacumulação de metais pesados em *Amphimedon viridis* (Duchassaing & Michelotti, 1864) com ocorrência em habitats costeiros bentônicos da região da grande Vitória, Espírito Santo. 2011. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Vila Velha, Vila Velha, 2011.

MUNIZ, D.H.F., OLIVEIRA-FILHO, E.C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências da Saúde*, 4(1/2): 83-100, 2006.

NATIONAL STANDARD OF THE PEOPLE’S REPUBLIC OF CHINA (NSPRC). Maximum Levels of Contaminants in Food. Disponível em [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Maximum%20Levels%20of%20Contaminants%20in%20Foods%20\\_Beijing\\_China%20-%20Peoples%20Republic%20of\\_12-11-2014.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Maximum%20Levels%20of%20Contaminants%20in%20Foods%20_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_12-11-2014.pdf). Acesso realizado em: 01 de junho de 2020

NAVIN, S.; DAS, A.J.; VERMA, C.; KUMAR, M.; KUMAR, R. Arsenic in the Environment effectuates Human Health: An Imperative Need to Focus. *International Research Journal of Environment Sciences*, 2(11): 101-105, 2013.

NETO, T.M. Captura, transporte e quarentena de peixes marinhos tropicais de grande porte destinado a aquários públicos. 2017. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da UFC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. 161p.

NIENCHESKI, L.F.; WINDOM, H.L. BARAJ, B.; WELLS, D.; SMITH, R. Mercury in fish from Patos and Mirim lagoons, southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 1403-1406, 2001.

NIENCHESKI, L. F., MACHADO, E. C., SILVEIRA, I. M. O., FLORES MONTES, M. J. Metais traço em peixes e filtradores em quatro estuários da costa brasileira. *Tropical Oceanography*, 42 (1): 94-106, 2014.

NIKINMAA, M. *An Introduction to Aquatic Toxicology*, 1st. Edition, Academic Press, 252p., 2014.

NRIAGU, J.O. A silent epidemic of environmental metal poisoning? *Environmental Pollution*, 50: 139-161, 1988.

NUNES, A.J.P. Alimentação para Camarões Marinhos – Parte I. *Panorama da Aquicultura* 62, 2000. Disponível em <https://panoramadaaquicultura.com.br/alimentacao-para-camaroes-marinhos-parte-i/>. Acesso realizado em: 14 de outubro de 2019.

OLIVEIRA, A., PINTO, T.K., SANTOS, D.P.D., D'INCAO, F. Dieta natural do siri-azul *Callinectes sapidus* (Decapoda, Portunidae) na região estuarina da Lagoa dos Patos, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, 96(3):305-313, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA/ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (FAO/OMS). *Codex Alimentarius Commission: Food standards programme* código committee on contaminants in foods. In: 10th session, Rotterdam, March, 2016. Disponível: [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-10%252FWD%252Fcf10\\_INF1e.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-10%252FWD%252Fcf10_INF1e.pdf). Acesso em: 10 de outubro de 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA FAO. 2019. *FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2017*. 108 pp

PACHANA, K., WATTANAKORSIRI, A., NANUAM, J. Heavy Metal Transport and Fate in the Environmental Compartments. *Naresuan Science Journal*, 7(1): 1-11, 2010.

PACHECO, M., SANTOS, M.A. Biotransformation, genotoxic, and histopathological effects of environmental contaminants in European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Ecotoxicology and Environment Safety*, 53: 331-47, 2002.

PAIVA, M. P. Recursos Pesqueiros Estuarinos e Marinhos do Brasil. 1ª ed. U UFC, Fortaleza, Brasil, 278p. 1997.

PEREIRA, A. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ANDRADE FILHO, M. C. Aspectos qualitativos de águas de lagoas costeiras e seus fatores influentes – Estudo de Caso: Lagoa Mãe-Bá, Espírito Santo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11 (1): 63-77, 2006.

