

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

RELATÓRIO ANUAL:

Anexo 3 Dulcícola – Metais e Contaminantes Orgânicos

RT-18F RRDM/NOV19

Coordenação Geral

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

COORDENAÇÕES

Anexo 1

Adalto Bianchini (FURG)

Anexo 3

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Subprojetos

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memorian*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

Anexo 4

Jacqueline Albino (UFES)

Subprojetos

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

Anexo 6

Agnaldo Silva Martins (UFES)

Subprojetos

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

Anexo 7

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Carlos W. Hackradt (UFESB)

Fabiana Felix Hackradt (UFESB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

Anexo 8

Heitor Evangelista (UERJ)

Coordenação Técnica (CTEC)

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

Coordenação Escritório de Projetos

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	METODOLOGIA	15
2.1	METAIS EM ÁGUA.....	15
2.1.1	Metais traço.....	15
2.1.2	Metais traço totais.....	16
2.1.3	Metais traço particulados.....	16
2.1.4	Metais traço dissolvidos.....	16
2.2	ORGÂNICOS EM ÁGUA.....	16
2.2.1	Éter-aminas e aminas.....	16
2.2.2	Bifenilos policlorados – PCBs.....	16
2.2.3	Pesticidas.....	17
2.2.4	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs.....	17
2.2.5	Hidrocarbonetos alifáticos.....	18
2.2.6	Esteróis.....	18
2.2.7	Fenóis.....	19
2.3	METAIS EM SEDIMENTO.....	20
2.3.1	Metais totais.....	20
2.3.2	Metais biodisponíveis.....	20
2.3.3	Metais traço na fração trocável (extração sequencial 1).....	20
2.3.4	Metais traço na fração adsorvida/carbonática (extração sequencial 2).....	20
2.3.5	Metais traço na fração reduzível (extração sequencial 3).....	21
2.3.6	Metais traço na fração sulfídica/orgânica (extração sequencial 4).....	21
2.4	ORGÂNICOS EM SEDIMENTO.....	21
2.4.1	Éter-aminas e aminas.....	21
2.4.2	Bifenilos policlorados – PCBs.....	21

2.4.3	Pesticidas	22
2.4.4	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs	22
2.4.5	Hidrocarbonetos alifáticos.....	23
2.4.6	Esteróis.....	23
2.4.7	Fenóis	24
3	RESULTADOS	24
3.1	AMBIENTE FLUVIAL: RIO GUANDU E CALHA DO RIO DOCE.....	24
3.1.1	Metais em água	24
3.1.2	Orgânicos em água.....	51
3.1.3	Metais em sedimento.....	77
3.1.4	Orgânicos em sedimento	107
3.2	AMBIENTE LACUSTRE: LAGOS	123
3.2.1	Metais em água	123
3.2.2	Orgânicos em água.....	127
3.2.3	Metais em sedimento.....	131
3.2.4	Orgânicos em sedimento	137
3.3	AMBIENTE LACUSTRE: LAGOAS	141
3.3.1	Metais em água	141
3.3.2	Orgânicos em água.....	144
3.3.3	Metais em sedimento.....	148
3.3.4	Orgânicos em sedimento	155
4	REFERÊNCIAS	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variabilidade das concentrações de metais totais de diferentes elementos nas amostras de água nas 12 estações de coleta.....	26
Figura 2: Variabilidade das concentrações de diferentes elementos dissolvidos nas amostras de água nas 12 estações de coleta.....	27
Figura 3: Variabilidade das concentrações de diferentes elementos no material particulado em suspensão das amostras de água de diferentes estações de coleta.	28
Figura 4: Percentual de não conformidades para alumínio, bário e cobalto na porção total, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).....	30
Figura 5: Percentual de não conformidades para cobre, ferro e manganês na porção total, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).....	31
Figura 6: Percentual de não conformidades para chumbo na porção total, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).	32
Figura 7: Percentual de não conformidades para bário e ferro na porção dissolvida, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).	32
Figura 8: Percentual de não conformidades para manganês e chumbo na porção dissolvida, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).....	33
Figura 9: Razão percentual entre os valores de concentração de metais em MPS e metais totais para determinação da possível origem do elemento na água.	35
Figura 10: Variabilidade das concentrações de ferro e manganês segundo as diferentes profundidades das estações de coleta dos lagos.	36
Figura 11: Dados temporais para os teores de alumínio total em diferentes ambientes.	37
Figura 12: Dados temporais para os teores de ferro total em diferentes ambientes.	38
Figura 13: Dados temporais para os teores de manganês total em diferentes ambientes.	39
Figura 14: Dados temporais para os teores de cobre total em diferentes ambientes.....	40
Figura 15: Dados temporais para os teores de chumbo total em diferentes ambientes.....	41
Figura 16: Estruturas de algumas aminas encontradas nas amostras analisadas de diferentes estações de coleta.....	51
Figura 17: Variabilidade das concentrações de diferentes PCBs nas 209 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.....	52

Figura 18: Percentual de não conformidades para PCB total, conforme Resolução 357/05 CONAM (1 ng L ⁻¹) e valor crônico estabelecido pela NOAA (14 ng L ⁻¹).	53
Figura 19: (a) Variabilidade das concentrações de diferentes pesticidas nas 209 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta. (b) variabilidade das concentrações agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas). (c) Variabilidade da concentração agrupadas por profundidade.	55
Figura 20: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida DDD em diferentes estações.	57
Figura 21: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida DDT em diferentes estações.	58
Figura 22: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida DDD+DDE+DDT em diferentes estações.	59
Figura 23: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida clordanos em diferentes estações.	60
Figura 24: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos poliaromáticos nas 208 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.	63
Figura 25: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos poliaromáticos nas 208 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).	64
Figura 26: Concentrações e índice de não conformidade referentes ao poliaromático fluoranteno, em diferentes estações de amostragem para água.	65
Figura 27: Concentrações e índice de não conformidade referentes ao poliaromático pireno em diferentes estações de amostragem para água.	66
Figura 28: Concentrações e índice de não conformidade referentes ao poliaromático benzoantraceno em diferentes estações de amostragem para água.	67
Figura 29: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 195 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.	70
Figura 30: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 195 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).	71
Figura 31: Variabilidade das concentrações de diferentes esteróis nas 209 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.	74

Figura 32: Variabilidade das concentrações de diferentes esteróis nas 139 amostras de água analisadas de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).	75
Figura 33: Estruturas de diferentes derivatizantes utilizados em diferentes protocolos para a análise de fenóis em água.....	77
Figura 34: Variabilidade das concentrações de metais totais nas amostras de sedimentos nas 12 estações de coleta.	78
Figura 35: Percentual da fração biodisponível de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos nas 12 estações de coleta.	79
Figura 36: Variabilidade das concentrações de Al, Fe e Mn totais nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	80
Figura 37: Variabilidade da fração biodisponível de Al, Fe e Mn nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	81
Figura 38: Variabilidade das concentrações e não conformidades de arsênio total, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA (Limite Nível 1= 5,9 ppm e Nível 2 = 17 ppm), nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	83
Figura 39: Variabilidade das concentrações e não conformidades de cromo total, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA (Limite Nível 1= 37 ppm e Nível 2 = 90 ppm), nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	84
Figura 40: Variabilidade das concentrações e não conformidades de níquel total, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA (Limite Nível 1= 18 ppm e Nível 2 = 35,9 ppm), nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	85
Figura 41: Dados temporais para os teores de arsênio total nos sedimentos do rio Guandu, rio Doce, Lagos e Lagoas.....	86
Figura 42: Dados temporais para os teores de cromo total nos sedimentos do rio Guandu, rio Doce, Lagos e Lagoas.....	87
Figura 43: Dados temporais para os teores de níquel total nos sedimentos do rio Guandu, rio Doce, Lagos e Lagoas.....	88
Figura 44: Percentual extraído na Fração 1 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	95
Figura 45: Percentual extraído na Fração 2 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	96

Figura 46: Percentual extraído na Fração 3 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	97
Figura 47: Percentual extraído na Fração 4 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.....	98
Figura 48: Estruturas de algumas aminas encontradas nas amostras analisadas de diferentes estações de coleta.....	107
Figura 49: Variabilidade das concentrações de diferentes PCBs nas 129 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.....	108
Figura 50: Variabilidade das concentrações de diferentes PCBs nas 129 amostras de água analisadas de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).	108
Figura 51: Variabilidade das concentrações de diferentes pesticidas e em diferentes estações, agrupadas por ambientes, nas 129 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.	110
Figura 52: Percentual de não conformidades para pesticidas em sedimentos de diferentes estações de coleta segundo a Resolução 454 do CONAMA para água doce nível 1.	111
Figura 53: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos poliaromáticos e de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas, nas 95 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta.....	113
Figura 54: Percentual de não conformidades para hidrocarbonetos poliaromáticos em sedimentos de diferentes estações de coleta segundo a Resolução 454 do CONAMA para água doce nível 1.	115
Figura 55: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 89 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.	117
Figura 56: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 89 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).	118
Figura 57: Variabilidade das concentrações e de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas, de diferentes esteróis nas 94 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.	121
Figura 58: Estruturas de diferentes derivatizantes utilizados em diferentes protocolos para a análise de fenóis em água.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Não conformidades das amostras segundo a Resolução 357/05 do CONAMA.....	29
Tabela 2: Dados de valores Limites dos Principais Elementos Analisados para Metais dissolvidos em Água, segundo CONAMA classe 3 e NOAA, bem como percentual de não conformidades encontradas.	34
Tabela 3: Forma predominante dos diferentes elementos nas amostras de água.	35
Tabela 4: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de Metais Totais para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	43
Tabela 5: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de Metais Totais para as 48 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).	44
Tabela 6: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais no Material Particulado em Suspensão para as 11 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).	45
Tabela 7: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de MPS para as 48 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).	46
Tabela 8: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).	47
Tabela 9: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).	48
Tabela 10: Comparação entre resultados de metais em água para o Rio Doce do IEMA, PMBA, Segura <i>et al.</i> E de Carvalho <i>et al.</i>	50
Tabela 11: Resultados obtidos para PCBs na água para as oito amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	54
Tabela 12: Resultados obtidos para PCBs na água para as 31 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).	54
Tabela 13: Limites do CONAMA Classe 3 e NOAA crônico, bem como os índices de não conformidade em todas as amostras de água analisadas para o parâmetro pesticida.....	60
Tabela 14: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	61
Tabela 15: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).	62

Tabela 16: Limites CONAMA classe 3 e NOAA crônico, bem como índices de não conformidade para todas as amostras analisadas para os poliaromáticos	67
Tabela 17: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 11 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	68
Tabela 18: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 48 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	69
Tabela 19: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 11 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	71
Tabela 20: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 46 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	72
Tabela 21: Resultados obtidos para esteróis na água para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	75
Tabela 22: Resultados obtidos para esteróis na água para as 49 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26)	76
Tabela 23: Não conformidades das amostras de água para o parâmetro Metais Totais segundo a Resolução 454/12 do CONAMA.....	82
Tabela 24: Concentrações, em ppm ou mg kg ⁻¹ , para Metais Totais para as 12 amostras de sedimentos analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	89
Tabela 25: Concentrações, em ppm ou mg kg ⁻¹ , para Metais Totais para as 47 amostras de sedimentos analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	90
Tabela 26: Comparação entre resultados do IEMA e PMBA de metais totais em sedimento do Rio Doce.	91
Tabela 27: Concentrações, em ppm ou mg kg ⁻¹ , para Metais Biodisponíveis para as 12 amostras de sedimentos analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	92
Tabela 28: Concentrações, em ppm ou mg kg ⁻¹ , para Metais Biodisponíveis para as 47 amostras de sedimentos analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).	93
Tabela 29: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 1 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	99
Tabela 30: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 1 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	100
Tabela 31: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 2 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	101

Tabela 32: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 2 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	102
Tabela 33: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 3 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	103
Tabela 34: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 3 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	104
Tabela 35: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 4 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	105
Tabela 36: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para metais extraídos na Fração 4 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	106
Tabela 37: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para PCBs nos sedimentos das 10 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).	109
Tabela 38: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para PCBs nos sedimentos das 45 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	109
Tabela 39: Não conformidades para as 129 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA.....	111
Tabela 40: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para pesticidas em sedimentos das 10 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	112
Tabela 41: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para pesticidas em sedimentos das 45 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	112
Tabela 42: Não conformidades para as 95 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA.....	114
Tabela 43: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos para as 7 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).	115
Tabela 44: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos das 30 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	116
Tabela 45: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 6 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).....	118
Tabela 46: Concentrações, em mg kg ⁻¹ , para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 31 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	119
Tabela 47: Concentrações, em µg kg ⁻¹ , para esteróis em sedimentos das 7 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).	122

Tabela 48: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 30 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).....	122
Tabela 49: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Totais para as 107 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).	123
Tabela 50: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais no Material Particulado em Suspensão para as 98 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).	124
Tabela 51: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 104 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	126
Tabela 52: Resultados obtidos para PCBs na água para as 105 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).	127
Tabela 53: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 105 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).	128
Tabela 54: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 104 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	128
Tabela 55: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 97 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	129
Tabela 56: Resultados obtidos para esteróis na água para as 103 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).	130
Tabela 57: Concentrações, em ppm ou mg kg^{-1} , para Metais Totais para as 36 amostras de sedimentos analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	131
Tabela 58: Concentrações, em ppm ou mg kg^{-1} , para Metais Biodisponíveis para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	132
Tabela 59: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 1 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	134
Tabela 60: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 2 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	135
Tabela 61: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 3 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	136
Tabela 62: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 4 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	137
Tabela 63: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para PCBs nos sedimentos das 31 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	138

Tabela 64: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para pesticidas em sedimentos das 31 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	138
Tabela 65: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos das 25 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	139
Tabela 66: Concentrações, em mg kg^{-1} , para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 24 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	139
Tabela 67: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 25 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).....	141
Tabela 68: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Totais para as 44 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	141
Tabela 69: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais no Material Particulado em Suspensão para as 42 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	142
Tabela 70: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	143
Tabela 71: Resultados obtidos para PCBs na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	144
Tabela 72: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	145
Tabela 73: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	146
Tabela 74: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 41 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	146
Tabela 75: Resultados obtidos para esteróis na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	147
Tabela 76: Concentrações, em ppm ou mg kg^{-1} , para Metais Totais para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	148
Tabela 77: Concentrações, em ppm ou mg kg^{-1} , para Metais Biodisponíveis para as 46 amostras de sedimentos analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	150
Tabela 78: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 1 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	151
Tabela 79: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 2 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	152

Tabela 80: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 3 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	153
Tabela 81: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 4 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	154
Tabela 82: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para PCBs nos sedimentos das 43 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	155
Tabela 83: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para pesticidas em sedimentos das 43 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	155
Tabela 84: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos das 33 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	156
Tabela 85: Concentrações, em mg kg^{-1} , para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 28 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	157
Tabela 86: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 32 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).....	158

ANEXO 3 DULCÍCOLA - Metais e Contaminantes Orgânicos

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento dos teores de metais e compostos orgânicos em água e sedimentos da parte dulcícola da bacia do rio Doce, no estado do Espírito Santo, é de fundamental importância para avaliar o impacto dos rejeitos liberados no rompimento da barragem de Fundão em 2015. Estes dados abióticos serão correlacionados com dados bióticos, também monitorados neste projeto pela RRDM- Rede Rio Doce Mar, de modo a avaliar o impacto como um todo. Para tal foram feitas coletas mensais durante 12 meses no Rio Gandu (E17), calha do Rio Doce (E0, E21, E22 e E26), lagos (E18, E19, E20) e lagoas (E23, E24, E25 e E25a). As amostras de água e sedimentos foram analisadas conforme protocolos internacionais (EPA) ou artigos científicos e os resultados obtidos foram comparados, quando possível, com os limites estabelecidos pelas legislações brasileira (Resoluções CONAMA 454/12 e 357/05) e americana (NOAA).

Uma grande dificuldade encontrada foi a pouca disponibilidade de resultados pretéritos para os ambientes estudados anteriores ao desastre de Mariana. Os poucos dados, considerados como referência para o Rio Doce no presente relatório, foram obtidos pelo IEMA pós desastre, mas antes da chegada da pluma ao estado de Espírito Santo, sendo utilizados para avaliação do impacto na calha do Rio Doce.

No que tange aos lagos e lagoas não foram obtidos dados pretéritos, mas o estudo realizado mostrou não conformidades em relação a legislação vigente para vários metais. Também foram obtidos dados significativos para alguns contaminantes orgânicos como HPA, PCBs e Pesticidas, o que será discutido em detalhes para cada ambiente estudado.

2 METODOLOGIA

2.1 METAIS EM ÁGUA

2.1.1 Metais traço

As 170 amostras de água coletadas nas 20 estações foram analisadas, pela técnica de Espectrometria Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado com detecção por Espectrometria de Massas (ICP-MS), sob três aspectos: Metais Totais; Metais Dissolvidos; Metais no Material Particulado em Suspensão (MPS). Para todas as amostras foram determinadas as concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de 30 elementos: Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hg, Ho, La, Lu, Mn, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, U, V, Yb e Zn. Para tal utilizou-se equipamento ICP-MS da marca Agilent – Modelo 8800-QQQ. As curvas analíticas foram construídas usando-se materiais de referência rastreáveis e solventes de elevada pureza.

2.1.2 Metais traço totais

A fração de metais totais é obtida pela digestão em micro-ondas da amostra adicionada de uma mistura de ácidos (HNO_3 e HCl) segundo norma EPA3515A.

2.1.3 Metais traço particulados

A fração de metais em MPS foi obtida pela digestão da membrana utilizada na filtração da amostra para a análise de metais dissolvidos, em micro-ondas da amostra adicionada de uma mistura de ácidos (HNO_3 , HCl , HF e H_2O_2), seguida de uma neutralização do HF com solução saturada de ácido bórico. Este procedimento segue a norma EPA3052.

2.1.4 Metais traço dissolvidos

A fração de metais dissolvidos é obtida no filtrado em membrana de $0,45 \mu\text{m}$ da amostra coletada. A análise é feita de forma direta.

2.2 ORGÂNICOS EM ÁGUA

2.2.1 Éter-aminas e aminas

As 100 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração em fase sólida e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), conforme recomendado pelo termo de Referência 4 (TR4).

A metodologia de preparo de amostras para análise das aminas aromáticas e éter-aminas consiste em um processo de extração em fase sólida (SPE), em que 800 mL das amostras de água permeiam por um cartucho (EN Lichrolut), no qual são retidos os analitos de interesse, esse processo dura em média 12 horas para cada amostra. Os cartuchos são secos à vácuo (15 minutos), e posteriormente as aminas são extraídas com acetona, seguida de acetato de etila (20 minutos), e o extrato seco com nitrogênio por 10 minutos. O resíduo é solubilizado com acetato de etila e submetido à análise cromatográfica, utilizando um padrão interno. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 5 analitos, um padrão interno e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em ng L^{-1} .

2.2.2 Bifenilos policlorados – PCBs

As 142 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido, um cleanup conforme recomendado pela (UNEP,1992), e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de captura de elétrons (GC-ECD), conforme sugerido pela USEPA 8082A.

A metodologia de preparo de amostras para análise dos PCBs consiste em um processo de extração líquido-líquido com diclorometano (3 h/amostra), em que são utilizados 800 mL da amostra de água, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano e diclorometano, seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 7 analitos, um padrão interno e dois surrogates, tem um tempo de eluição de duas hora por amostra. O tratamento de dados requer a conferência manual da integração de cada um dos picos.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em ng L^{-1} .

2.2.3 Pesticidas

As 142 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido, um cleanup conforme recomendado pela (UNEP,1992), e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de captura de elétrons (GC-ECD), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8081B.

A metodologia de preparo de amostras para análise dos pesticidas consiste em um processo de extração líquido-líquido com diclorometano (3 h/amostra), em que são utilizados 800 mL da amostra de água, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano e diclorometano, seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 11 analitos, um padrão interno e dois surrogates, tem um tempo de eluição de duas horas por amostra. O tratamento de dados requer a conferência manual da integração de cada um dos picos.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em ng L^{-1} .

2.2.4 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

As 138 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido, conforme recomendado pela USEPA 3510c, um cleanup segunda a USEPA 3630C e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8270D.

A metodologia de preparo de amostras para análise dos HPAs consiste em um processo de extração líquido-líquido com diclorometano (3 h/amostra), em que são utilizados 800 mL da amostra de água, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com sílica e alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano e diclorometano (segunda fração coletada), seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 16 analitos, os seis padrões internos e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra, e as áreas de cada pico são checadas manualmente.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em ng L^{-1} .

2.2.5 Hidrocarbonetos alifáticos

As 133 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido, conforme recomendado pela USEPA 3510c, um *cleanup* segundo a USEPA 3630C e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de ionização por chamas (GC-FID), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8270D.

A metodologia de preparo de amostras para análise dos Hidrocarbonetos alifáticos consiste em um processo de extração líquido-líquido com diclorometano (3 h/amostra), em que são utilizados 800 mL da amostra de água, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com sílica e alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano (primeira fração coletada), seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 34 analitos, um padrão interno e três surrogates, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra, onde as áreas de cada pico são checadas manualmente.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g L}^{-1}$.