PEREIRA, A. A.; VAN HATTUM, B.; DE BOER, J.; VAN BODEGOM, P. M.; REZENDE, C. E.; SALOMONS, W. Trace elements and carbon and nitrogen stable isotopes in organisms from a Tropical Coastal Lagoon. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59: 464-477, 2010.

PINEAU, A., FAUCONNEAU, B., SAPPINO, A.P., DELONCLE, R., GUILLARD, O. Exposure to Aluminium in Antiperspirants Presents Health Risks, Its Content Should Be Reduced. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28(2): 147–50, 2014.

PINTILIE, S.; BRÂNZĂ, L.; BEȚIANU, C.; PAVEL, L. V.; UNGUREANU, F.; GAVRILESCU, M. Modelling and simulation of heavy metals transport in water and sediments. *Environmental Engineering and Management Journal*, 6 (2): 153-161, 2007.

PINTO, A.M.T.P., HIRDES, I.M., SANCHES-FILHO, P.J. Determinação de metais pesados nos camarões (*Farfantepenaeus paulensis*) consumidos na cidade de Pelotas-RS. *Ecotoxicology and Environment Contamination*, 8 (1), 129-134, 2013.

POEMAS - Grupo Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade. Antes fosse mais leve a carga: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG). Relatório Final. 2015. 103p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO MATEUS – PMSM. Período de defeso do Caracuejo Uça. 2019. Disponível em <https://www.saomateus.es.gov.br/noticia/pmsm-informa-o-periodo-de-defeso-do-caracuejo-uca>. Acesso realizado em 10 de outubro de 2019.

PUPPIM, L. G. Avaliação de metais pesados e biomarcadores fecais no sedimento da foz do rio Doce, Linhares – ES. 2005. Monografia - Curso de graduação em Oceanografia da UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2014. 48p.

QUEIROZ, M. T. A. Bioacumulação de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a análise por ativação neurotrônica instrumental. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, UNILESTE, MG, Coronel Fabriciano, 2006. 105p.

RAMOS, W. E. S. Contaminação por mercúrio e arsênio em Ribeirões do Quadrilátero Ferrífero – MG, em área de mineração e atividades garimpeiras. 2005. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Agroquímica da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005. 122p.

REDE RIO DOCE MAR (RRDM). Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. Relatório Anual: Anexo 1 – Monitoramento ecotoxicológico dos impactos causados pela lama oriunda do rompimento da barragem de Mariana (MG) em regiões dulcícolas, estuarinas e marinhas, 2019. 884p.

RHODES, V.P. Distribuição de mercúrio e arsênio nos sedimentos da área afetada por garimpo ouro – Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. 113p.

RIBEIRO, C.A.O., VOLLAIRE, Y., SANCHEZ-CHARDI, A., ROCHE, H. Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the Eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquatic Toxicology*, 74: 53–69, 2005.

RIBEIRO, N.C.R. Ecologia trófica de *Plagioscion squamosissimus* (PERCIFORMES: SCIAENIDAE) em um trecho da bacia do rio Machado, Rondônia, Brasil. 2016. Monografia – Curso de Engenharia de Pesca UNIR, Universidade Federal de Rondônia, Presidente Médici, 2016. 46p.

RODRIGUES, M.A., D'INCAO, F. Biologia reprodutiva do siri-azul *Callinectes sapidus* no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Boletim do Instituto da Pesca, 40(2): 223 – 236, 2014.

SALES, S.C.M. Avaliação ecotoxicológica de impactos da contaminação por metais e arsênio em áreas de mineração e beneficiamento de ouro em Minas Gerais. 2013. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 158p.

SAMPAIO, S.R. Distribuição dos siris e biologia reprodutiva de *Callinectes danae* Smith, 1869 (DECAPODA: PORTUNIDAE) na baía de Guaratuba e área costeira adjacente, Paraná, Brasil. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas – Zoologia, Setor de Ciências Biológicas da UFPR, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. 82p.