2.2.6 Esteróis

As 133 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido, conforme recomendado pela USEPA 3510c, um *cleanup* segundo a USEPA 3630c e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8270d.

A metodologia de preparo de amostras para análise dos esteróis consiste em um processo de extração líquido-líquido com diclorometano (3 h/amostra), em que são utilizados 800 mL da amostra de água, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com sílica e alumina, eluindo-se com acetato de etila, sendo a terceira fração recolhida, seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e secagem com nitrogênio (5 minutos/por amostra). Adiciona-se padrão interno e derivatizante (BSTFA:TMS) levando à estufa (70 °C) por uma hora e meia, seguida de secagem com nitrogênio e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias, e a análise cromatográfica dos 11 analitos, um padrão interno e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra, onde as áreas de cada pico são checadas manualmente.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g L}^{-1}$.

2.2.7 Fenóis

As amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido, conforme recomendado pela USEPA 3510c, um *cleanup* segunda a USEPA 3630A e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8041A .

A metodologia de preparo de amostras para análise dos fenóis consiste em um processo de extração líquido-líquido com diclorometano (3 h/amostra), em que são utilizados 800 mL da amostra de água, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com sílica, eluindo-se com três porções diferentes de tolueno em n-hexano e uma porção 2-propanol em tolueno, sendo as quatro frações reunida e secas por de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e nitrogênio (5 minutos/amostra). Adiciona-se padrão interno e derivatizante (BSTFA:TMS) levando à estufa (70 °C) por uma hora e meia, seguida de secagem com nitrogênio e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias, e a análise cromatográfica dos 22 analitos, dois padrões internos e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra, onde as áreas de cada pico são checadas manualmente.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g L}^{-1}$.

2.3 METAIS EM SEDIMENTO

As 117 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações foram analisadas, pela técnica de Espectrometria Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado com detecção por Espectrometria de Massas (ICP-MS), sob dois aspectos:

1. Metais Totais,
2. Metais Biodisponíveis;
3. Extração sequencial:
 - a. Fração 1 – metais adsorvidos;
 - b. Fração 2 – metais ligados a carbonatos;
 - c. Fração 3 – metais ligados a óxidos de ferro e manganês;
 - d. Fração 4 – metais ligados a matéria orgânica;

Para todas as amostras foram determinadas as concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, de 30 elementos: Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hg, Ho, La, Lu, Mn, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, U, V, Yb e Zn. Para tal utilizou-se equipamento ICP-MS da marca Agilent – Modelo 8800-QQQ. As curvas analíticas foram construídas usando-se materiais de referência rastreáveis e solventes de elevada pureza.

2.3.1 Metais totais

A fração de metais totais foi obtida pela digestão em forno micro-ondas da amostra adicionada de uma mistura de ácidos (HNO₃, HCl, HF e H₂O₂), seguida de uma neutralização do HF com solução saturada de ácido bórico, conforme metodologia EPA 3052.

2.3.2 Metais biodisponíveis

A fração de metais biodisponíveis foi obtida pela digestão em forno micro-ondas da amostra adicionada de uma mistura de ácidos (HNO₃, HCl, e H₂O₂), seguida de uma filtração e análise do filtrado, conforme metodologia EPA 3051A.

2.3.3 Metais traço na fração trocável (extração sequencial 1)

A Fração 1 foi obtida a partir da extração dos metais no sedimento por uma solução de cloreto de magnésio 1 mol L⁻¹, a pH 7, sob agitação contínua por uma hora à temperatura ambiente, seguida de uma filtração e análise do filtrado.

2.3.4 Metais traço na fração adsorvida/carbonática (extração sequencial 2)

A Fração 2 foi obtida a partir da extração dos metais no sedimento por uma solução de acetato de sódio 1 mol L⁻¹, a pH 5, sob agitação contínua por cinco horas à temperatura ambiente, seguida de uma filtração e análise do filtrado.

2.3.5 Metais traço na fração reduzível (extração sequencial 3)

A Fração 3 foi obtida a partir da extração dos metais no sedimento por uma solução de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ $0,04 \text{ mol L}^{-1}$, com 25% de ácido acético, sob agitação esporádica por seis horas à temperatura de 96°C , seguida de uma filtração à frio e análise do filtrado.

2.3.6 Metais traço na fração sulfídica/orgânica (extração sequencial 4)

A Fração 4 foi obtida a partir da extração dos metais no sedimento em três etapas: mistura de HNO_3 $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2O_2 30 volumes, sob agitação esporádica por duas horas à temperatura de 85°C ; nova adição de H_2O_2 30 volumes, sob agitação esporádica por três horas à temperatura de 85°C ; após resfriamento, adição de acetato de amônio $3,2 \text{ mol L}^{-1}$, em 20 % de HNO_3 , seguida de agitação contínua por trinta minutos à temperatura ambiente, seguida de uma filtração e análise do filtrado.

2.4 ORGÂNICOS EM SEDIMENTO

2.4.1 Éter-aminas e aminas

As amostras de sedimento coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração em fase sólida e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), conforme recomendado pelo termo de Referência 4 (TR4).

A metodologia de preparo de amostras para análise das aminas aromáticas e éter-aminas em sedimentos consiste em um processo de extração por ultrassom seguida de centrifugação (3 horas por amostra). O extrato é rotaevaporado (30 minutos/amostra) e seco com nitrogênio por 10 minutos. O resíduo é solubilizado com acetato de etila e submetido à análise cromatográfica, utilizando um padrão interno. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 5 analitos, um padrão interno e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

2.4.2 Bifenilos policlorados – PCBs

As 48 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações, previamente liofilizadas, foram submetidas a um processo de extração Soxhlet, a um cleanup conforme recomendado pela (UNEP,1992), e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de captura de elétrons (GC-ECD), conforme sugerido pela USEPA 8082A.

A metodologia para análise de PCBs baseou-se em um processo de extração Soxhlet com diclorometano e n-hexano (8 h/amostra), em que são utilizados 10 g da amostra liofilizada de sedimento, acrescido de 2 g de cobre, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa

por uma coluna de vidro com alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano e diclorometano, seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra), secagem em nitrogênio (5 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 7 analitos, um padrão interno e dois surrogates, tem um tempo de eluição de duas horas por amostra. O tratamento de dados requer a conferência manual da integração de cada um dos picos.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

2.4.3 Pesticidas

As 48 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações, previamente liofilizadas, foram submetidas a um processo de extração Soxhlet, a um cleanup conforme recomendado pela (UNEP,1992), e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de captura de elétrons (GC-ECD), conforme sugerido pela USEPA 8081B.

A metodologia para análise de pesticidas baseou-se em um processo de extração Soxhlet com diclorometano e n-hexano (8 h/amostra), em que são utilizados 10 g da amostra liofilizada de sedimento, acrescido de 2 g de cobre, seguida de uma rotoevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano e diclorometano, seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 11 analitos, um padrão interno e dois surrogates, tem um tempo de eluição de duas horas por amostra. O tratamento de dados requer a conferência manual da integração de cada um dos picos.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

2.4.4 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

As 43 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações, previamente liofilizadas, foram submetidas a um processo de extração Soxhlet conforme recomendado pela USEPA 3540c, a um *cleanup* segundo a USEPA 3630C e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8270D.

A metodologia para análise de HPA baseou-se em um processo de extração Soxhlet com diclorometano (8 h/amostra), são utilizados 10 g da amostra liofilizada de sedimento, acrescido de 2 g de cobre, seguida de uma rotoevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo foi solubilizado em n-hexano, passando por uma coluna de vidro com sílica

e alumina, eluindo-se com mistura de n-hexano e diclorometano (segunda fração coletada), seguida de rotoevaporação (30 minutos / amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias e a análise cromatográfica dos 16 analitos, os seis padrões internos e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra, onde as áreas de cada pico são quantificadas manualmente.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e os resultados são reportados em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

2.4.5 Hidrocarbonetos alifáticos

As 43 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações, previamente liofilizadas, foram submetidas a um processo de extração Soxhlet conforme recomendado pela USEPA 3540C, a um *cleanup* segundo a USEPA 3630C e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de ionização por chamas (GC-FID), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8270D.

A metodologia para análise de Hidrocarbonetos alifáticos baseou-se em um processo de extração Soxhlet com diclorometano (8 h/amostra), são utilizados 10 g da amostra liofilizada de sedimento, acrescido de 2 g de cobre, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo foi solubilizado em n-hexano, passando por uma coluna de vidro com sílica e alumina, eluindo-se com n-hexano (primeira fração coletada), seguida de rotoevaporação (30 minutos/amostra) e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração durou em média 2 dias. Procedeu-se a análise cromatográfica dos 34 analitos, o padrão interno e três surrogates, em um tempo de eluição de uma hora por amostra, onde as áreas de cada pico foram quantificadas manualmente.

A análise quantitativa foi feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno, em função da concentração do analito, e os resultados foram reportados em mg kg^{-1} .

2.4.6 Esteróis

As 43 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações, previamente liofilizadas, foram submetidas a um processo de extração Soxhlet conforme recomendado pela USEPA 3540C, a um *cleanup* segundo a USEPA 3630c e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8270D.

A metodologia para análise de esteróis baseou-se em um processo de extração Soxhlet com diclorometano (8 h/amostra), são utilizados 10 g da amostra liofilizada de sedimento, acrescido de 2 g de cobre, seguida de uma rotaevaporação (30 minutos/amostra) e secagem do extrato em nitrogênio (5 minutos/amostra). O resíduo é solubilizado em n-hexano, passa por uma coluna de vidro com sílica e alumina, eluindo-se com acetato de etila, sendo a terceira fração recolhida, seguida de

rotoevaporação (30 minutos/amostra). Adiciona-se padrão interno e derivatizante (BSTFA:TMS) levando à estufa (70 °C) por uma hora e meia, seguida de secagem com nitrogênio e solubilização com n-hexano para a análise cromatográfica. O processo de extração dura em média 2 dias, e a análise cromatográfica dos 11 analitos, um padrão interno e um surrogate, tem um tempo de eluição de uma hora por amostra, onde as áreas de cada pico são checadas manualmente.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em $\mu\text{g kg}^{-1}$.

2.4.7 Fenóis

As amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações serão submetidas a um processo de Head Space, conforme recomendado pela USEPA 5021A, e analisadas pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), conforme sugerido pelo protocolo USEPA 8041A.

A análise quantitativa é feita segundo o método da curva analítica utilizando-se a razão entre as áreas do analito e do padrão interno apropriado, em função da concentração do analito, e as concentrações foram reportadas em mg kg^{-1} .

3 RESULTADOS

3.1 AMBIENTE FLUVIAL: RIO GUANDU E CALHA DO RIO DOCE

3.1.1 Metais em água

3.1.1.1 Metais traço

As 211 amostras de água coletadas nas 12 estações foram analisadas, pela técnica de Espectrometria Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado com detecção por Espectrometria de Massas (ICP-MS), sob três aspectos:

- Metais Totais;
- Metais Dissolvidos;
- Metais no Material Particulado em Suspensão (MPS).

Para todas as amostras foram determinadas as concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de 30 elementos: Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hg, Ho, La, Lu, Mn, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, U, V, Yb e Zn.

Dos 30 elementos analisados sete não foram detectados ou apresentaram concentrações abaixo dos limites de quantificação: Dy, Er, Eu, Gd, Tm, U e Yb.

Para facilitar a visualização dos resultados os elementos foram agrupados em quatro categorias, levando-se em consideração a magnitude das concentrações encontradas:

1. Elementos Terras Raras (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Th, Tm, U e Yb);
2. Elementos com concentrações abaixo de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, V e Zn);
3. Elementos com concentrações entre 100 e $300 \mu\text{g L}^{-1}$ (Ba e Mn);
4. Elementos com concentrações acima de $300 \mu\text{g L}^{-1}$ (Al e Fe).

As Figuras 1 a 3 mostram a variabilidade das concentrações de diferentes elementos (total, dissolvidos e MPS), indicando que alguns elementos apresentaram maior variabilidade de concentrações (Al, Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Sn, V, Zn) enquanto os demais apresentaram valores abaixo do limite de quantificação ou próximas a ele.

Figura 1: Variabilidade das concentrações de metais totais de diferentes elementos nas amostras de água nas 12 estações de coleta.

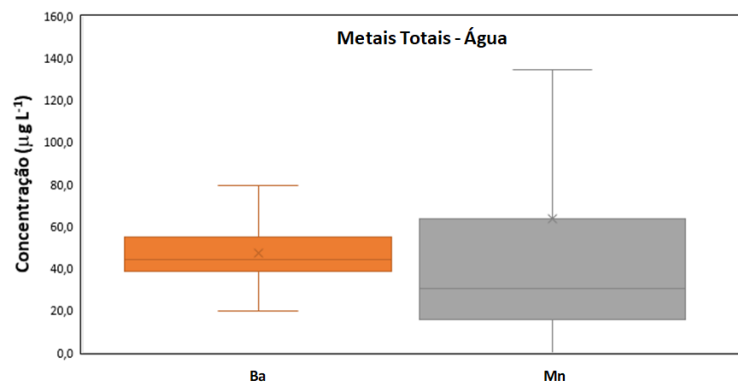
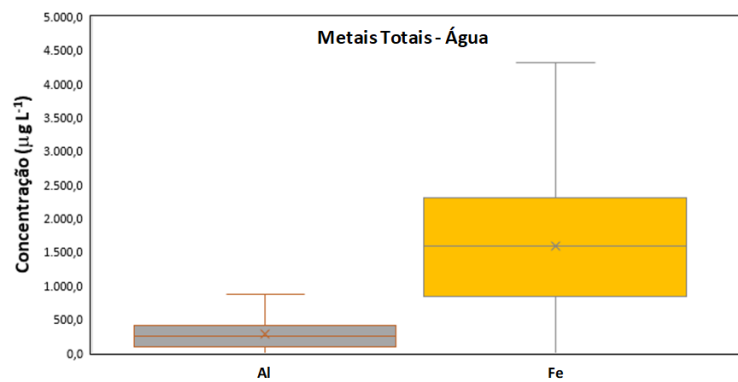
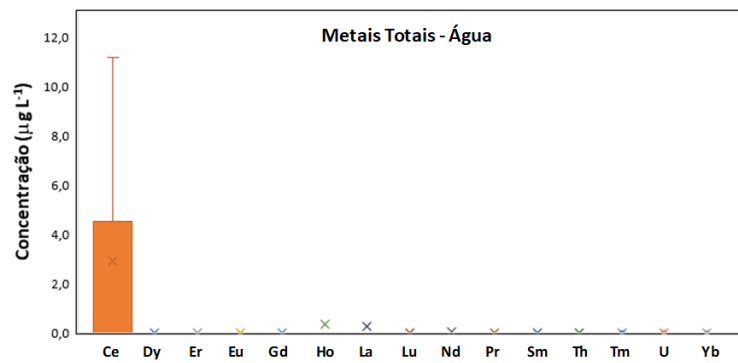
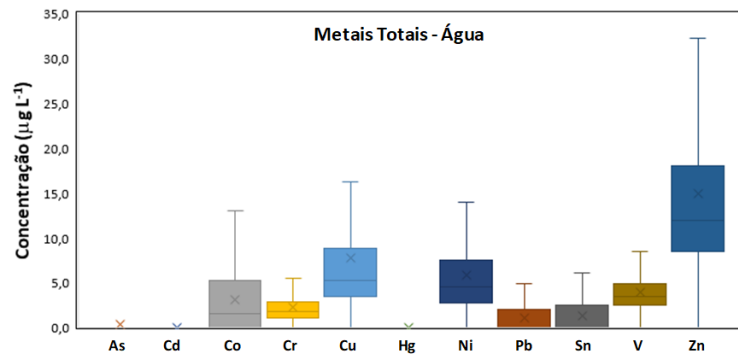


Figura 2: Variabilidade das concentrações de diferentes elementos dissolvidos nas amostras de água nas 12 estações de coleta.

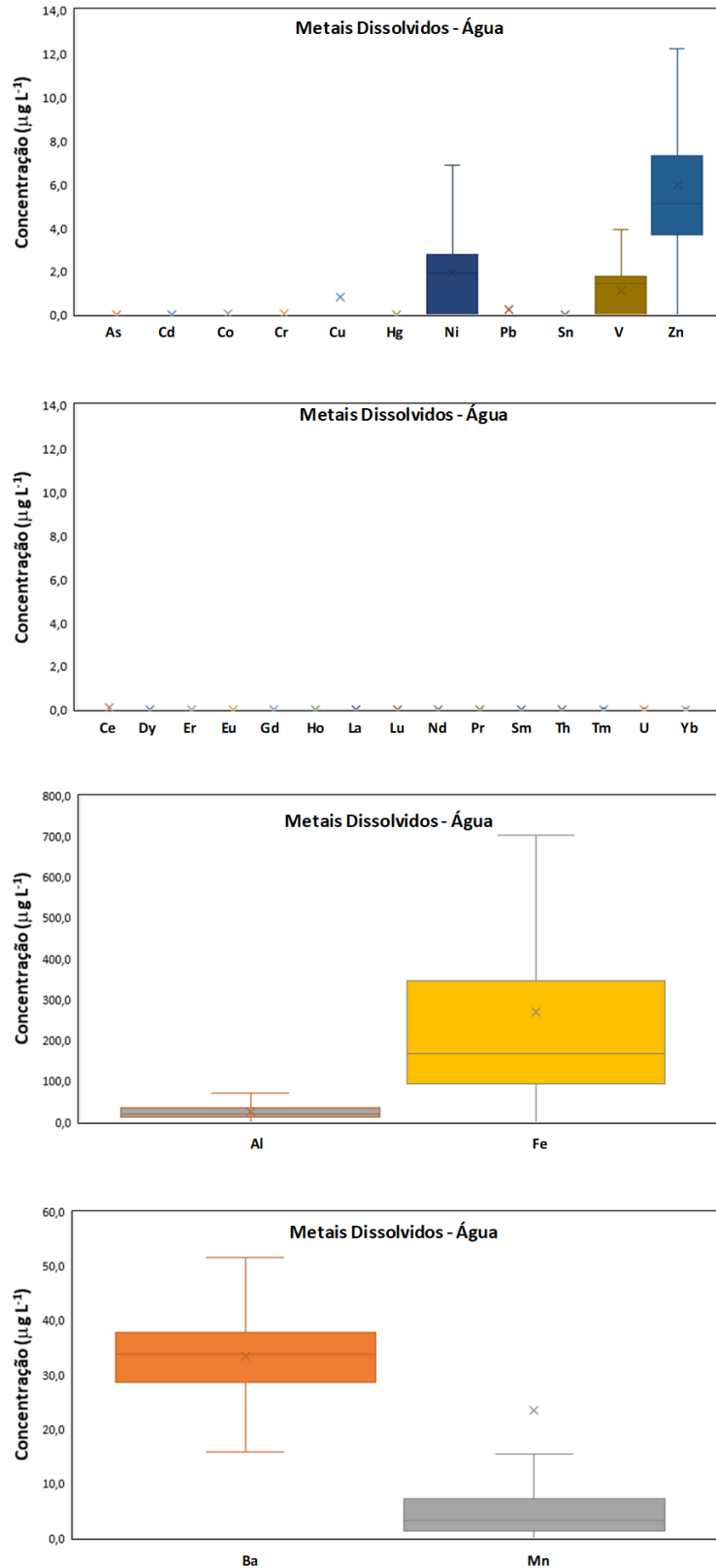
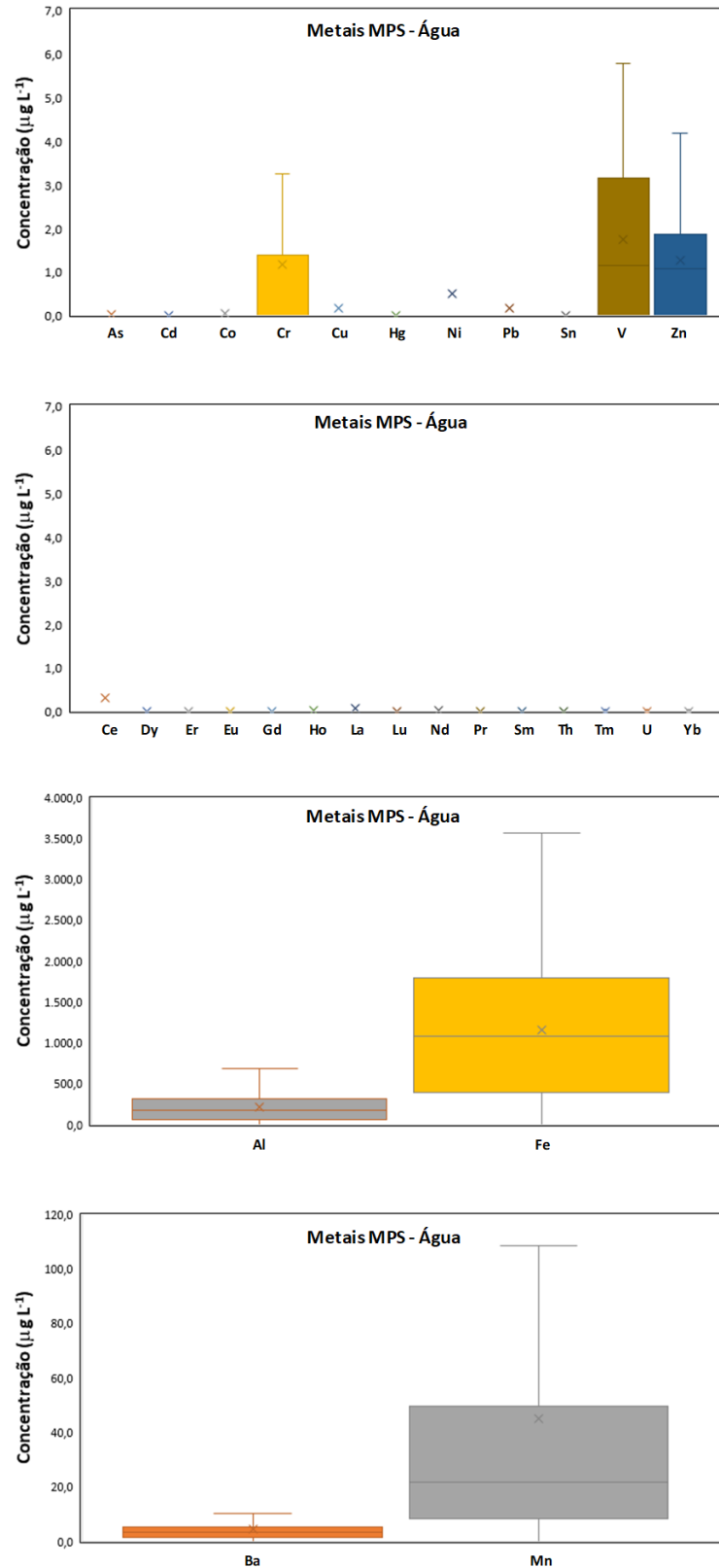


Figura 3: Variabilidade das concentrações de diferentes elementos no material particulado em suspensão das amostras de água de diferentes estações de coleta.



Estes resultados mostram que os elementos ferro, alumínio, cromo e manganês são predominantes no material particulado em suspensão (MPS), já o bário e o zinco apresentam-se em maiores concentrações como metais solúveis na água.

Quanto às não-conformidades foram detectadas 99 amostras com teores acima dos limites estabelecidos pela Resolução 357 do CONAMA para as Classes 1 e 2 de água doce e outras 8 amostras acima do limite para a Classe 3. Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1: Não conformidades das amostras segundo a Resolução 357/05 do CONAMA.

Elementos	Classes 1 e 2		Classe 3	
	Amostras Não-conformes	Percentual	Amostras Não-conformes	Percentual
Al dissolvido	6	3,4 %	1	0,6 %
Cu dissolvido	1	0,6 %	1	0,6 %
Fe dissolvido	53	30,5 %	-	-
Mn Total	36	21,2 %	1	0,6 %
Ni Total	2	1,1 %	2	1,1 %

Como é possível perceber na Tabela acima, os elementos Fe, Mn, Al, Ni e Cu foram os que apresentaram amostras não conformes, sendo o Fe dissolvido e o Mn total os maiores percentuais, 30,5 e 21,2 %.

Se considerado o padrão de águas doces Classe 3 oito amostras apresentaram não-conformidades para Al, Cu, Mn e Ni, com percentuais de no máximo 1,1 %.

Para verificar a variabilidade das concentrações dos elementos e as não conformidades em diferentes sistemas, os resultados foram analisados por estação de coleta e por sistemas:

- Rio Guandú (Estação 17);
- Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26);
- Lagos (Estações 18, 19 e 20);
- Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

No caso das não conformidades as Figuras 4 a 8 mostram que para o Mn total e Fe dissolvido, as não conformidades ocorreram com maior intensidade nos lagos e lagoas, em relação aos rios, sendo também, evidentemente, os locais de maiores concentrações destes elementos nestas formas. Resultados similares foram encontrados para os sedimentos.

Os resultados se mostram preocupantes no que tange a presença de alumínio e bário, especialmente porque são elementos que podem trazer doenças às populações, sendo o bário mais preocupante por concentrar-se na porção dissolvida na água.

Figura 4: Percentual de não conformidades para alumínio, bário e cobalto na porção total, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).

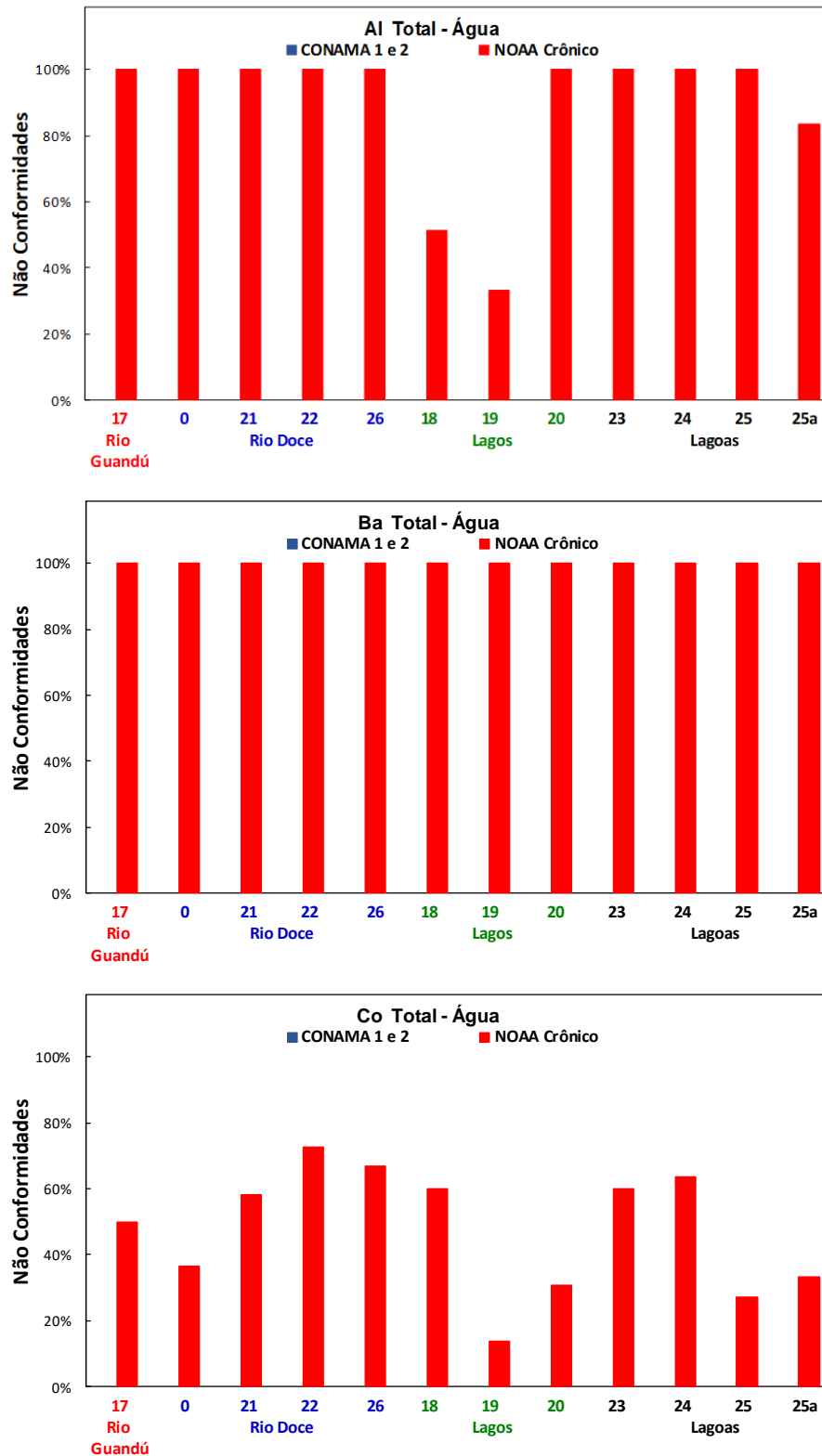


Figura 5: Percentual de não conformidades para cobre, ferro e manganês na porção total, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).

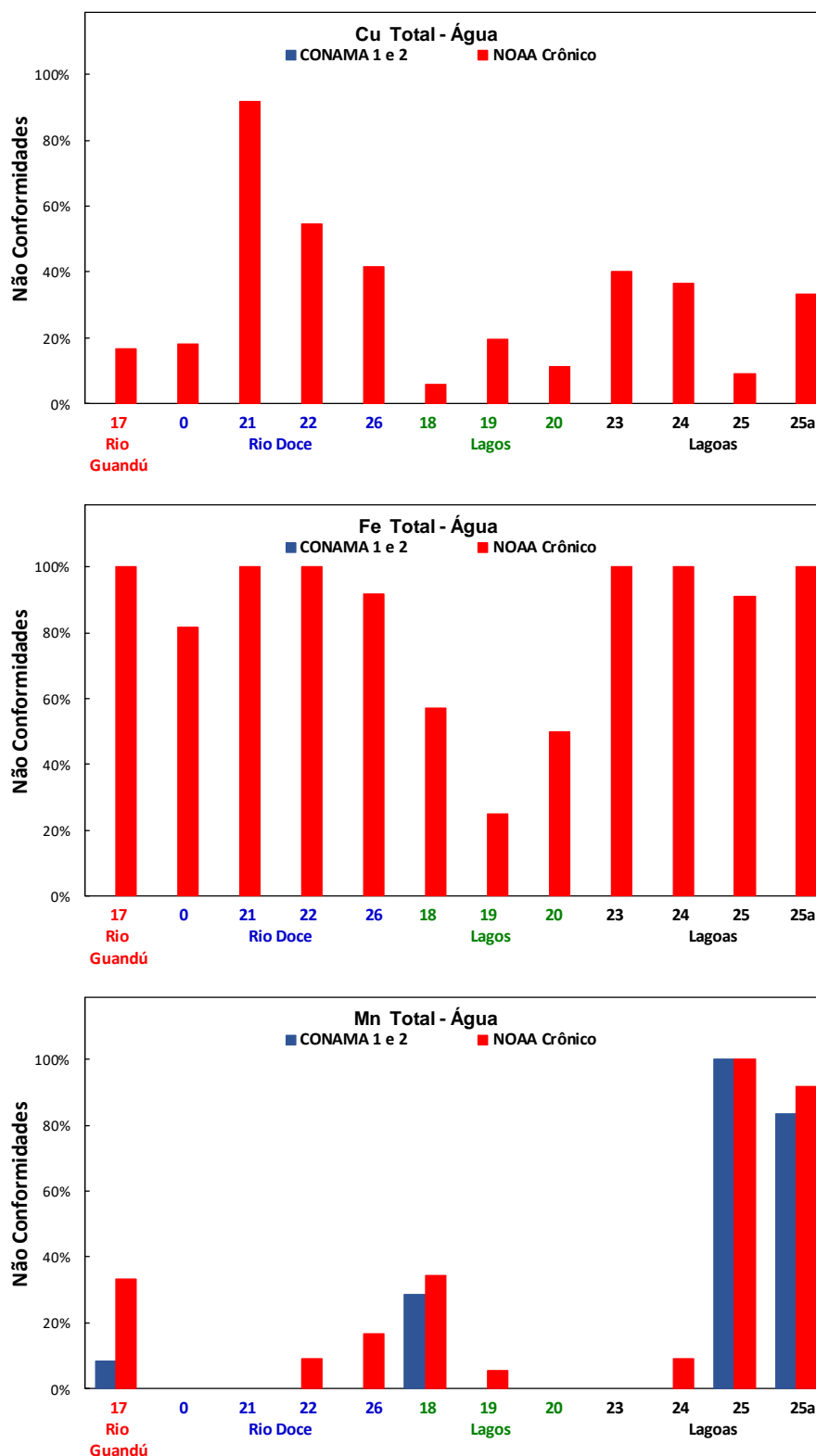


Figura 6: Percentual de não conformidades para chumbo na porção total, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).

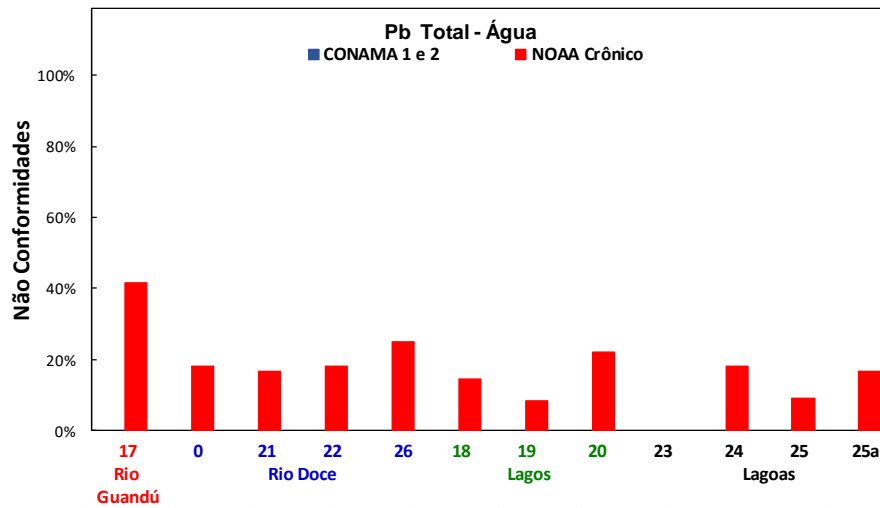


Figura 7: Percentual de não conformidades para bário e ferro na porção dissolvida, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).

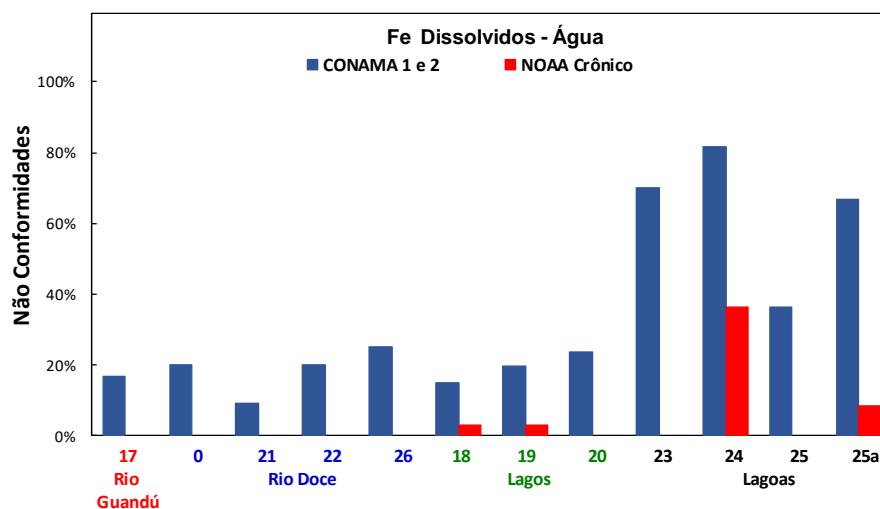
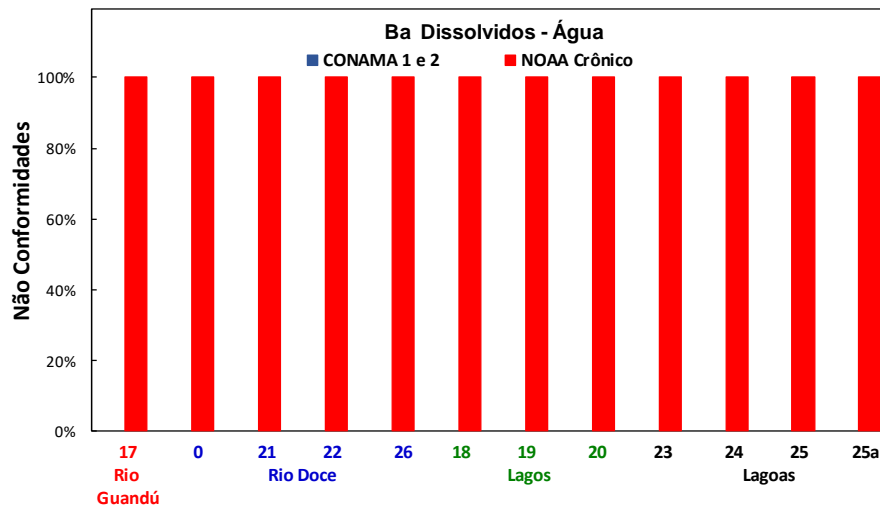
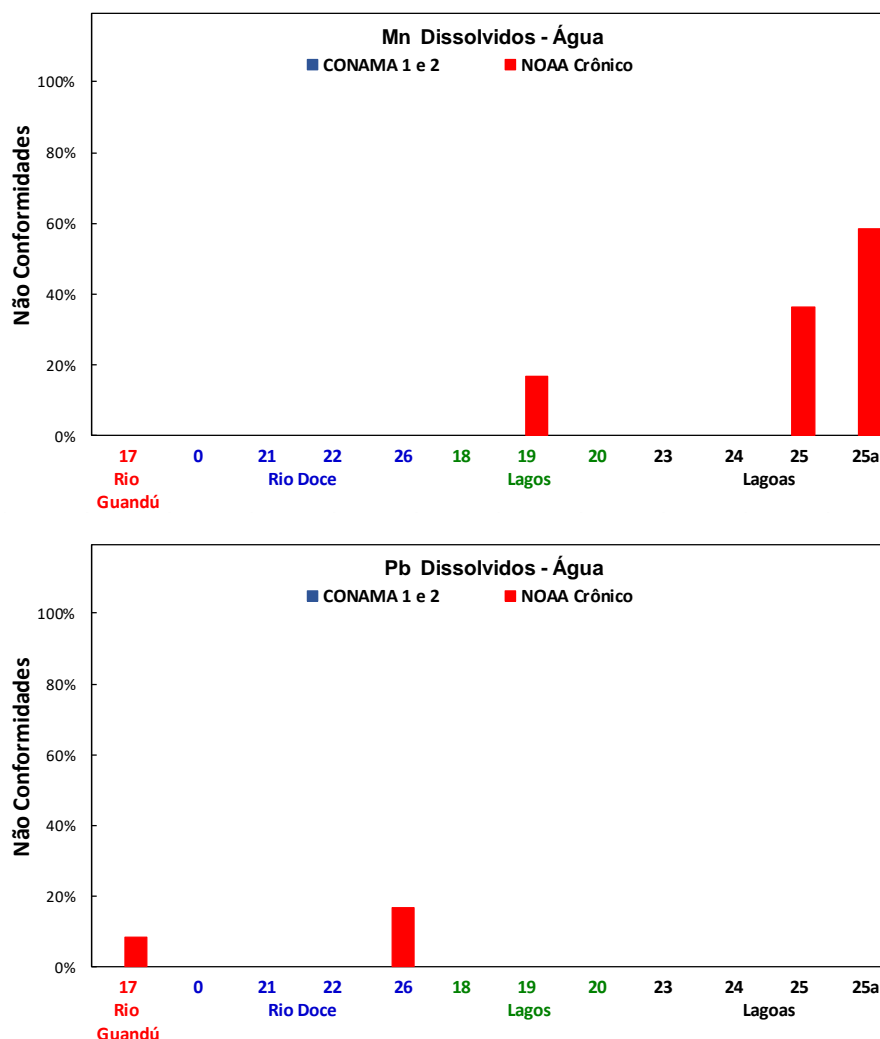


Figura 8: Percentual de não conformidades para manganês e chumbo na porção dissolvida, conforme valores limites CONAMA 357 (classe 1 e 2) e NOAA (crônico).



Observa-se que os índices de não conformidades segundo CONAMA são menores que os observados para o índice NOAA, que é mais restritivo. Ressalta-se os valores bem baixos do limite de bário crônico (NOAA) que é de $3,9 \mu\text{g L}^{-1}$, diferindo muito do limite de $700 \mu\text{g L}^{-1}$ do CONAMA classe 2 por isto há 100% de não conformidade NOAA e zero de CONAMA para este parâmetro. Dados do Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce reportam valores mais elevados de bário entre Governador Valadares e Rio Guandu, relatando valores máximos em água do rio de $519 \mu\text{g L}^{-1}$, o que fica bem abaixo do intervalo ($30\text{-}40 \mu\text{g L}^{-1}$) encontrado no presente estudo.

Tabela 2: Dados de valores Limites dos Principais Elementos Analisados para Metais dissolvidos em Água, segundo CONAMA classe 3 e NOAA, bem como percentual de não conformidades encontradas.

Elemento	Metais Dissolvidos				Metais Totais			
	CONAMA Classe 3		NOAA Crônico		CONAMA Classe 3		NOAA Crônico	
	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades
	($\mu\text{g L}^{-1}$)	(%)	($\mu\text{g L}^{-1}$)	(%)	($\mu\text{g L}^{-1}$)	(%)	($\mu\text{g L}^{-1}$)	(%)
Al	200	0,0	87	1,0	-	-	87	79,6
As	-	-	150	0,0	33	0,0	150	0,0
Ba	-	-	3,9	100,0	1000	0,0	3,9	100,0
Cd	-	-	0,25	0,0	10	0,0	0,25	0,0
Co	-	-	3	0,5	200	0,0	3	42,7
Cr	-	-	-	-	50	0,0	-	-
Cu	13	0,0	9	1,0	-	-	9	24,6
Fe	5000	0,0	1000	4,3	-	-	1000	68,7
Hg	-	-	0,77	0,0	2,0	0,0	0,77	0,0
Mn	-	-	80	8,1	500,0	0,9	80	20,9
Ni	-	-	52	0,0	25,0	0,0	52	0,0
Pb	-	-	2,5	11,5	33,0	0,0	2,5	38,4
U	-	-	0,5	0,0	20,0	0,0	0,5	0,0
V	-	-	19	0,0	100,0	0,0	19	0,0
Zn	-	-	120	0,0	5000,0	0,0	120	0,0

A tabela acima deixa claro que as maiores não conformidades são observadas para metais totais, ao invés de metais dissolvidos e isto acontece quando se utilizam limites NOAA, que são parâmetros internacionais de qualidade de água, merecendo destaque os elementos, Al, Ba, Co, Cu, Fe, Mn e Pb. No que tange ao CONAMA classe 3, há apenas cerca de 1% de não conformidade em relação ao manganês, os demais elementos ficaram em conformidade.