SANTOS, R.A. Cefalópodes nas relações tróficas do sul do Brasil. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da FURG, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1999.

SARMIENTO, A. M.; DELVALLS, A.; NIETO, J. M.; SALAMANCA, M. J.; CARABALLO, M. A. Toxicity and potential risk assessment of a river polluted by acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). Science of the Total Environment, 409: 4763–4771, 2011.

SCHRAG, M., MUELLER, C., OYOYO, U., SMITH, M.A., KIRSCH, W.M. Iron, Zinc and Copper in the Alzheimer's Disease Brain: A Quantitative Meta-Analysis. Some Insight on the Influence of Citation Bias on Scientific Opinion. Progress in Neurobiology, 94(3): 296–306, 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SEAMA). Datas de defeso do caranguejo Uça no Espírito Santo. 2019. Disponível em <https://www.sindbares.com.br/ultimas-noticias/seama-divulga-datas-de-defeso-do-caranguejo-uca-no-es/>. Acesso realizado em 10 de outubro de 2019.

SILVA, L. B.; JESUS, H. C.; SANTANA, E. J.; CEOTTO, C. S.; DIAS CARNEIRO, M. T. W.; NETO, R. R.; CASSINI, S. T. A. Estudo comparativo dos teores de metais traço e coliformes em ostras e sedimentos de três estuários do estado do Espírito Santo. In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA: Química na proecção ao meio ambiente e à saúde, 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/5/5-354-4696.htm>>. Acesso em: 10 ago 2018.

SILVA, I.F.L. Contribuições para o diagnóstico ambiental da parte média e inferior da bacia do Rio Piracicaba, MG. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. 127p.

SISINNO, C.L.S., OLIVEIRA-FILHO, E.C. Principios de Toxicologia Ambiental: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

SKEAFF, J.M., DURBEUIL, A. A., BRIGHAM, S. I. The concept of persistence as applied to metals for aquatic hazard identification. Environmental Toxicology and Chemistry, 21: 2581–2590, 2002.

SKOOG, D.A.; WEST, D.M.; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. Fundamentos de química analítica. São Paulo: Cengage Learning, 999p, 2008.

SOUZA, W. R. Análise de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPAs – Em sedimentos do Ribeirão do Funil na região de Ouro Preto – MG. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007. 95p.

SOUZA, I. C.; DUARTE, I. D.; PIMENTEL, N. Q.; ROCHA, L. D.; MOROZESK, M.; BONOMO, M. M.; AZEVEDO, V. C.; PEREIRA, C. D. S.; MONFERRÁN, M. V.; MILANEZ, C. R. D.; MATSUMOTO, S. T.; WUNDERLIN, D. A.; FERNANDES, M. N. Matching metal pollution with bioavailability, bioaccumulation and biomarkers response in fish (*Centropomus parallelus*) resident in neotropical estuaries. *Environmental Pollution*, 180: 136-144, 2013.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C.A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 3 (1A): 01-13, 2015.

TARARAM, A.S., WAKABARA, Y., EQUI, M.B. Hábitos alimentares de onze espécies da megafauna bêntica da plataforma continental de Ubatuba, SP. *Publicação especial do Instituto Oceanográfico de São Paulo*, (10): 159-167, 1993.

THERESE, L., CASTELEYN, L. Science of the Total Environment Mercury Pollution in Modern Times and Its Socio-Medical Consequences. *Science of the Total Environment*, 654: 720–34, 2019.

TRIOLA, M. F. *Introdução à Estatística*. 7ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

ULLAH, H., LIU, G., YOUSAF, B., UBAID ALI, M., ABBAS, Q., MUJTABA MUNIR, M.A., MIAN, M.M. Developmental Selenium Exposure and Health Risk in Daily Foodstuffs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 149: 291–306, 2018.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UERJ). Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do Rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos-BA, para o evento de 5-6 de Janeiro 2016. Rio de Janeiro, RJ, 4 de maio. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES). Boletim estatístico da pesca do Espírito Santo - Ano 2011: Programa de estatística pesqueira do Espírito Santo/Universidade Federal do Espírito Santo; coordenadores: Mauricio Hostim Silva, Guilherme Scheidt de Souza Soares. N. 2, Vitória, ES: UFES, 2013.