Visando avaliar qual a fase predominante onde foi encontrado um dado elemento, foram calculadas as razões entre as concentrações destes no material particulado em suspensão/ amostra total (água e sedimentos), conforme os dados apresentados na Figura 9. Destacam-se o alumínio, ferro, manganês, além do vanádio e cromo, que predominam no material MPS, o que também é apresentado na Tabela 3.

Figura 9: Razão percentual entre os valores de concentração de metais em MPS e metais totais para determinação da possível origem do elemento na água.

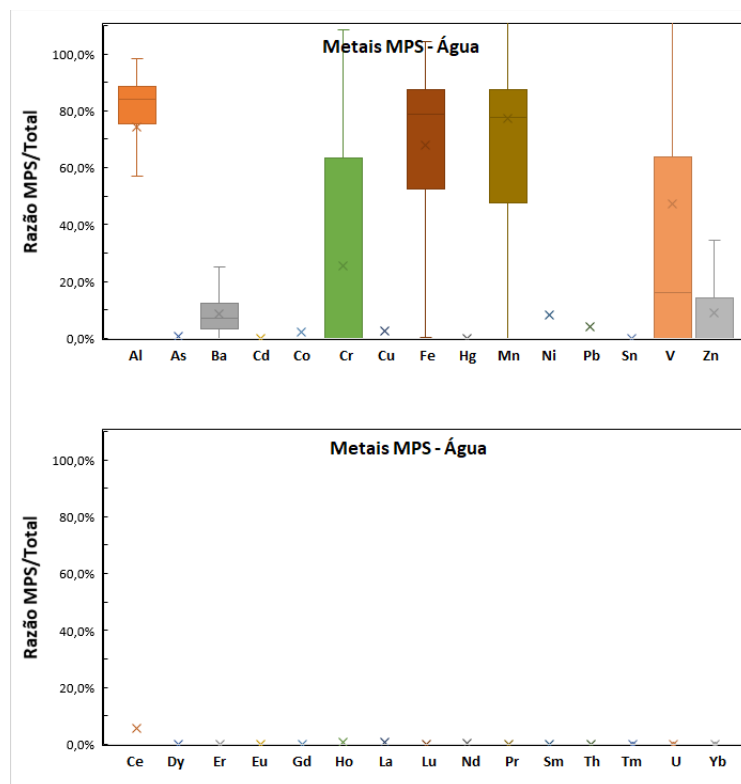


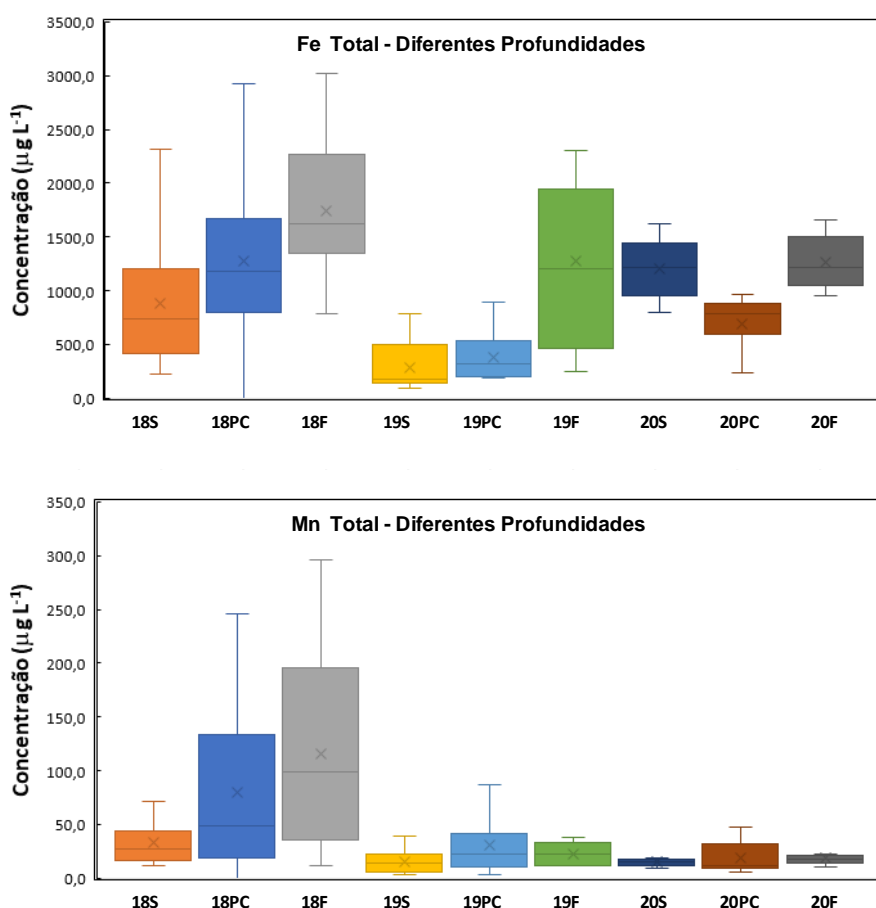
Tabela 3: Forma predominante dos diferentes elementos nas amostras de água.

Elemento	Forma Predominante
Al	MPS
Cr	MPS
Fe	MPS
Mn	MPS
V	Misto

Conforme apresentado, o alumínio, cromo, manganês e ferro ficam mais concentrados no material particulado em suspensão nas amostras de água, o que facilita para remoção destes contaminantes, via filtração.

Foram analisados também os resultados de Mn e Fe para diferentes profundidades (superficial, profundidade de compensação e próximo ao fundo) das estações de coleta nos lagos (estações 18, 19 e 20), verificando-se que as menores profundidades possuem as maiores concentrações destes dois elementos, não havendo uma diferença significativa para os demais elementos. Esses resultados podem ser verificados na Figura 10. No caso do manganês o comportamento só foi observado para o lago do Limão (estação 18), não havendo variação para os lagos Nova e Juparanã (estações 19 e 20).

Figura 10: Variabilidade das concentrações de ferro e manganês segundo as diferentes profundidades das estações de coleta dos lagos.



Uma análise temporal foi feita para todos os ambientes (Rio Guandu, Rio Doce, Lagos e Lagoas), determinando-se o teor dos principais elementos na água total, incluindo o material dissolvido e no particulado em suspensão- MPS. A linha pontilhada refere-se ao limite estabelecido pelo NOAA-crônico. Estes resultados são apresentados a seguir, nas Figuras 11 a 15.

Figura 11: Dados temporais para os teores de alumínio total em diferentes ambientes.

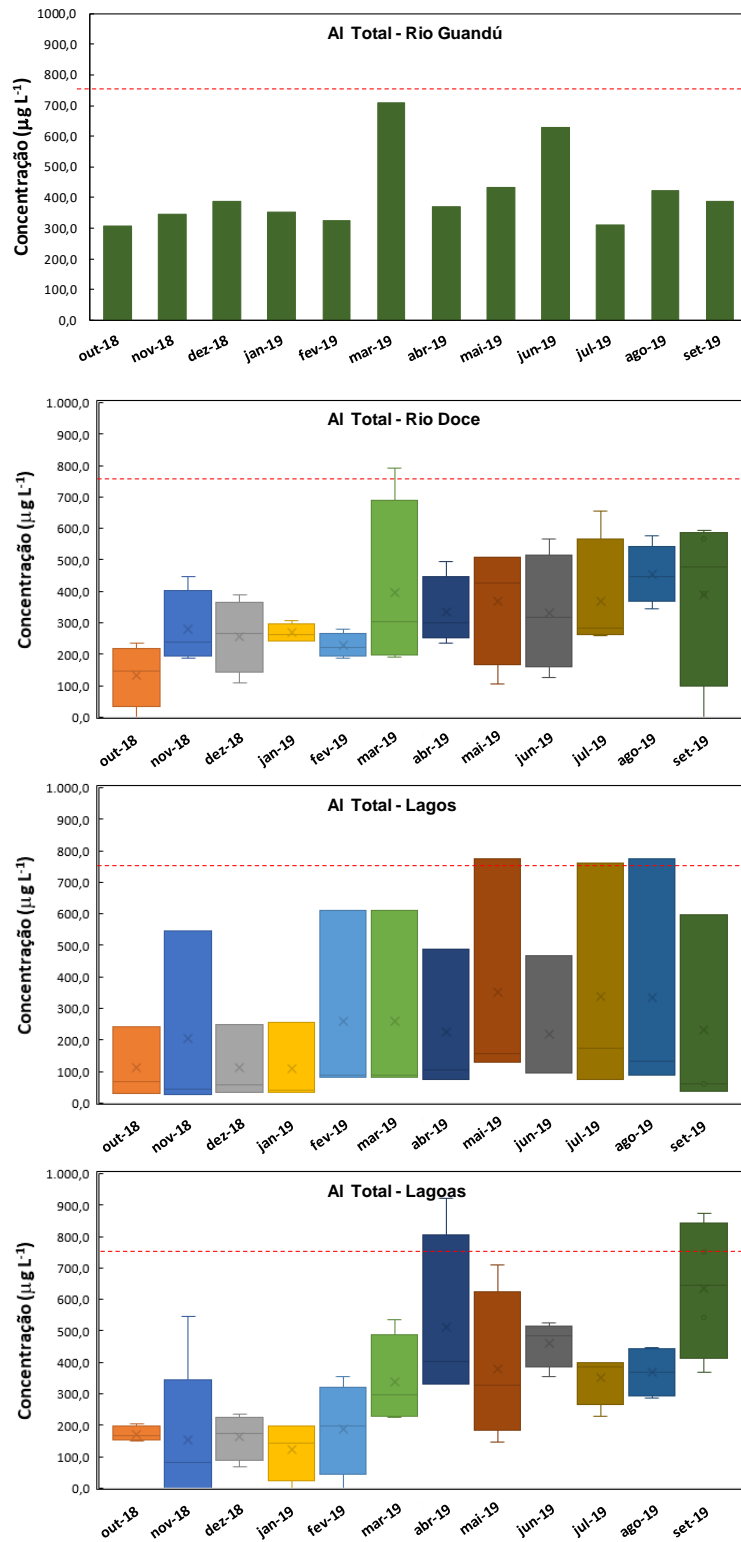


Figura 12: Dados temporais para os teores de ferro total em diferentes ambientes.

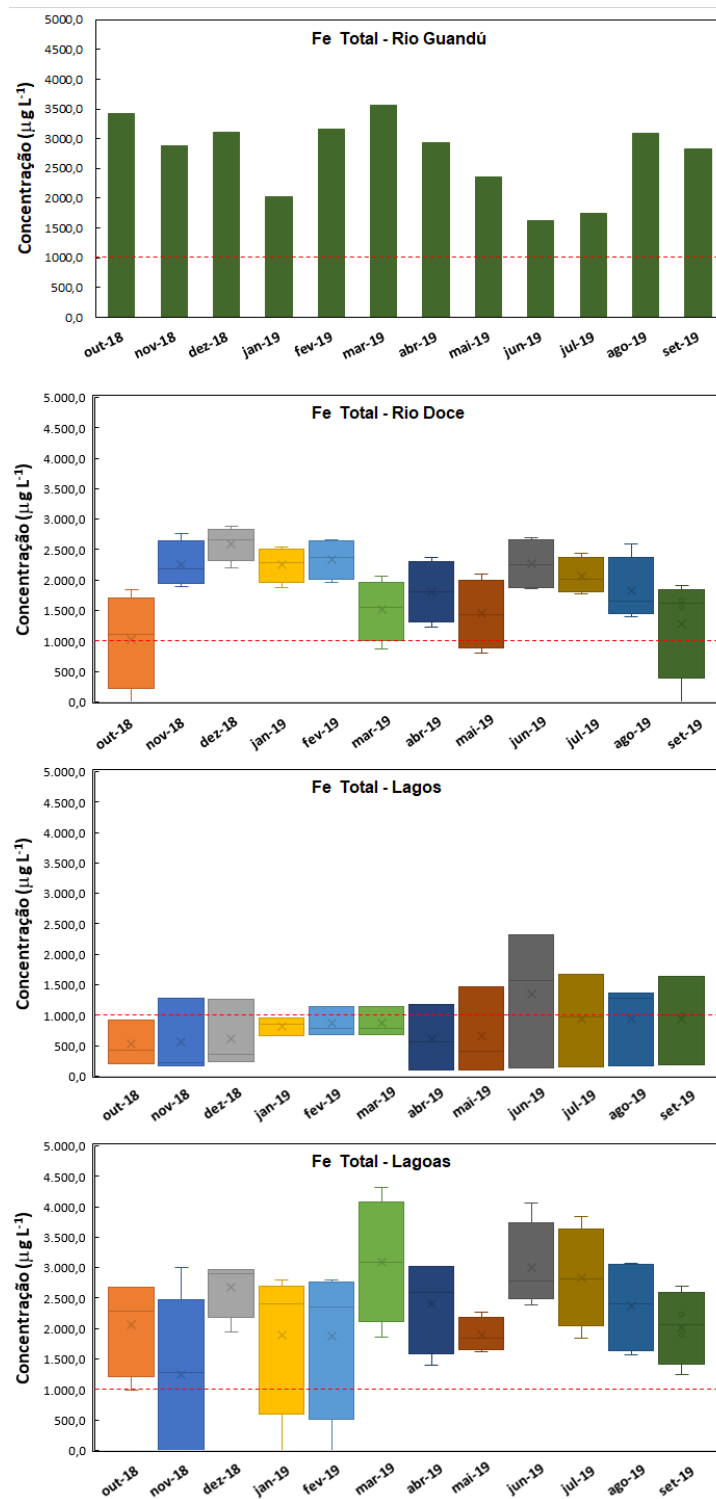


Figura 13: Dados temporais para os teores de manganês total em diferentes ambientes.

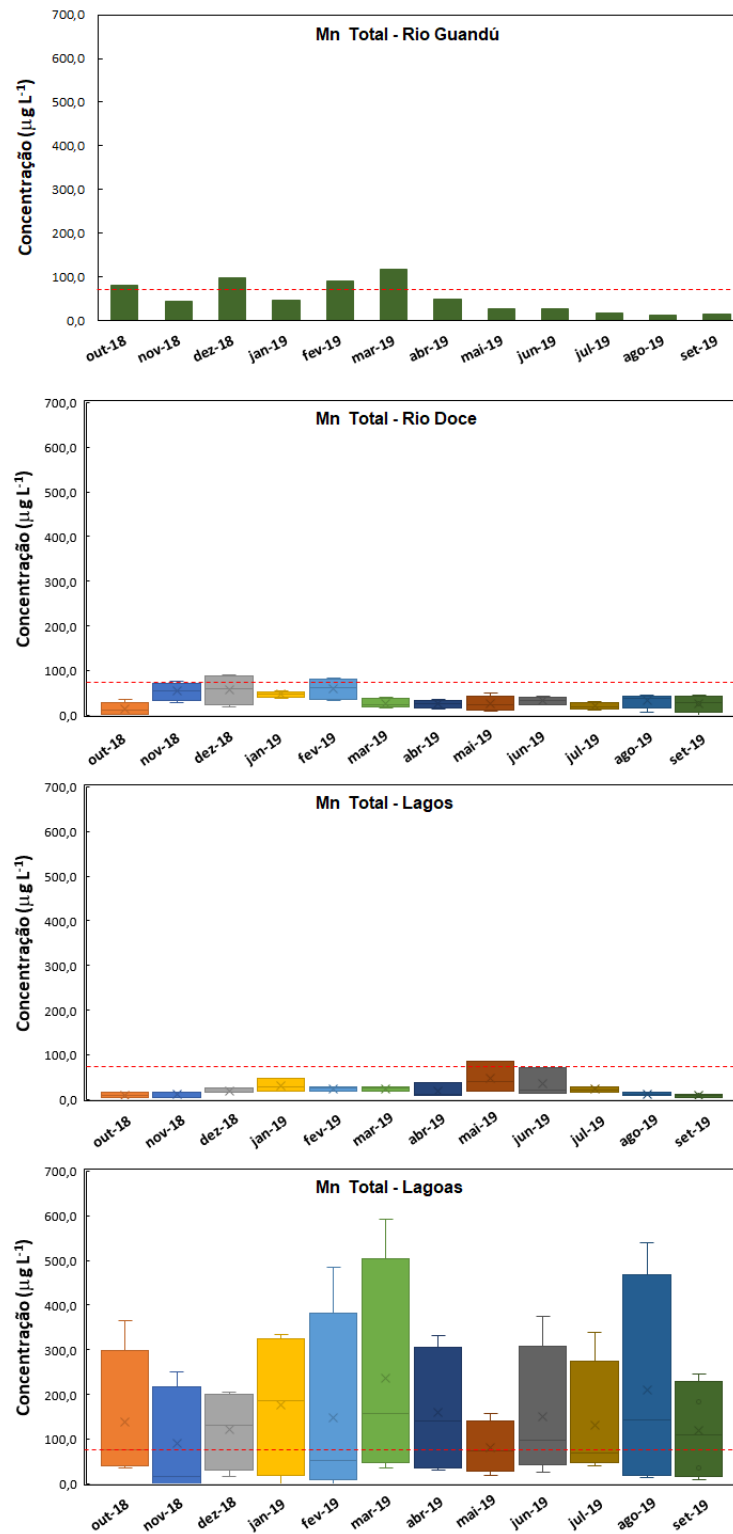


Figura 14: Dados temporais para os teores de cobre total em diferentes ambientes.

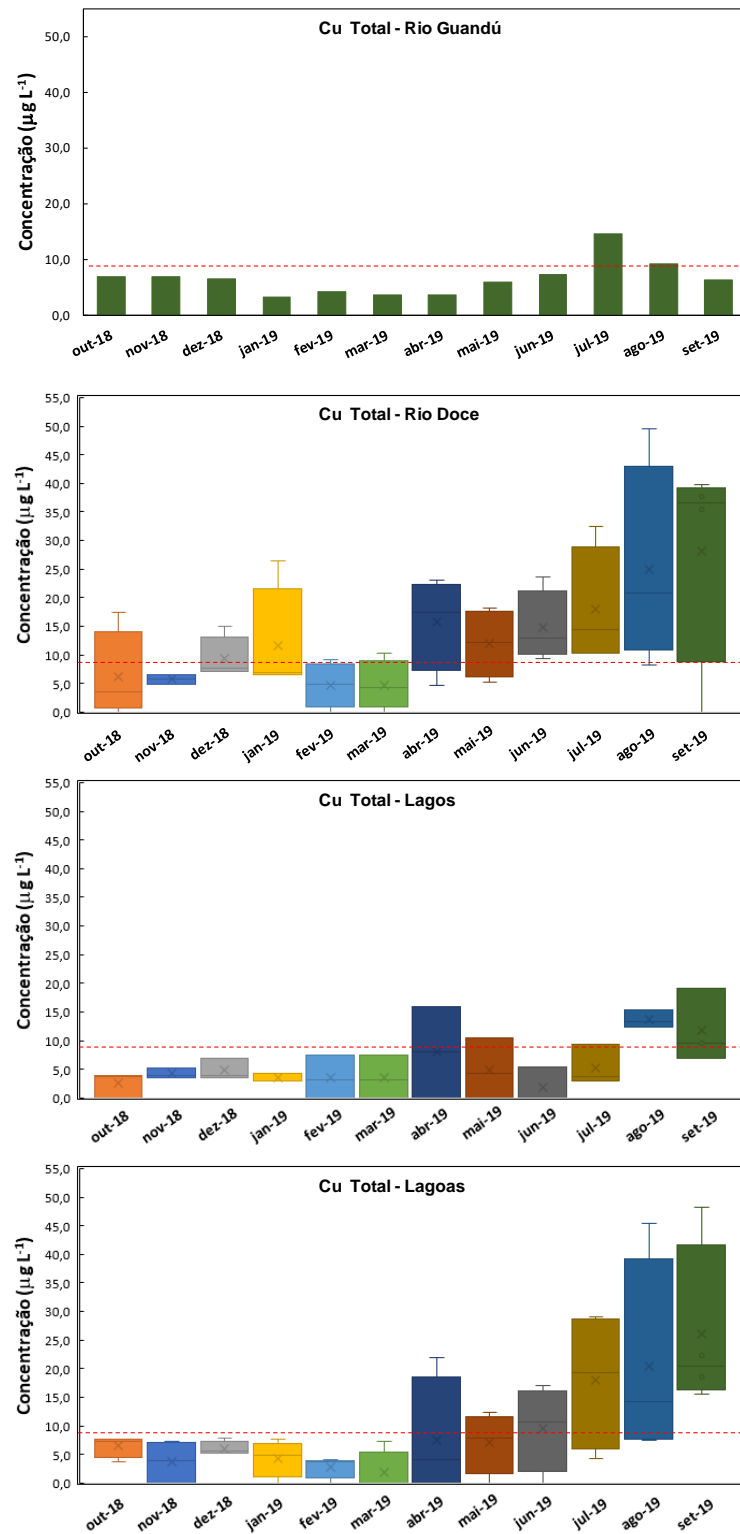
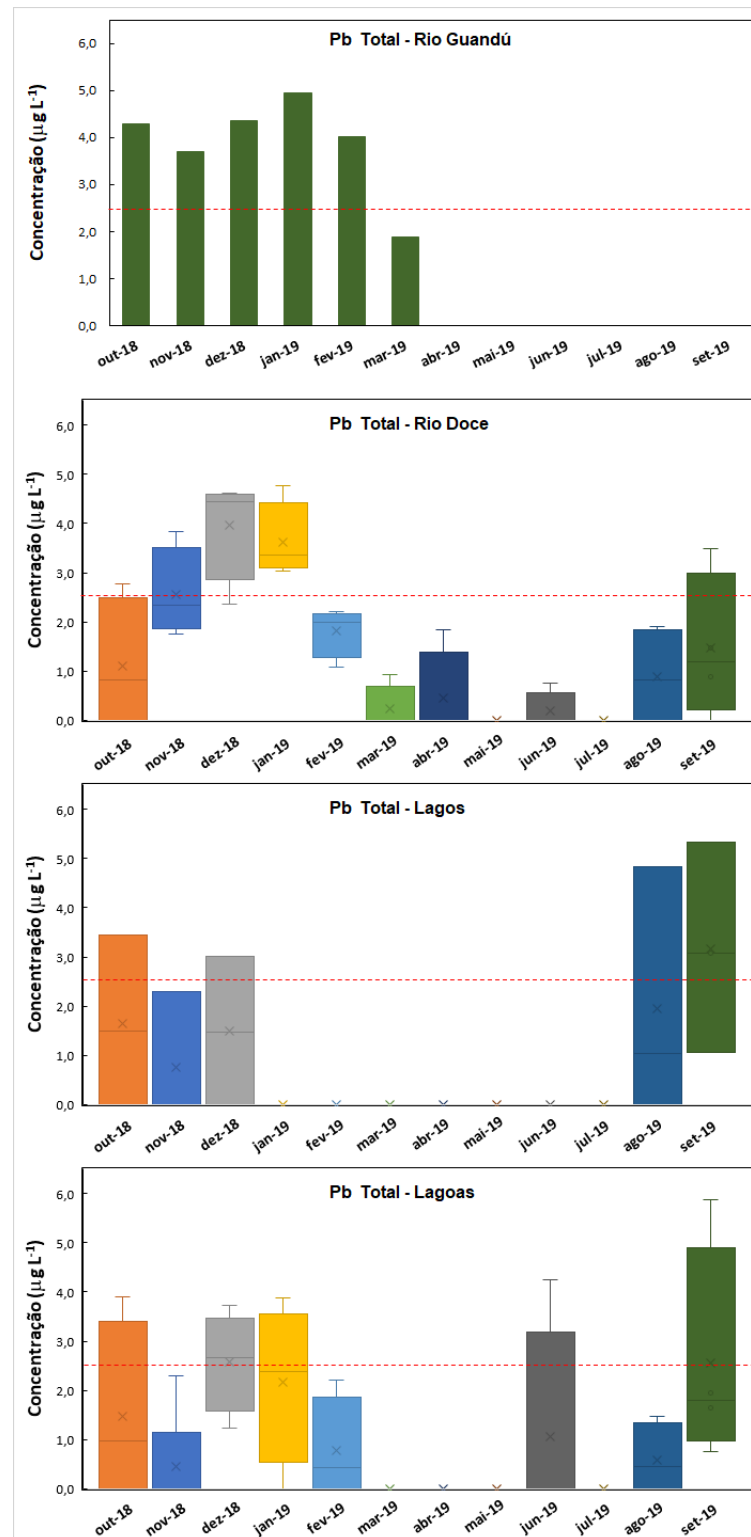


Figura 15: Dados temporais para os teores de chumbo total em diferentes ambientes.



Conforme pode-se observar, os valores de alumínio total (Figura 11, p.37) ficaram, de modo geral, abaixo do limite NOAA crônico para os rios Guandu e Doce, com certa flutuação ao longo dos meses. No caso dos lagos e lagoas, as concentrações de alumínio foram mais elevadas que nos rios, tangenciando ou até superando o limite NOAA- crônico. Embora esta extrapolação de limites ocorreu em dois meses para as lagoas, os valores encontrados para os lagos são maiores para este metal.

Ressalta-se que o valor médio de alumínio para as águas superficiais da bacia do Rio Doce, reportados no Atlas Geoquímico da bacia do rio Doce é de 75 $\mu\text{g L}^{-1}$, bem inferior aos apresentados na Figura 11. Considerando-se os resultados de Viglio *et al.* (2016) pode-se afirmar que os valores encontrados no PMBA para a calha do Rio Doce apresentam média superior e podem indicar impacto do acidente.

Os valores obtidos para ferro total em todos os ambientes extrapolam os limites de NOAA crônico (Figura 12, p.38), com valores extremamente elevados, cerca de 3500 $\mu\text{g L}^{-1}$ em alguns meses no rio Guandu e nas lagoas. Observa-se que os lagos apresentaram menores teores de ferro total que as lagoas, havendo diferenças significativas nestes ambientes, no que tange ao ferro.

Ressalta-se que o valor médio de ferro para as águas superficiais da bacia do Rio Doce, reportados no Atlas Geoquímico é de 617 $\mu\text{g L}^{-1}$. Considerando-se os resultados de Viglio *et al.* (2016) pode-se afirmar que os valores encontrados no PMBA para a calha do Rio apresentam média superior e podem indicar impacto do acidente no Rio Doce.

Os dados da Figura 13 (p.39) mostram que, de modo geral, os rios Guandu e Doce, bem como lagos monitorados apresentaram valores de manganês total abaixo ou em alguns poucos meses, levemente superiores ao limite NOAA crônico. Entretanto, os valores obtidos para as lagoas são extremamente diferentes e mais altos que os obtidos para os lagos, chegando a atingir valores de 500 $\mu\text{g L}^{-1}$.

O Atlas Geoquímico reporta valores médios mais altos para o manganês na bacia do rio Doce, ou seja 397 $\mu\text{g L}^{-1}$. Entretanto, avaliando o mapa percebe-se que na calha do Rio Doce os valores são bem inferiores, sendo a média elevada por cursos d'água fora deste rio.

Os dados da Figura 14 (p.40) indicam que os valores de cobre total, de modo geral, são baixos para o rio Guandu, menores que os limites NOAA crônico, comportando-se de forma muito diferente no rio Doce e nas lagoas, que extrapolam este limite. No caso dos lagos, onde há maior profundidade, o cobre tende a ser menor que nas lagoas. Os valores médios encontrados para o Atlas, considerando a bacia do rio Doce é de 1,7 $\mu\text{g L}^{-1}$, bem inferior ao observado no PMBA. Uma análise do mapa do rio Doce no Atlas Geoquímico indicam presenças menores de cobre (1 a 2 $\mu\text{g L}^{-1}$.) [ref], o que pode sugerir que os dados de agora podem ser originários do acidente ou de outra atividade neste rio.

Os valores de chumbo Total variaram muito ao longo do tempo para os vários ambientes, sendo que nos últimos meses não foi identificado nas calhas dos rios, tendo maior ocorrência nos lagos e lagoas, com extrapolação de valores NOAA crônico. O valor médio encontrado para as águas superficiais do chumbo na bacia é de 2 $\mu\text{g L}^{-1}$ (VIGLIO, DA CUNHA, 2016), superior ao encontrado para a calha do Rio Doce, na Figura 15 (p.41) nos últimos meses. Portanto, o parâmetro Pb não é um indicador do

desastre. Ressalta-se que o Pb estava presente em menor quantidade no rejeito que o Cu, pois segundo o Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce, a lama coletada ao longo da Bacia do Gualaxo do Norte continha 4100 $\mu\text{g L}^{-1}$ de Pb e 13867 $\mu\text{g L}^{-1}$ de Cu, pós rompimento da barragem.

3.1.1.2 Metais traço totais

Tabela 4: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de Metais Totais para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	425,1	389,1	310,0	710,0	127,6	30,0
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	52,3	44,5	37,3	97,2	18,1	34,6
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	11,2	11,1	< 0,6	22,6	5,3	47,8
Co	5,0	4,7	< 0,9	12,4	4,6	91,5
Cr	4,6	5,6	< 1,1	9,1	3,3	71,5
Cu	6,5	6,2	3,2	14,6	3,3	50,1
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	2666,9	2876,2	1628,6	3568,0	632,6	23,7
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	4,4	4,5	< 0,4	9,0	2,7	61,9
Lu	5,3	< 0,5	< 0,5	44,1	13,1	248,5
Mn	49,2	44,1	11,4	116,8	36,6	74,4
Nd	0,9	< 0,5	< 0,5	3,5	1,4	146,8
Ni	5,6	5,3	2,4	11,2	2,5	45,3
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	4,9	2,1	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	4,0	1,8	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,2	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	3,7	3,3	2,0	8,1	1,7	45,5
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	17,1	16,7	8,7	27,0	5,8	33,9

Tabela 5: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de Metais Totais para as 48 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	375,4	307,8	107,0	919,7	180,8	48,2
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	2,7	0,9	-
Ba	38,2	37,0	19,8	117,8	15,0	39,4
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	4,7	3,5	< 0,6	14,8	3,6	77,2
Co	5,3	5,1	< 0,9	14,2	4,5	83,6
Cr	3,0	2,3	< 1,1	11,9	2,8	93,0
Cu	12,5	7,7	< 2,5	49,6	11,4	90,7
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	1990,7	2030,4	798,4	2876,1	514,5	25,8
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	-	-
Ho	0,8	0,9	< 0,3	2,7	0,9	113,3
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2,0	-	-
Lu	5,1	< 0,5	< 0,5	77,3	14,6	284,8
Mn	36,1	33,0	7,8	90,8	21,7	60,0
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	6,3	4,7	< 1,1	23,8	5,8	91,8
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	4,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	1,7	< 1,6	6,8	1,7	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	4,6	4,3	1,3	9,4	2,2	47,3
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	14,2	11,8	< 2,9	60,1	12,6	88,5

Os dados mostram mais uma vez que o rio Guandu tem água com maiores teores de metais que o Rio Doce, mesmo não recebendo rejeitos do desastre de Fundão, indicando tratar-se de um rio que sofre efeito dos minerais da região onde está inserido. Se for considerado os dois rios e os limites estabelecidos para a bacia do Rio Doce, tem-se que Al, Fe e Cu apresentaram valores superiores aos observados antes do acidente para estes metais, ou seja 75, 617 e 1,7 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Para o Mn tem-se no rio Doce um teor de 361 $\mu\text{g L}^{-1}$, um pouco inferior à média apresentada no Atlas, que é

de 397 $\mu\text{g L}^{-1}$. Convém ressaltar que o Mn tem elevada solubilidade, podendo ser uma justifica para os menores teores.

3.1.1.3 Metais traço particulados

Tabela 6: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais no Material Particulado em Suspensão para as 11 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	385,6	342,7	272,2	633,1	121,2	31,4
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	9,5	4,2	< 1,4	56,0	16,6	174,5
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	1,1	< 0,6	< 0,6	7,2	2,4	223,5
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,7	-	-
Cr	3,2	3,2	< 1,1	7,5	3,1	98,3
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	3,4	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	2301,8	2401,3	1305,1	3244,6	609,1	26,5
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	0,8	< 0,4	< 0,4	6,1	1,9	250,8
Lu	4,1	< 0,5	< 0,5	38,0	11,9	288,7
Mn	32,2	22,9	2,2	80,2	31,6	98,2
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,0	0,6	-
Ni	< 1,1	1,2	< 1,1	2,1	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,4	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	3,8	< 1,1	< 1,1	25,0	7,6	202,7
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	3,2	< 2,9	< 2,9	16,4	5,0	156,3

Tabela 7: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, de MPS para as 48 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	289,7	255,4	< 2,1	749,2	176,4	60,9
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	3,4	2,8	< 1,4	9,2	2,4	72,0
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	4,0	1,0	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,0	-	-
Cr	1,6	< 1,1	< 1,1	9,3	2,5	153,3
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	4,1	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	1438,7	1500,8	< 2	2639,1	681,5	47,4
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	2,9	< 0,5	< 0,5	69,5	12,0	419,4
Mn	28,5	20,6	< 1,1	75,5	21,8	76,6
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	5,4	1,3	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,4	< 1,1	< 1,1	4,9	1,7	118,6
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	5,8	-	-

Novamente, através dos dados de MPS, observam-se valores maiores para as concentrações de metais para o rio Guandu em relação ao rio Doce, especialmente para os elementos Fe, Al, Mn, V, Zn.

3.1.1.4 Metais traço dissolvidos

Tabela 8: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	39,4	40,5	16,4	84,1	19,8	50,2
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	36,1	35,5	31,9	44,8	3,7	10,3
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,7	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	218,0	173,0	45,8	502,1	129,7	59,5
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	0,9	< 0,5	< 0,5	3,4	1,3	148,0
Mn	4,8	4,0	1,5	13,2	3,2	67,1
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	1,7	2,1	< 1,1	6,4	2,0	119,3
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,4	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,3	1,7	< 1,1	2,9	1,1	86,1
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	3,2	4,1	< 2,9	5,9	-	68,2

Tabela 9: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	33,9	26,4	< 2,1	96,0	24,5	72,2
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	29,0	29,9	15,9	41,5	5,4	18,8
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	1,7	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	3,2	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,4	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	10,4	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	293,6	189,0	39,9	1003,1	246,6	84,0
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	1,2	< 0,5	< 0,5	16,9	3,1	251,8
Mn	3,9	2,7	< 1,1	16,9	3,4	86,5
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	2,1	2,2	< 1,1	12,2	2,7	125,6
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,6	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,2	1,5	< 1,1	3,8	1,1	98,8
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	7,4	6,5	< 2,9	29,9	5,6	76,4

Os valores dos metais dissolvidos em água para o rio Guandu e rio Doce não diferiram tanto quanto para os metais totais ou MPS. Conclui-se que as águas do Rio Guandu se apresentaram levemente mais ricas em Al e Mn e um pouco mais pobres em Fe, que as do Doce. Estes dados mostram que a maior diferença entre os rios se dá pelo material em suspensão, MPS, que no Guandu acumulou muito mais metais.

Visando fazer uma avaliação do impacto do rompimento no rio Doce, foram tomados alguns resultados de metais tanto na água como em sedimentos e foram comparados com dados disponibilizados pelo IEMA, conforme é apresentado na Tabela 10 abaixo.

Os dados do IEMA do Rio Doce analisados (09/11/2015 a 17/11/2015) podem não ser totalmente representativos pois podem conter metais de barragens que foram abertas após o acidente (05/11/2015), mas antes da pluma contendo a lama de Fundão ter chegado ao Espírito Santo (18/11/2015). Os valores pretéritos ao acidente podem, portanto, estarem elevados em relação à normalidade do rio.

Considerando estes dados e o do PMBA deste relatório, não foram detectadas razões de concentração maiores que 1, com exceção do bário. Portanto, pelos dados do IEMA disponíveis não foi possível afirmar que hoje há um impacto das águas do Rio Doce no ano de 2019, monitorado pelo PMBA. Considerando dados de trabalhos de Carvalho *et al.* (2018) e de Segura *et al.* (2016) observa-se que temos um teor de ferro dissolvido (294 ppb) intermediário entre os valores pós acidente (1166 e 1437 ppb) e antes do acidente (61 ppb) para a água, indicando recuperação do Rio Doce, como esperado.

Tabela 10: Comparação entre resultados de metais em água para o Rio Doce do IEMA, PMBA, Segura *et al.* E de Carvalho *et al.*

Comparação entre resultados IEMA e PMBA- Rio Doce para água							Segura et al.		de Carvalho et al
Elementos	IEMA µg L ⁻¹	Forma	PMBA (Metal Total) µg L ⁻¹	Razão (Metal total) [PMBA]/[IEMA]	PMBA (Metal Dissolvido) µg L ⁻¹	Razão (Metal Dissolvido) [PMBA]/[IEMA]	Antes do acidente (Metal dissolvido) µg L ⁻¹	Depois do acidente (Metal dissolvido) µg L ⁻¹	Depois do acidente (Metal dissolvido) µg L ⁻¹
Al	90,5	dissolvido	375		33,9	0,4	nd	nd	nd
Ba	24,31	total	38,2	1,6	29		nd	nd	nd
Ce			4,7		0,6		nd	nd	nd
Fe	96,6	dissolvido	1991		294	3,0	61	1166	1437
Mn	38,2	total	36,1	0,9	3,9		nd	nd	nd
Cr	16,1	total	3	0,2	1,1		0,09	0,26	2,7
Cu	3,2	dissolvido	12,5		2,5	0,8	<LD	<LD	4,4
V	5,1	total	4,6	0,9	1,2		nd	nd	nd
Zn	46,6	total	14,2	0,3	7,4		19	6,6	10,2
Pb	6,13	total	1,8	0,3	1,8		<LD	<LD	0,5
Ni			6,3		2,1		0,3	0,59	2,3

Fontes: Segura *et al.* (2016), De Carvalho *et al.* (2018)

3.1.2 Orgânicos em água

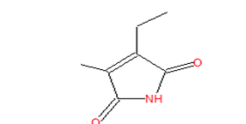
3.1.2.1 Éter-aminas e aminas

As 139 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), conforme descrito na Metodologia.

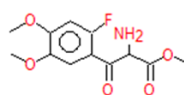
Não foram encontrados nas amostras os analitos previstos mas, no entanto, foram encontradas outras aminas que, por falta do padrão ou de conhecimento da sensibilidade relativa para estes compostos, não foi possível uma análise quantitativa.

A Figura 16 apresenta as estruturas de algumas das aminas encontradas nas amostras pela análise dos fragmentos juntamente com a biblioteca do software.

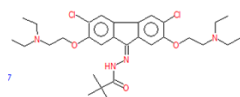
Figura 16: Estruturas de algumas aminas encontradas nas amostras analisadas de diferentes estações de coleta.



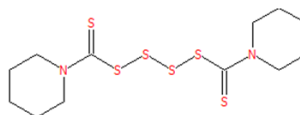
Ethylmethylmaleimide



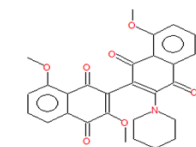
Methyl 2-amino-3-(2-fluoro-4,5-dimethoxyphenyl)-3-oxopropanoate



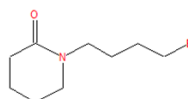
9-(2',2'-Dimethylpropanoilhydrazone)-3,6-dichloro-2,7-bis-[2-(diethylamino)-ethoxy]fluorene



Dipentamethylenethiuram hexasulfide



3',8,8'-Trimethoxy-3-piperidyl-2,2'-binaphthalene-1,1',4,4'-tetrone



N-[4-bromo-n-butyl]-2-piperidinone

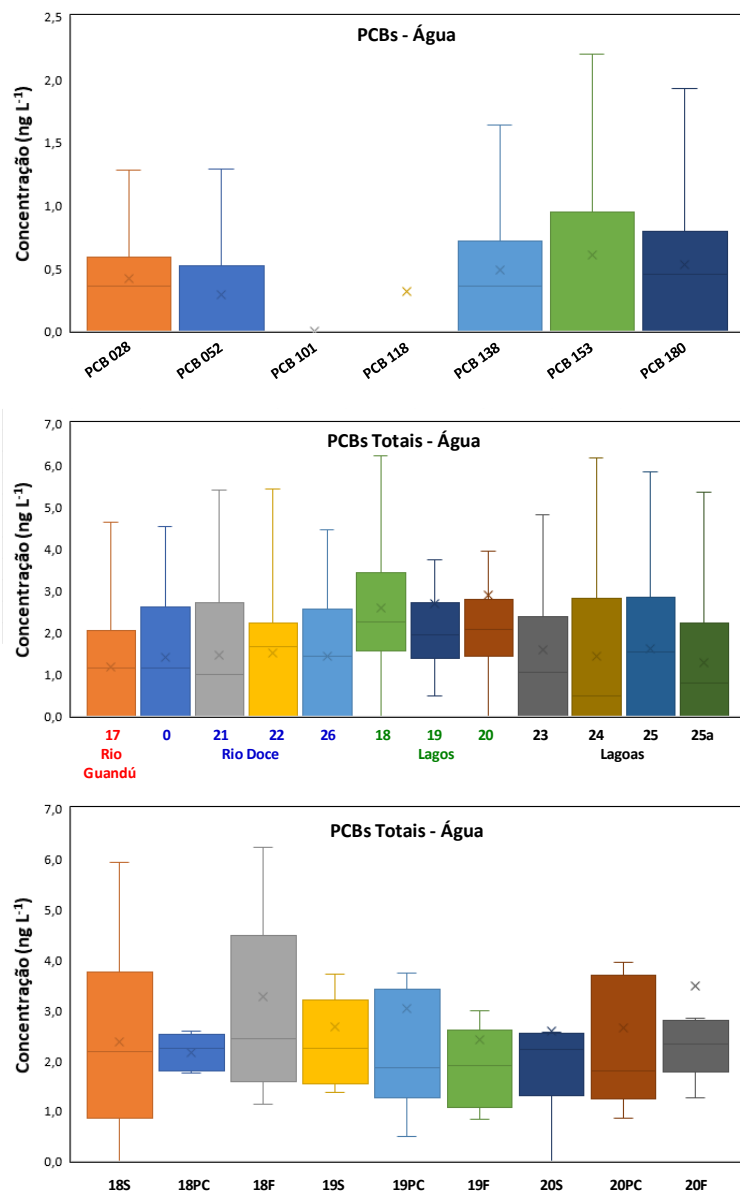
Estudos devem ser feitos buscando informações sobre a existência de outras aminas de interesse que pudessem ser associadas ao desastre de Mariana, bem como a busca de produtos de degradação das aminas, já que estas são facilmente degradadas.