\_\_\_\_\_. Monitoramento da Influência da Pluma do Rio Doce após o rompimento da Barragem de Rejeitos em Mariana/MG – Novembro de 2015: Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados, Vitória, 2017. 254p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Philadelphia PA, Washington, DC. 1996.

\_\_\_\_\_. Arsenic Compounds. 2016. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/arsenic-compounds.pdf>. Acesso realizado em 04 de Agosto de 2020.

\_\_\_\_\_. Mercury Compounds. 2016. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/mercury-compounds.pdf>. Acesso realizado em 04 de Agosto de 2020.

\_\_\_\_\_. *Integrated Risk Information System*. Philadelphia PA, Washington, DC. 2019.

VAREJÃO, E.V.V. Distribuição de mobilidade de arsênio e metais pesados em ribeirões do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2008. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Agroquímica da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 205p.

WAGEMANN, R., TREBACZ, E., HUNT, R., BOILA, G. Percent Methylmercury and Organic Mercury in Tissues of Marine Mammals and Fish Using Different Experimental and Calculation Methods. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16 (9): 1859–1866, 1997.

WOOD, C.M. An Introduction to Metals in Fish Physiology and Toxicology: Basic Principles. In: Wood, C.M; Farrell, A.P; Brauner, C.J (Eds.), *Homeostasis and Toxicology of Essential Metals*, Elsevier, 524p., 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Mercury. Geneva. *Environment health Criteria* 1. 1976. 148p.

\_\_\_\_\_. Preventing Disease Through Healthy Environments - Exposure to Arsenic: A Major Public Health Concern, 2011. Disponível em <https://www.who.int/ipcs/features/arsenic.pdf>. Acesso realizado em 09 de junho de 2020.

YANCHEVA, V., VELCHEVA, I., STOYANOVA, S., GEORGIEVA, E. Fish in ecotoxicological studies. *Ecologia Balkanica*, 7 (1): 149-169, 2015.

ZAGATO, P.A.; BERTOLETTI, E. *Ecotoxicologia aquática: Princípios e Aplicações*. 2.ed. São Carlos, Brasil: RiMa, 486p., 2014.

ZALESKY, T. Posição sistemática e dinâmica populacional da lula *Lolliguncula brevis* (MOLLUSCA: CEPHALOPODA). Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológica - Zoologia, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, 2005. 176p.

## ANEXOS

### ANEXO A - Tabela de descrição das 118 espécies utilizadas como recurso pesqueiro na região estuarina do rio Doce e área marinha adjacente