3.1.2.2 Bifenilos policlorados – PCBs

As 209 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de captura de elétrons (CG-ECD), conforme descrito na Metodologia.

Todos os PCBs apresentaram grande variabilidade de concentrações com exceção do PCB 101, como mostra a Figura 17.

Figura 17: Variabilidade das concentrações de diferentes PCBs nas 209 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.

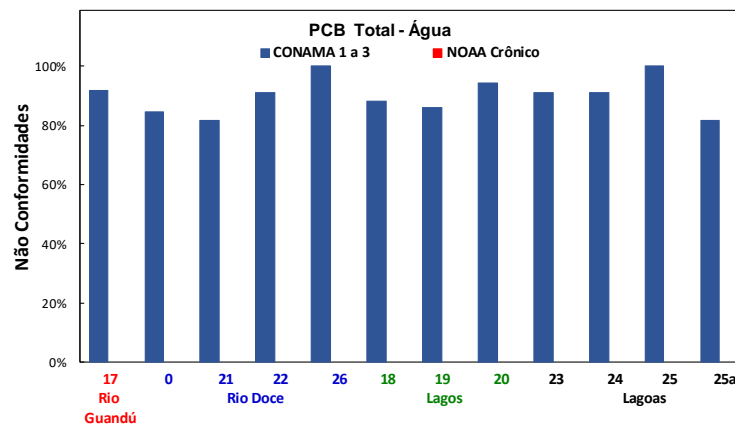


Para verificar o comportamento das concentrações dos PCBs nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de PCBs, apresentada também na Figura 17, mostrando que os lagos (Estações 18, 19 e 20) têm as maiores concentrações destas

espécies em relação aos demais sistemas, não sendo evidenciada uma diferença significativa entre as diferentes profundidades.

Segundo os limites estabelecidos na Resolução 357 do CONAMA, de 1 ng L^{-1} para as Classes 1 a 3, 124 amostras apresentaram não conformidades, um total de 87,3 % das amostras, mostrando-se altamente preocupante, já que são compostos de grande toxicidade e impactante à saúde humana. A Figura 18 apresenta a distribuição dessa não conformidade entre as estações amostrais analisadas. Os PCBs são usados em fluidos dielétricos em transformadores e condensadores; em óleos de corte, lubrificantes hidráulicos; tintas; adesivos; entre outros, portanto têm origem em atividades industriais, não estando relacionadas diretamente com o rompimento da barragem de Fundão. Os resultados individuais para cada PCB, bem como a soma das concentrações estão apresentados nas Tabelas 11 e 12. Estes mostram teores similares de PCBs no Rio Guandú e Rio Doce, sendo levemente superior no Doce. É de fundamental importância que se investigue com mais profundidade estes resultados, uma vez que são relevantes para a população.

Figura 18: Percentual de não conformidades para PCB total, conforme Resolução 357/05 CONAM (1 ng L^{-1}) e valor crônico estabelecido pela NOAA (14 ng L^{-1}).



Os resultados individuais para cada PCB, bem como a soma das concentrações estão apresentados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11: Resultados obtidos para PCBs na água para as oito amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
PCB 028	0,31	0,27	< 0,21	0,83	0,25	82,3
PCB 052	0,44	0,45	< 0,21	1,07	0,43	97,9
PCB 101	< 0,21	< 0,21	< 0,21	< 0,21	-	-
PCB 118	< 0,21	< 0,21	< 0,21	1,15	0,33	-
PCB 138	0,23	0,23	< 0,21	0,66	0,24	102,9
PCB 153	0,53	< 0,21	< 0,21	2,93	0,94	176,2
PCB 180	0,34	0,25	< 0,21	1,21	0,39	115,5
TOTAL	1,94	1,49	0,91	4,64	1,07	54,9

Tabela 12: Resultados obtidos para PCBs na água para as 31 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

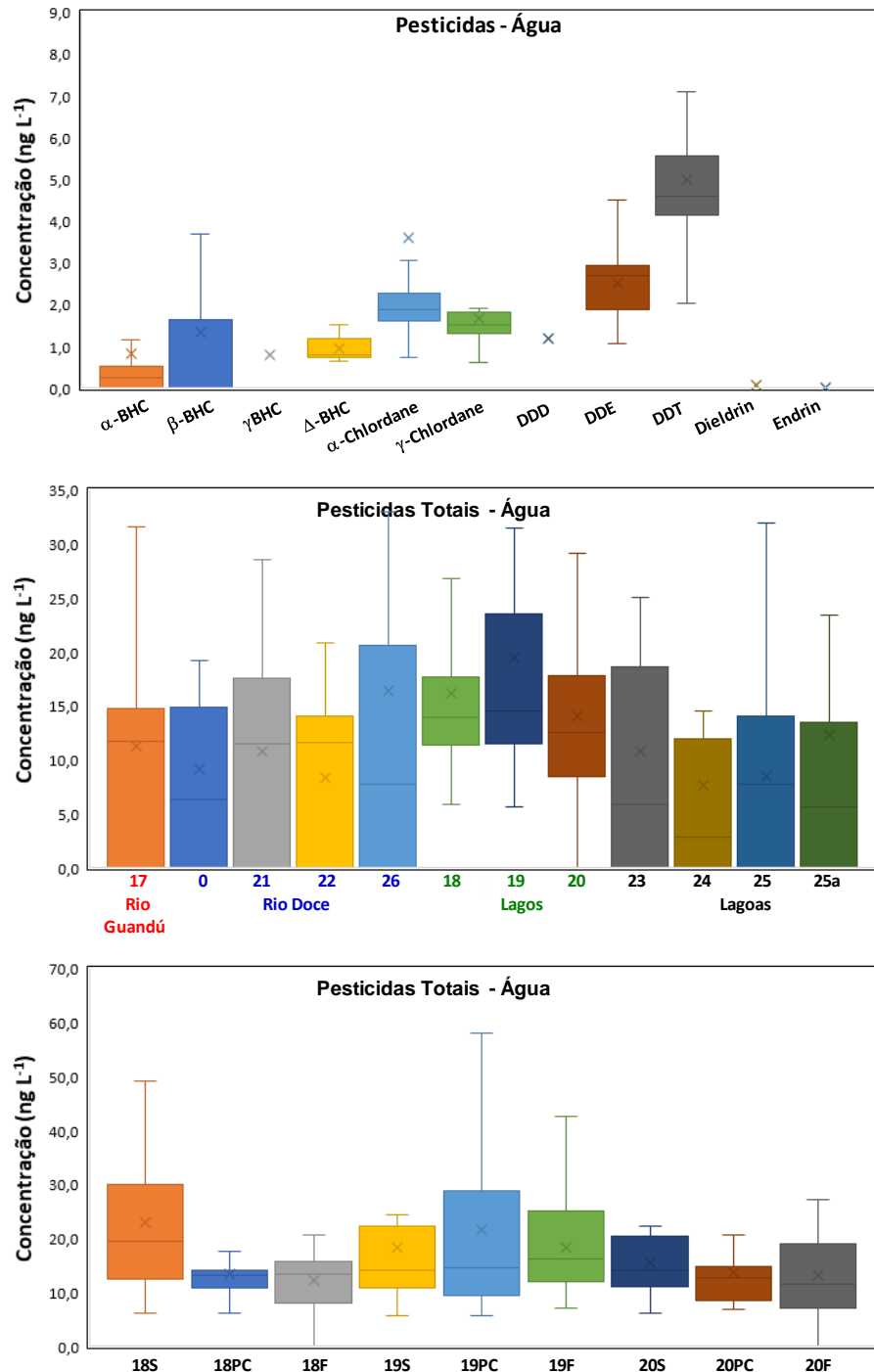
Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
PCB 028	0,39	0,31	< 0,21	1,73	0,40	102,5
PCB 052	0,22	< 0,21	< 0,21	1,13	0,34	152,7
PCB 101	< 0,21	< 0,21	< 0,21	< 0,21	-	-
PCB 118	0,27	< 0,21	< 0,21	5,21	0,82	303,1
PCB 138	0,53	0,38	< 0,21	2,27	0,53	101,5
PCB 153	0,48	< 0,21	< 0,21	2,84	0,80	165,9
PCB 180	0,54	0,57	< 0,21	2,11	0,49	89,1
TOTAL	2,43	2,13	< 0,21	7,75	1,44	59,2

3.1.2.3 Pesticidas

As 209 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à um detector de captura de elétrons (CG-ECD), conforme descrito na Metodologia.

Todos os pesticidas apresentaram grande variabilidade de concentrações como mostra a Figura 19. Contudo, o α -chlordano, o DDD e o DDT apresentam valores de até 85 ng L⁻¹ dependendo da estação.

Figura 19: (a) Variabilidade das concentrações de diferentes pesticidas nas 209 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta. (b) variabilidade das concentrações agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas). (c) Variabilidade da concentração agrupadas por profundidade.



Os resultados mostram que o pesticida DDT foi o encontrado em maior teor nas amostras analisadas, entretanto a distribuição total de pesticidas é bastante uniforme nas águas dos diferentes ambientes analisados, com maiores teores para os lagos.

Dados da Figura 19, mostram que os lagos (Estações 18, 19 e 20) têm as concentrações ligeiramente maiores destas espécies em relação aos demais sistemas, não sendo evidenciada uma diferença significativa entre as diferentes profundidades. Os lagos são mais profundos e podem acumular mais estes contaminantes ao longo dos anos do que as lagoas.

As Figuras 20 a 23 que se seguem apresentam informações complementares sobre os principais pesticidas. São apresentados dados limites NOAA crônico, em linha pontilhada, quando disponível. Os dados para DDD (Figura 20) mostram valores bem abaixo do NOAA crônico e CONAMA, apresentando baixos índices de não conformidade em lagos e lagoas apenas para NOAA.

Dados da Figura 21 já apresentam resultados bem ruins para DDT, sendo que praticamente todas as águas analisadas estão acima do limite NOAA crônico, com elevado índice de não conformidade, o que sugere grande contaminação devido às atividades agrícolas da bacia. Trata-se de um dado que precisa ser aprofundado para ações de remediação. Resultados ainda mais preocupantes são apresentados na Figura 22, com informações sobre a soma de DDD, DDE e DDT, ficando todas as estações bem acima do limite NOAA crônico, mas em conformidade com os limites CONAMA, classes 1 a 3. Ações de prevenção e monitoramento devem ser implementadas para evitar que sejam atingidos os limites CONAMA para as estações estudadas.

Figura 20: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida DDD em diferentes estações.

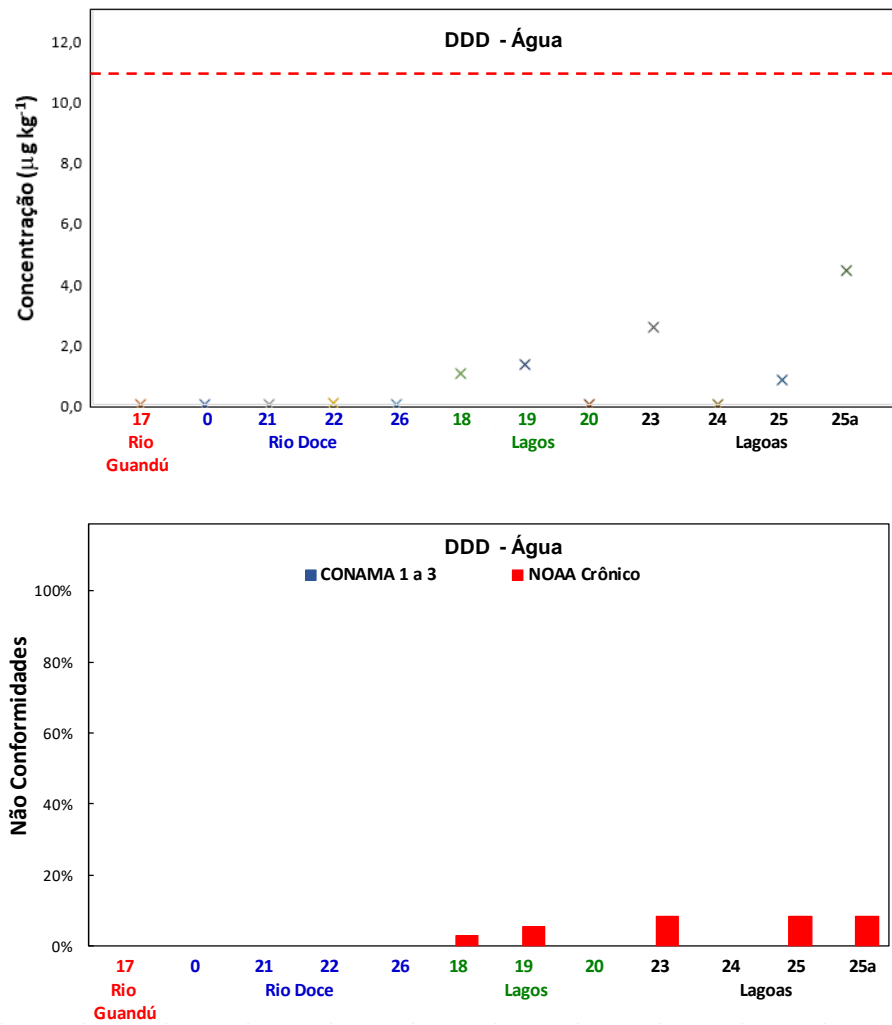


Figura 21: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida DDT em diferentes estações.

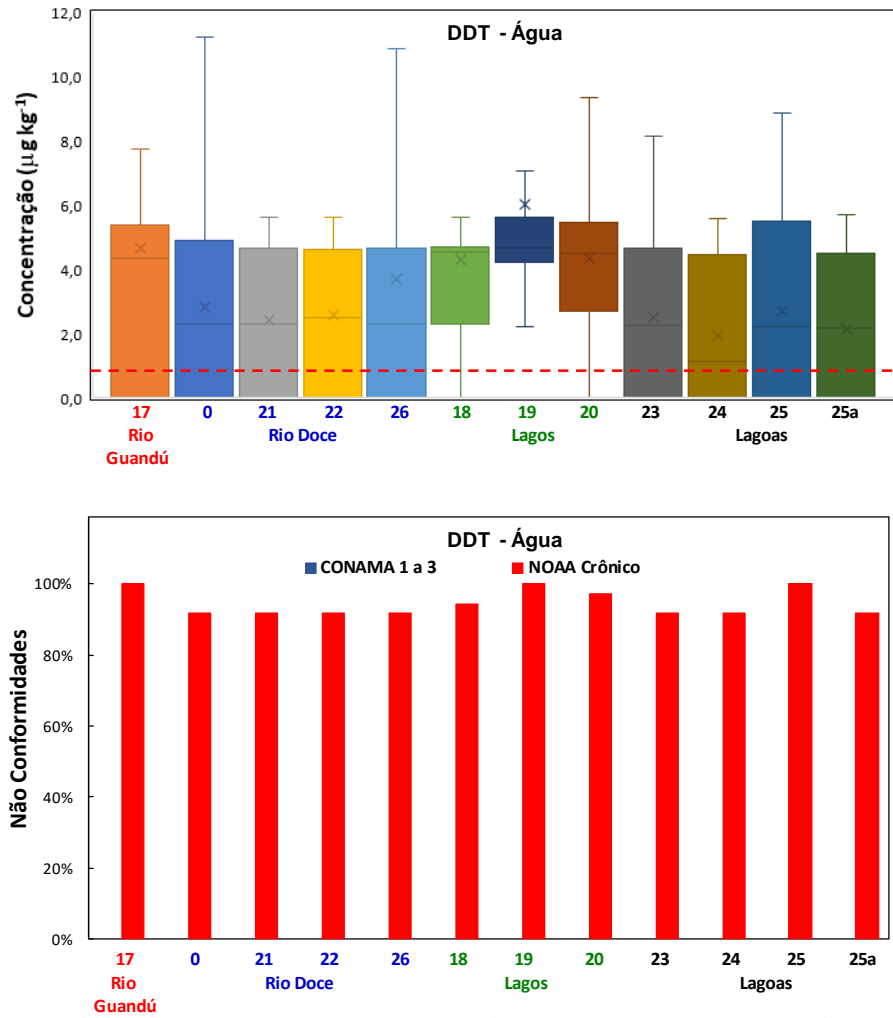


Figura 22: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida DDD+DDE+DDT em diferentes estações.

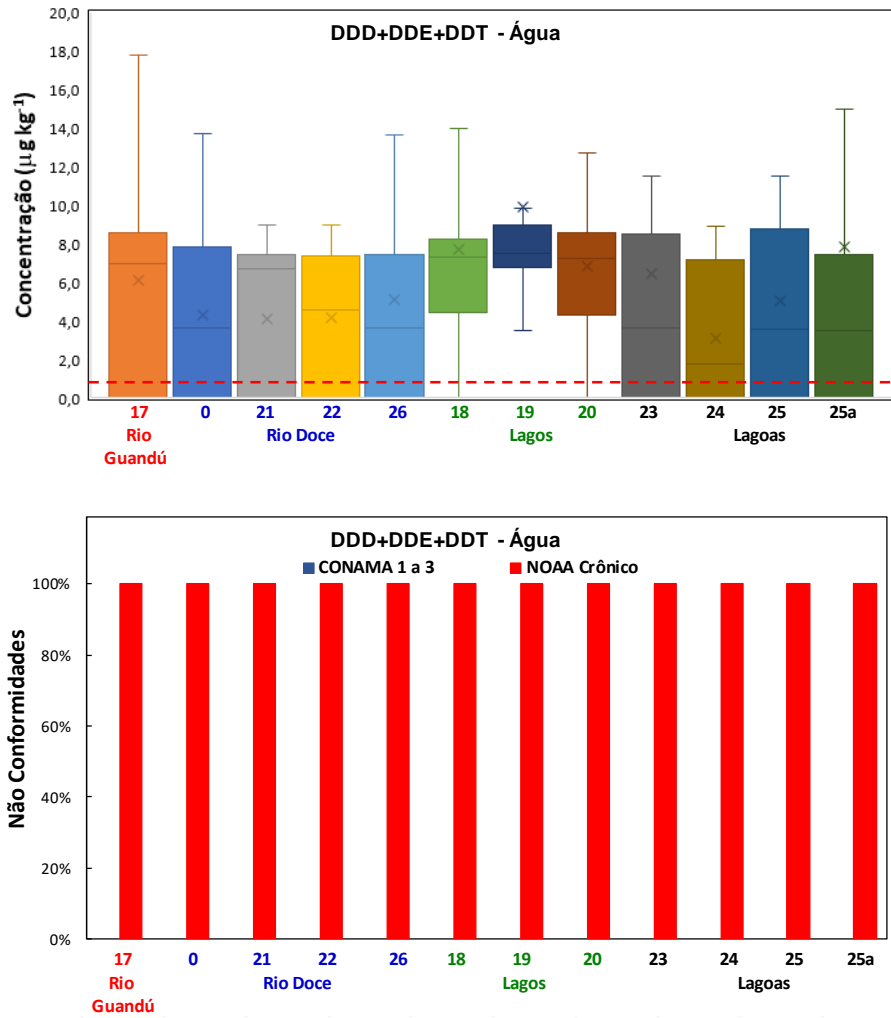
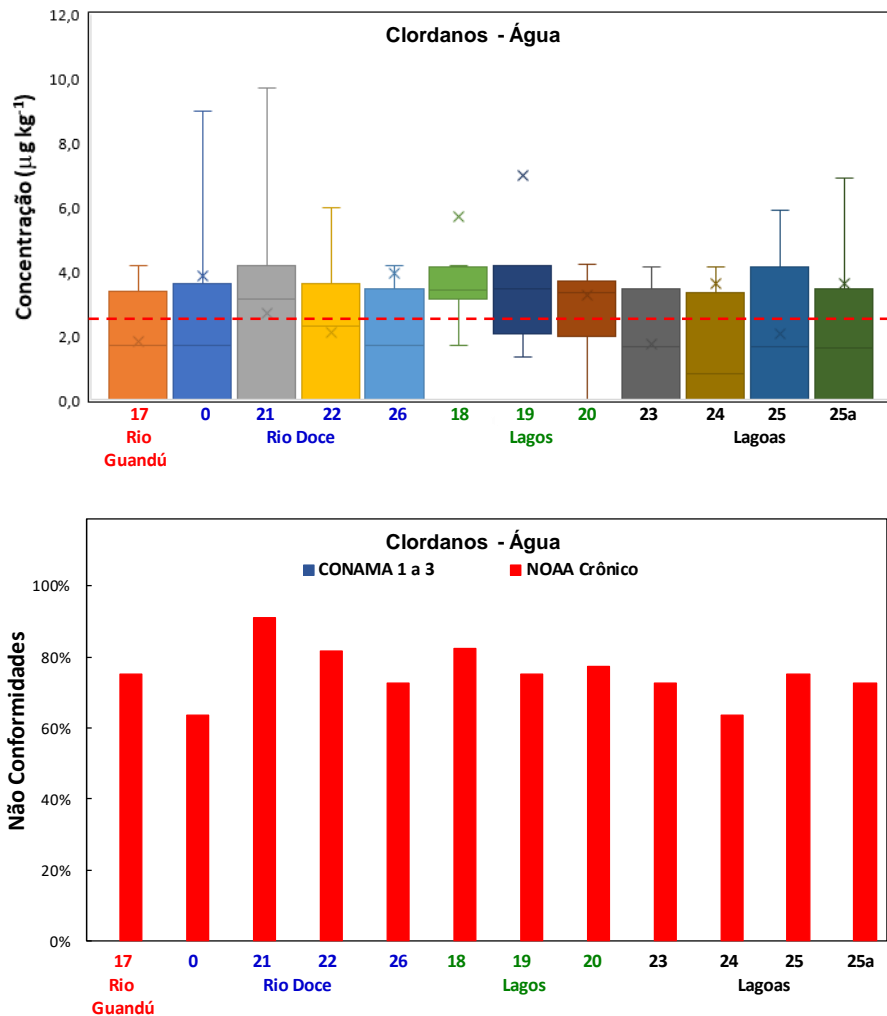


Figura 23: Concentração e Índice de não conformidade para o pesticida clordanos em diferentes estações.



Os dados referentes ao pesticida clordanos (Figura 23), apresentam não conformidades acima de 60% para todos os pontos amostrados, considerando-se o limite NOAA crônico, com valores mais elevados para os lagoas.

Dados numéricos que apresentam os limites e os valores percentuais de não conformidades referentes aos pesticidas para os rios Guandu e Doce são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Limites do CONAMA Classe 3 e NOAA crônico, bem como os índices de não conformidade em todas as amostras de água analisadas para o parâmetro pesticida.

Pesticida	CONAMA Classe 3		NOAA Crônico	
	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades
	(ng L^{-1})	(%)	(ng L^{-1})	(%)
α -BHC	-	-	220	0,0
β -BHC	-	-	220	0,0
γ -BHC	2000	0,0	80	0,0

Pesticida	CONAMA Classe 3		NOAA Crônico	
	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades
	(ng L ⁻¹)	(%)	(ng L ⁻¹)	(%)
δ-BHC	-	-	220	0,0
α-Chlordane	-	-	-	-
γ-Chlordane	-	-	-	-
4,4'DDD	-	-	11	2,9
4,4'DDE	-	-	105000	0,0
4,4'DDT	-	-	0,5	99,5
Dieldrin	-	-	56	0,0
Endrin	200	0,0	36	0,0
Aldrin + Dieldrin	30	0,0	-	-
Clordanos	300	0,0	2,2	76,6
DDD+DDE+DDT	1000	0,0	0,5	100,0

Os resultados individuais para cada pesticida, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
α-BHC	3,82	0,28	< 0,17	39,15	11,18	292,7
β-BHC	0,81	< 0,37	< 0,37	6,49	1,87	231,0
γ-BHC	< 0,28	< 0,28	< 0,28	0,85	-	-
δ-BHC	0,74	0,71	0,32	1,45	0,30	40,8
α-Clordano	1,68	1,83	0,91	2,31	0,49	29,3
γ-Clordano	1,37	1,49	0,74	1,89	0,40	29,3
DDD	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
DDE	2,45	2,68	1,33	3,38	0,72	29,3
DDT	7,77	4,67	2,28	28,35	7,39	95,2
Dieldrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	< 0,28	-	-
Endrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	< 0,28	-	-
Clordanos	3,05	3,32	1,65	4,20	0,89	29,3
DDD+DDE+DDT	10,22	7,47	3,64	29,68	6,98	68,3
TOTAL	18,72	13,73	11,24	44,80	10,65	56,9

Tabela 15: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

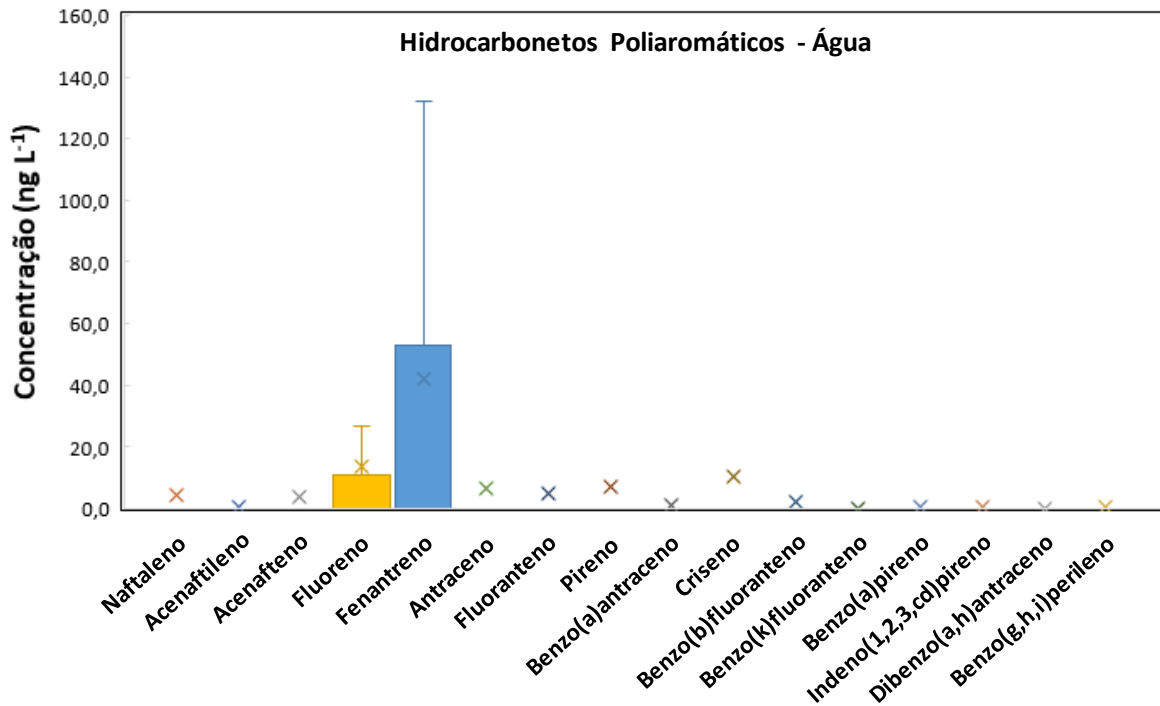
Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
α-BHC	1,19	0,27	< 0,17	33,55	4,96	418,0
β-BHC	1,35	0,46	< 0,37	18,28	2,94	218,1
γ-BHC	1,99	< 0,28	< 0,28	65,86	9,76	490,2
δ-BHC	0,76	0,66	0,29	4,89	0,72	95,1
α-Clordano	3,63	1,85	0,84	42,64	7,66	211,1
γ-Clordano	1,46	1,52	0,69	4,20	0,59	40,1
DDD	1,07	< 0,2	< 0,2	39,21	5,77	540,6
DDE	2,47	2,69	1,23	3,38	0,76	30,6
DDT	4,88	4,53	2,06	24,12	3,47	71,1
Dieldrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	2,62	0,39	-
Endrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	< 0,28	-	-
Clordanos	5,09	3,41	1,53	44,10	7,76	152,5
DDD+DDE+DDT	8,42	7,34	3,30	46,65	6,90	82,0
TOTAL	18,86	13,72	5,57	123,36	18,94	100,4

3.1.2.4 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

As 208 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), conforme descrito na Metodologia.

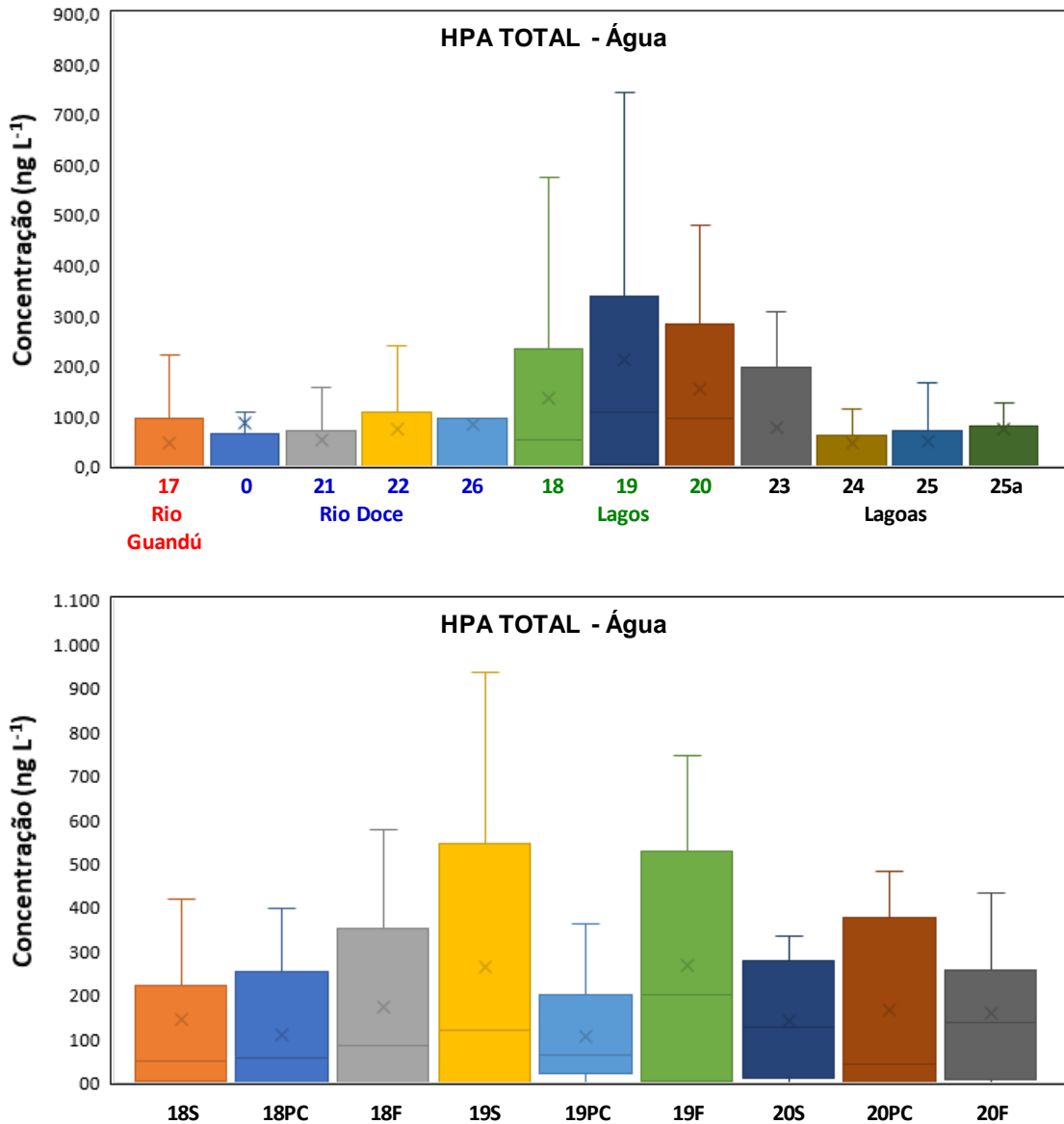
As concentrações do fenantreno, antraceno e pireno apresentaram as maiores variabilidades, como mostra a Figura 24. No entanto, não foi evidenciada a presença de nenhuma amostra que fosse considerada não conforme segundo os limites estabelecidos na Resolução 357/2005 do CONAMA, de 50 ng L⁻¹ para alguns analitos para as Classes 1 e 2 e de 700 ng L⁻¹ para o benzo(a)pireno para a Classe 3.

Figura 24: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos poliaromáticos nas 208 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.



Para verificar o comportamento das concentrações dos hidrocarbonetos poliaromáticos nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de hidrocarbonetos poliaromáticos, apresentada na Figura 25, mostrando que os lagos (Estações 18, 19 e 20) têm as maiores concentrações destas espécies em relação aos demais sistemas, não sendo evidenciada uma diferença significativa entre as diferentes profundidades.

Figura 25: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos poliaromáticos nas 208 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).



Novamente os lagos se mostraram mais contaminados em HPAs dissolvidos na água que as lagoas e rios. Para os sedimentos, os lagos apresentaram menores teores de HPAs que os demais ambientes, conforme é apresentado na seção que discute os sedimentos.

Figura 26: Concentrações e índice de não conformidade referentes ao poliaromático fluoranteno, em diferentes estações de amostragem para água.

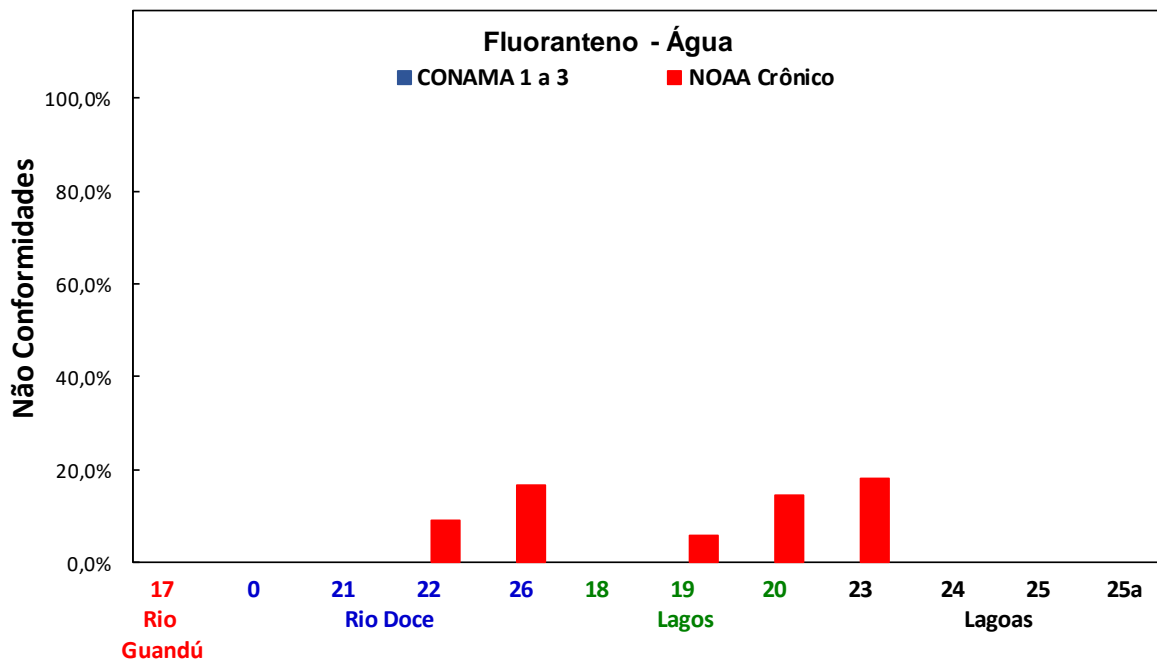
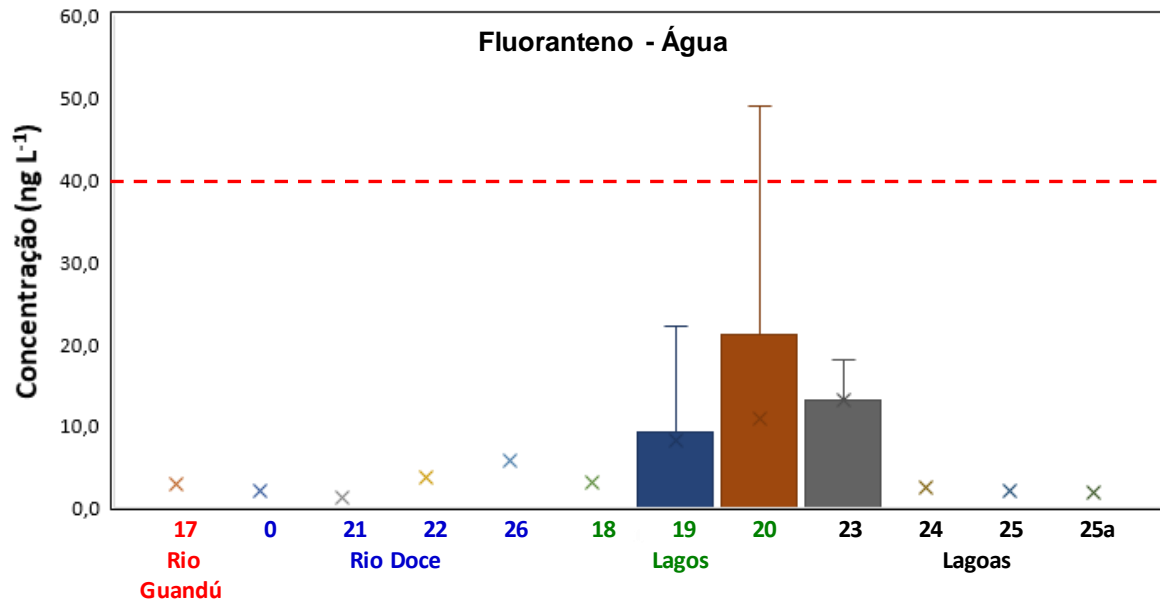


Figura 27: Concentrações e índice de não conformidade referentes ao poliaromático pireno em diferentes estações de amostragem para água.