Nome comum	Família	Espécie
Cação	Alopiidae	-
Bagre	Ariidae	-
Bagre bandeira	Ariidae	<i>Bagre bagre</i>
Bagre bandeira	Ariidae	<i>Bagre marinus</i>
Caçari	Ariidae	<i>Aspitor luniscutis</i>
Calafate	Ariidae	<i>Notarius grandicassis</i>
Peroá	Balistidae	<i>Balistes capriscus</i>
Peroá Preta	Balistidae	<i>Balistes vetula</i>
Guaivira	Carangidae	<i>Oligoplites saliens</i>
Olho de Boi	Carangidae	<i>Seriola dumerili</i>
Pampo	Carangidae	<i>Trachinotus spp.</i>
Peixe Galo	Carangidae	<i>Selene spp.</i>
Xaréu	Carangidae	<i>Caranx spp.</i>
Xixarro	Carangidae	<i>Caranx crysos</i>
Cação	Carcharhinidae	-
Cação Azul	Carcharhinidae	<i>Prionace glauca</i>
Cação Tigre	Carcharhinidae	<i>Galeocerdo cuvier</i>
Robalo Flecha	Centropomidae	<i>Centropomus undecimalis</i>
Robalo Peva	Centropomidae	<i>Centropomus parallelus</i>
Dourado	Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>
Falso Voador	Dactylopteridae	<i>Dactylopterus volitans</i>
Arraia	Dasyatidae	-
Ubarana	Elopidae	<i>Elops saurus</i>
Manjuba	Engraulidae	<i>Anchoviella lepidentostole</i>
Parú	Ephippidae	<i>Chaetodipterus faber</i>
Badejo	Epinephelidae	<i>Mycteroperca bonaci</i>
Catuá	Epinephelidae	<i>Cephalophis fulva</i>
Cherne	Epinephelidae	<i>Hyporthodus spp.</i>
Garoupa	Epinephelidae	<i>Ephinephelus morio</i>
Gostosa	Epinephelidae	<i>Dermatolepis inermis</i>
Peixe Prego	Gempylidae	<i>Ruventus pretiosus</i>
Peixe Rato	Gempylidae	<i>Lepdpcybuim flavobrunneuem</i>
Carapeba	Gerreidae	<i>Diapterus auratus</i>
Carapeba	Gerreidae	<i>Diapterus rhombeus</i>
Cação Lixa	Ginglymostomatidae	<i>Ginglymostoma cirratum</i>
Biquara	Haemulidae	<i>Haemulon plumieri</i>
Coró-coró	Haemulidae	<i>Haemulon steindachneri</i>

Roncador	Heamulidae	<i>Conodon nobilis</i>
Sargo	Heamulidae	<i>Anisotremus surinamensis</i>
Jaguariça	Holocentridae	<i>Holocentrus adcionis</i>
Marlim	Istiophoridae	-
Sabonete	Labridae	<i>Halichoeres dimidiatus</i>
Sabonete	Labridae	<i>Bodianus rufus</i>
Sabonete	Labridae	<i>Bodianus pulchellus</i>
Cação	Lamnidae	-
Cação Anequim	Lamnidae	<i>Isurus oxyrinchus</i>
Dorminhoco	Lobotidae	<i>Lobotes surinamensis</i>
Lula	Loliginidae	-
Ariacó	Lutjanidae	<i>Lutjanus synagris</i>
Cioba	Lutjanidae	<i>Ocyurus chrysurus</i>
Cirioba	Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i>
Dentão	Lutjanidae	<i>Lutjanus jocu</i>
Realito	Lutjanidae	<i>Rhomboplites aurorubens</i>
Vermelho	Lutjanidae	-
Batata	Malacanthidae	<i>Lopholatilus villarii</i>
Merluza	Merlucciidae	<i>Merluccius hubbsi</i>
Peroá Cação	Monacanthidae	<i>Aluterus monoceros</i>
Tainha	Mugilidae	<i>Mugil spp.</i>
Arraia	Myliobatidae	-
Polvo	Octopodidae	<i>Octopus vulgaris</i>
Congo rosa	Ophidiidae	-
Lagosta Cabo Verde	Panuliridae	<i>Panulirus laevicauda</i>
Lagosta Vermelha	Panuliridae	<i>Panulirus argus</i>
Linguado	Paralichthyidae	<i>Paralichthys patagonicus</i>
Camarão	Penaeidae	-
Camarão 7 Barbas	Penaeidae	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>
Camarão Branco	Penaeidae	<i>Litopenaeus schimitti</i>
Camarão Rosa	Penaeidae	<i>Farfanteoenaes paulensis</i>
Camarão Rosa	Penaeidae	<i>Farfanteoenaes brasiliensis</i>
Namorado	Pinguipedidae	<i>Pseudopercis numida</i>
Namorado	Pinguipedidae	<i>Pseudopercis semifasciatus</i>
Cherne poveiro	Polyprionidae	<i>Polyprion americanus</i>
Parú	Pomacanthidae	<i>Pomacanthus paru</i>
Anchova	Pomotomidae	<i>Pomatus saltatrix</i>
Siri	Portunidae	-
Olho de Cão	Priacanthidae	<i>Priacamthus arenatus</i>
Vermelho	Priacanthidae	-
Olhudo	Pristigasteridae	<i>Pellona harroweri</i>
Bijupirá	Rachycentridae	<i>Rachycentron canadum</i>
Arraia	Rajidae	-
Arraia	Rhinobatidae	-

Cação Viola	Rhinobatidae	<i>Rhinobatos</i> spp.
Bacamarte	Scianidae	<i>Cynoscion virescens</i>
Budião	Scianidae	<i>Scarus tripsnosus</i>
Corvina	Scianidae	<i>Micropogonias furnieri</i>
Fofa	Scianidae	<i>Ctenosciaena gracilicirrhus</i>
Papa Terra	Scianidae	<i>Menticirrhus americanus</i>
Papa Terra	Scianidae	<i>Menticirrhus littoralis</i>
Pescada	Scianidae	<i>Cynoscion virescens</i>
Pescada	Scianidae	<i>Cynoscion jamaicensis</i>
Pescada	Scianidae	<i>Cynoscion microlepidotus</i>
Pescada	Scianidae	<i>Isopisthus parvipinnis</i>
Pescada	Scianidae	<i>Nebris microps</i>
Albacora-bandolim ou Atum	Scombridae	<i>Thunnus obesus</i>
Albacora-branca ou Atum Voador	Scombridae	<i>Thunnus alalunga</i>
Albacora-laje ou Atum Galha	Scombridae	<i>Thunnus albacares</i>
Atum	Scombridae	<i>Thunnus</i> spp.
Atum do Atlântico	Scombridae	<i>Thunnus atlanticus</i>
Bonito	Scombridae	<i>Katsuwonus pelamis</i>
Bonito	Scombridae	<i>Euthynnus alletteratus</i>
Bonito	Scombridae	<i>Auxis thazard</i>
Cavala	Scombridae	<i>Acanthocybium solandri</i>
Cavalinha	Scombridae	<i>scomber japonicus</i>
Sarda	Scombridae	<i>Scomberomorus brasiliensis</i>
Sapateira	Scyllaridae	-
Pargo	Sparidae	<i>Pagrus pagrus</i>
Pargo Coivara	Sparidae	-
Pargo Pena	Sparidae	<i>Calamus pennatula</i>
Cação	Sphyrnidae	-
Cação martelo	Sphyrnidae	<i>Sphyrna</i> spp.
Gordinho	Stromoteidae	<i>Peprilus paru</i>
Parú	Stromoteidae	-
Baiacu	Tetraodontidae	<i>Lagocephalus leavigatus</i>
Cação	Triakidae	-
Peixe Espada	Trichiuridae	<i>Trichiurus lepturus</i>
Cabrinha	Triglidae	<i>Prionotus punctatus</i>
Espadarte	Xiphiidae	<i>Xiphias gladius</i>

**ANEXO B - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 1 (Tommasi Ambiental)**

**ANEXO C - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus)**

**ANEXO D - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 3 (Bioagri - Merieux)**

**ANEXO E - Laudos das análises de determinação da concentração de arsênio inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) durante a primeira amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus)**

**ANEXO F - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 1 (Tommasi Ambiental)**

**ANEXO G - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus)**

**ANEXO H - Laudos das análises de determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 3 (Bioagri - Merieux)**

**ANEXO I - Laudos das análises de determinação da concentração de arsênio inorgânico ( $As^{3+}$  e  $As^{5+}$ ) e metilmercúrio (MeHg) durante a segunda amostragem - Resultados do Laboratório 2 (Hidroquímica - Oceanus)**