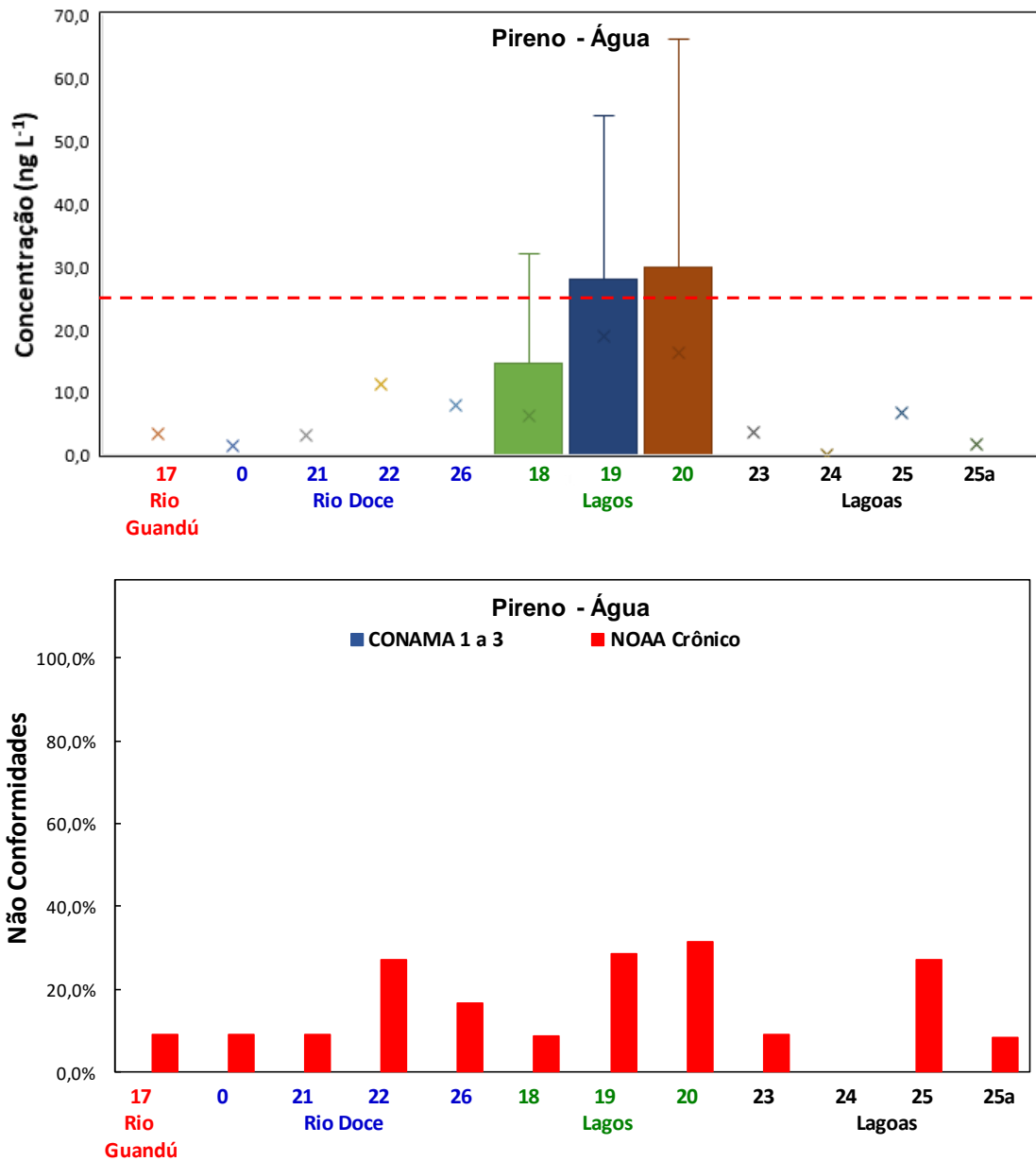
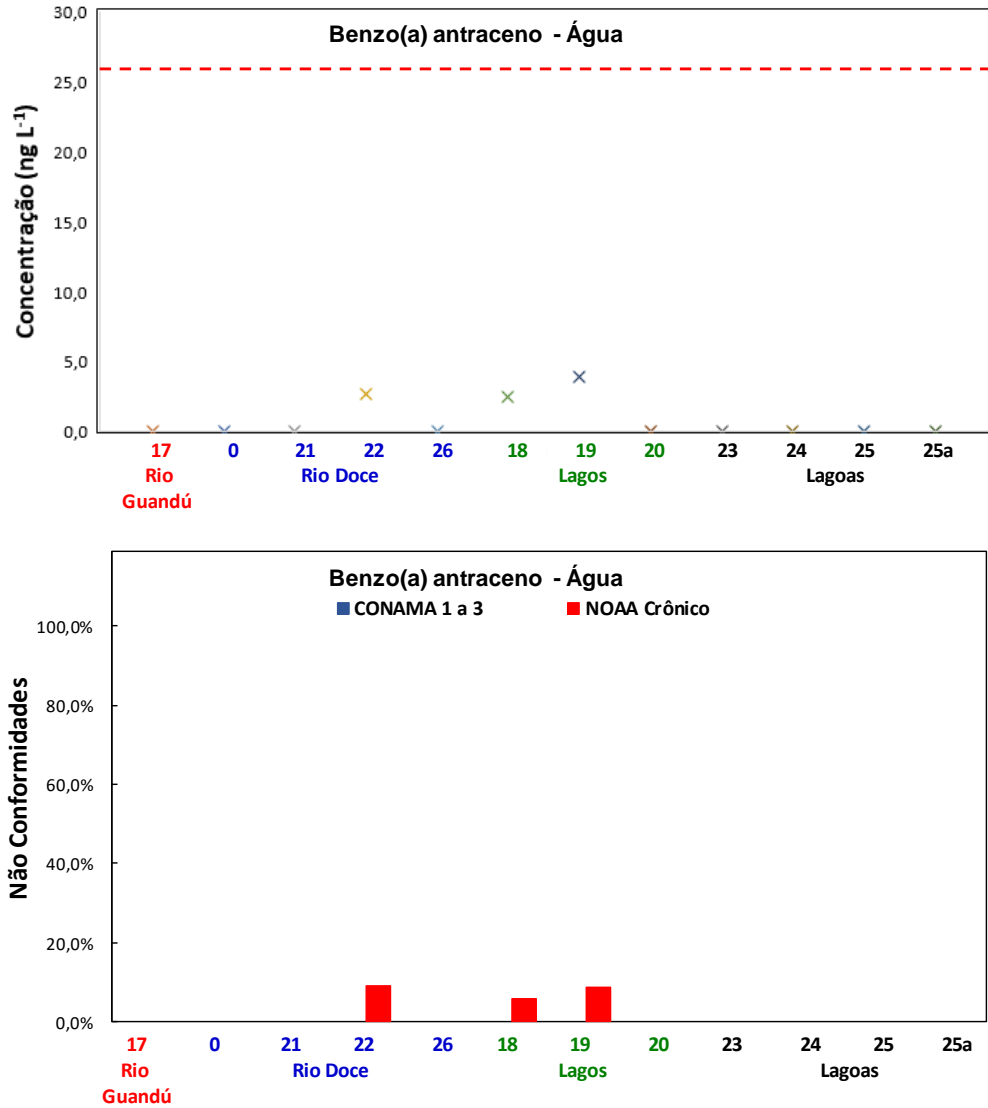


Figura 28: Concentrações e índice de não conformidade referentes ao poliaromático benzoantraceno em diferentes estações de amostragem para água.



Os resultados das Figuras 26 e 28 mostram que os poliaromáticos estão relativamente baixos, nas águas dos pontos amostrados, com exceção dos lagos que apresentam o pireno levemente superior ao limite NOAA crônico.

A Tabela 16 apresenta um consolidado de todos os HPA's com valores limites por CONAMA e NOAA.

Tabela 16: Limites CONAMA classe 3 e NOAA crônico, bem como índices de não conformidade para todas as amostras analisadas para os poliaromáticos.

Hidrocarboneto Poliaromático	CONAMA Classe 3		NOAA Crônico	
	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades
	(ng L ⁻¹)	(%)	(ng L ⁻¹)	(%)
Naftaleno	-	-	1100	0,0
Acenaftileno	-	-	4840	0,0

Hidrocarboneto Poliaromático	CONAMA Classe 3		NOAA Crônico	
	Limite	Não Conformidades	Limite	Não Conformidades
	(ng L ⁻¹)	(%)	(ng L ⁻¹)	(%)
Acenafteno	-	-	5800	0,0
Fluoreno	-	-	3900	0,0
Fluoranteno	-	-	40	5,8
Pireno	-	-	25	17,8
Benzo(a) antraceno	-	-	27	2,9
Criseno	-	-	-	-
Benzo(b) fluoranteno	-	-	90700	0,0
Benzo(a) pireno	700	0,0	-	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	-	-	4310	0,0
Dibenzo (a,h) antraceno	-	-	-	0,0

Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 11 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
Naftaleno	4,72	< 1,7	< 1,7	26,50	10,04	212,8
Acenaftileno	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	-	-
Acenafteno	1,1	< 0,8	< 0,8	10,6	3,4	316,2
Fluoreno	6,9	2,6	< 1,6	24,2	8,7	127,2
Fenantreno	24,1	23,6	< 2,3	56,8	17,0	70,6
Antraceno	7,1	< 1,5	< 1,5	46,9	15,9	223,4
Fluoranteno	5,6	< 2,5	< 2,5	23,1	9,6	170,2
Pireno	6,5	< 2,3	< 2,3	26,2	10,8	166,3
Benzo(a) antraceno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	-
Criseno	10,1	< 1,3	< 1,3	53,0	21,4	211,1
Benzo(b) fluoranteno	< 2,4	< 2,4	< 2,4	23,9	7,5	-
Benzo(k) fluoranteno	< 2,3	< 2,3	< 2,3	< 2,3	-	-
Benzo(a) pireno	< 2,4	< 2,4	< 2,4	< 2,4	-	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Dibenzo (a,h) antraceno	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Benzo (g,h,i) perileno	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
TOTAL	78,5	77,1	< 1	137,5	44,9	57,2

Tabela 18: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 48 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

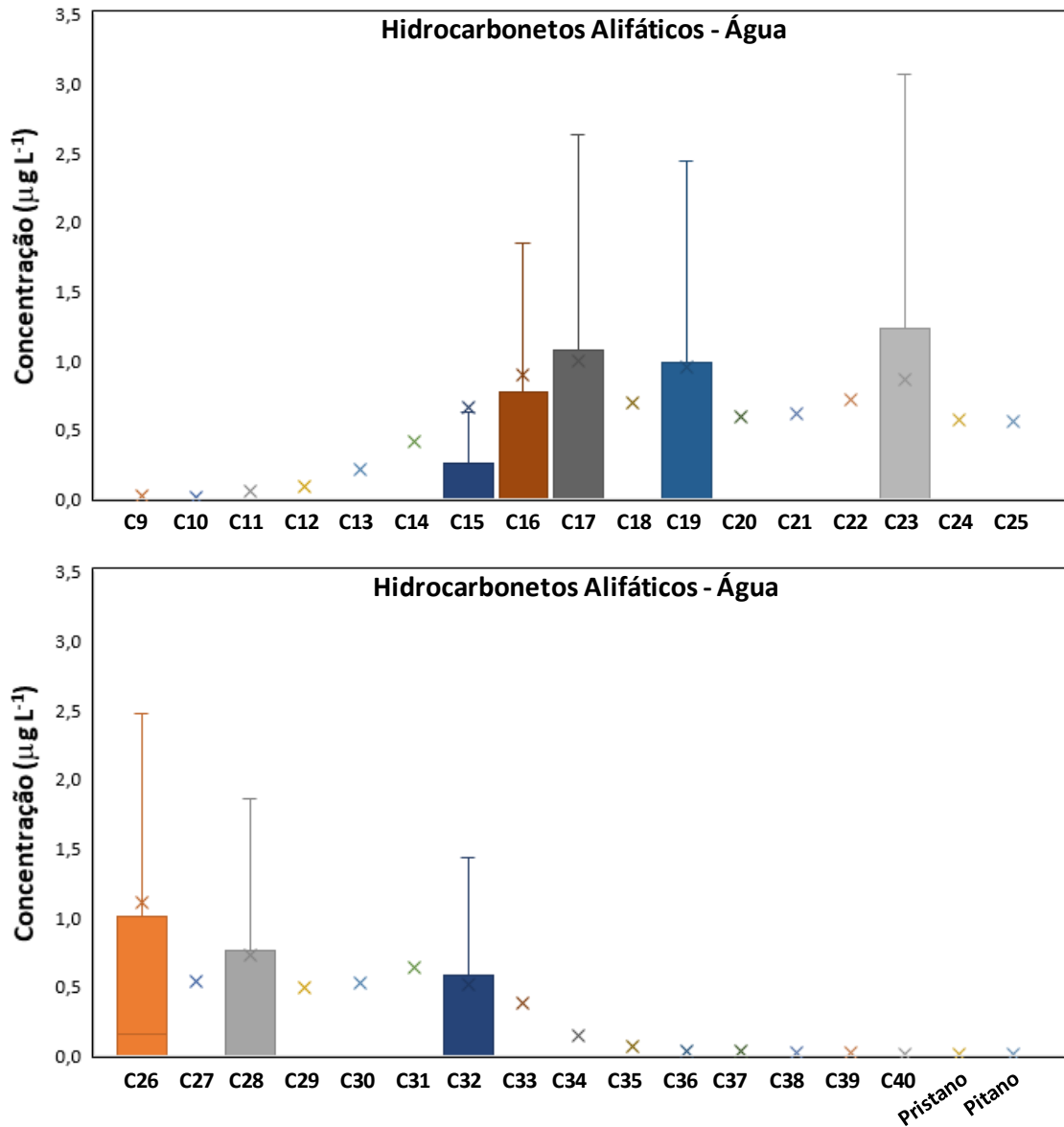
Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
Naftaleno	4,22	< 1,7	< 1,7	38,19	9,44	223,9
Acenaftileno	< 1,3	< 1,3	< 1,3	30,7	4,9	-
Acenafteno	7,6	< 0,8	< 0,8	75,9	18,4	242,8
Fluoreno	23,5	< 1,6	< 1,6	274,7	49,5	210,6
Fenantreno	51,3	31,1	< 2,3	198,5	60,5	117,9
Antraceno	7,0	< 1,5	< 1,5	74,6	17,3	246,3
Fluoranteno	12,1	< 2,5	< 2,5	99,4	24,4	201,3
Pireno	10,5	< 2,3	< 2,3	99,9	24,1	230,6
Benzo(a) antraceno	1,3	< 1	< 1	52,2	8,2	640,3
Criseno	12,3	< 1,3	< 1,3	127,0	30,7	248,7
Benzo(b) fluoranteno	4,6	< 2,4	< 2,4	96,6	16,8	366,4
Benzo(k) fluoranteno	< 2,3	< 2,3	< 2,3	< 2,3	-	-
Benzo(a) pireno	< 2,4	< 2,4	< 2,4	39,4	6,1	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Dibenzo (a,h) antraceno	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Benzo (g,h,i) perileno	2,5	< 2,1	< 2,1	103,6	16,2	640,3
TOTAL	154,7	64,7	< 1	714,4	171,1	110,6

3.1.2.5 Hidrocarbonetos alifáticos

As 195 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada a um detector de ionização em chama (CG-FID), conforme descrito na Metodologia.

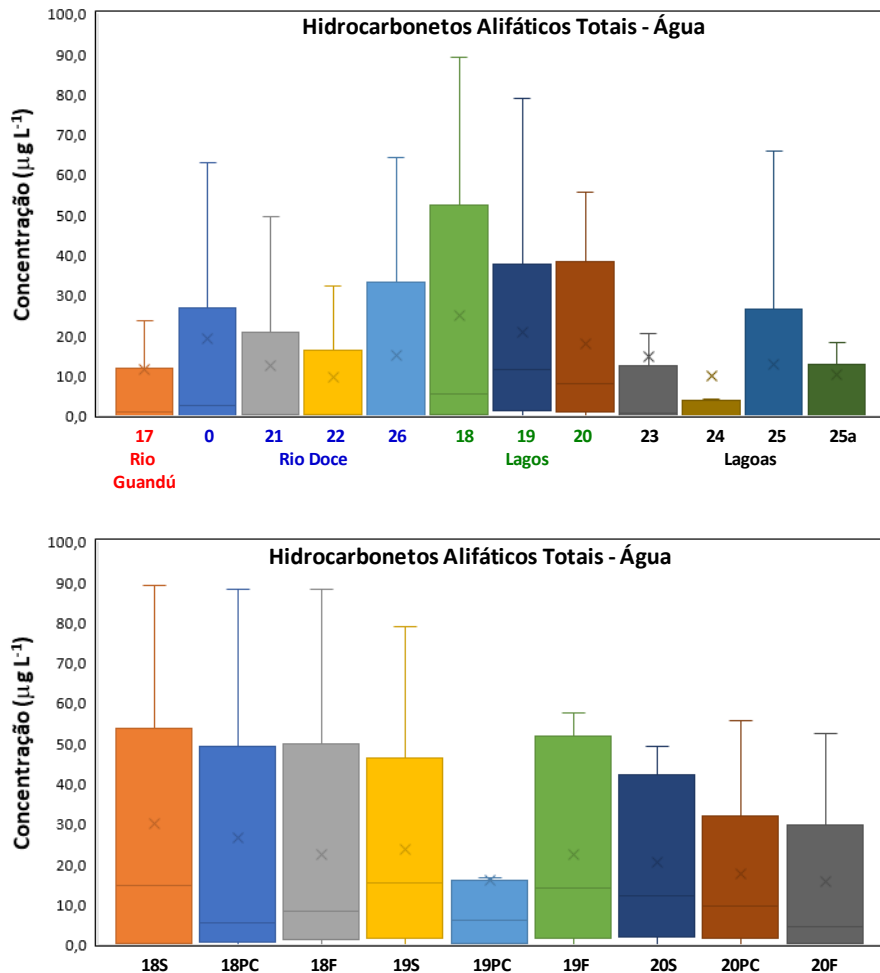
As concentrações dos hidrocarbonetos alifáticos de C15 a C33 apresentaram os maiores valores de maneira geral, como mostra a Figura 29.

Figura 29: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 195 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.



Para verificar o comportamento das concentrações dos hidrocarbonetos alifáticos nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de hidrocarbonetos alifáticos, apresentada na Figura 30, mostrando que os lagos (Estações 18, 19 e 20) têm as maiores concentrações destas espécies em relação aos demais sistemas, não sendo evidenciada uma diferença significativa entre as diferentes profundidades.

Figura 30: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 195 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).



A figura acima mostra uma maior contaminação com hidrocarbonetos alifáticos nos lagos, seguida dos rios e posteriormente das lagoas. Para análise dos sedimentos os lagos também apresentaram maiores contaminações que as lagoas, neste parâmetro, conforme será apresentado mais adiante.

Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, são apresentados nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 11 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (µg L ⁻¹)	Mediana (µg L ⁻¹)	Mínima (µg L ⁻¹)	Máxima (µg L ⁻¹)	Desvio Padrão (µg L ⁻¹)	CV (%)
C9	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	-	-
C10	< 0,23	< 0,23	< 0,23	< 0,23	-	-
C11	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	-	-
C12	< 0,23	< 0,23	< 0,23	< 0,23	-	-

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
C13	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	-	-
C14	< 1,64	< 1,64	< 1,64	2,03	-	-
C15	0,61	< 0,18	< 0,18	4,61	1,51	249,0
C16	1,05	0,36	< 0,15	5,14	1,66	157,3
C17	1,05	0,32	< 0,17	4,14	1,58	150,4
C18	< 0,95	< 0,95	< 0,95	2,84	-	-
C19	1,03	0,39	< 0,24	3,54	1,37	132,4
C20	< 0,85	< 0,85	< 0,85	1,87	-	-
C21	< 1,14	< 1,14	< 1,14	2,34	-	-
C22	< 1,36	< 1,36	< 1,36	3,09	-	-
C23	< 1,51	< 1,51	< 1,51	5,52	2,30	-
C24	< 1,56	< 1,56	< 1,56	2,68	-	-
C25	< 1,43	< 1,43	< 1,43	4,27	1,44	-
C26	1,30	0,33	< 0,19	5,39	1,85	141,9
C27	< 1,43	< 1,43	< 1,43	3,91	-	-
C28	0,93	0,36	< 0,17	4,88	1,56	166,7
C29	< 1,18	< 1,18	< 1,18	4,27	1,43	-
C30	< 1,21	< 1,21	< 1,21	3,70	1,26	-
C31	< 1,09	< 1,09	< 1,09	3,53	1,21	-
C32	< 0,98	< 0,98	< 0,98	3,00	1,03	-
C33	< 1,05	< 1,05	< 1,05	2,27	-	-
C34	< 0,92	< 0,92	< 0,92	1,27	-	-
C35	< 0,84	< 0,84	< 0,84	< 0,84	-	-
C36	< 0,86	< 0,86	< 0,86	< 0,86	-	-
C37	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	-	-
C38	< 0,82	< 0,82	< 0,82	< 0,82	-	-
C39	< 0,89	< 0,89	< 0,89	< 0,89	-	-
C40	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Pristano	< 0,89	< 0,89	< 0,89	< 0,89	-	-
Pitano	< 1,06	< 1,06	< 1,06	< 1,06	-	-
TOTAL	12,73	4,91	< 1	60,26	19,35	152,0

Tabela 20: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 46 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
C9	< 0,39	< 0,39	< 0,39	< 0,39	-	-

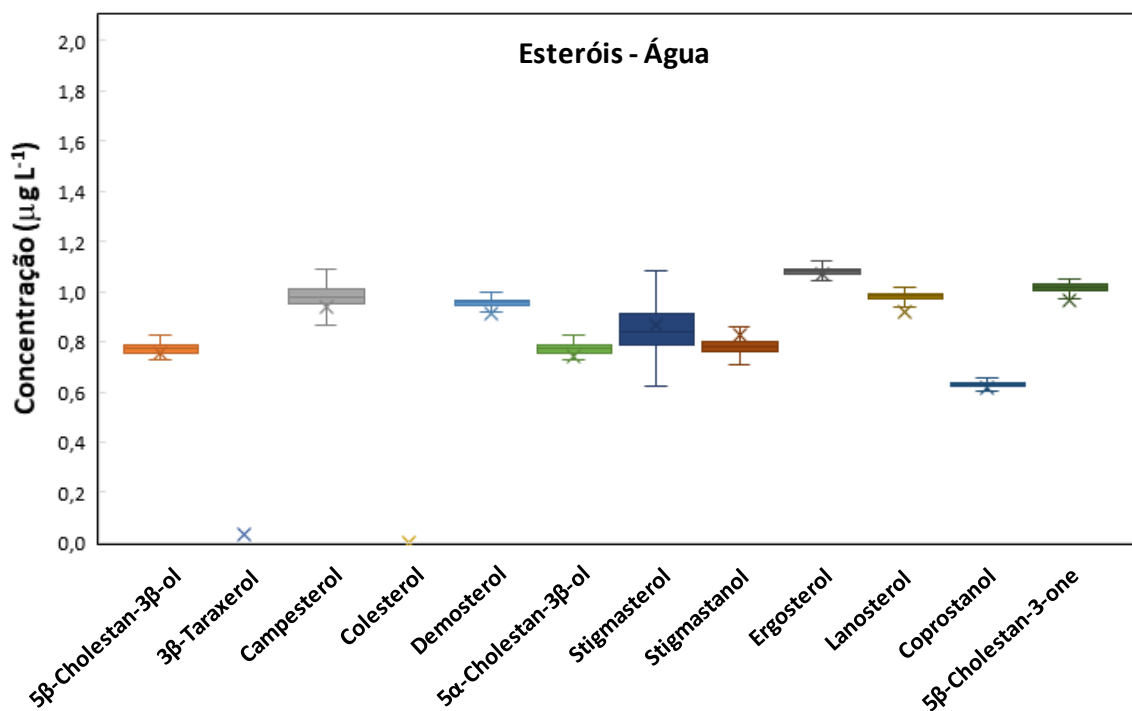
Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
C10	< 0,23	< 0,23	< 0,23	0,24	-	-
C11	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	-	-
C12	< 0,23	< 0,23	< 0,23	< 0,23	-	-
C13	< 1,25	< 1,25	< 1,25	1,57	-	-
C14	< 1,64	< 1,64	< 1,64	2,88	-	-
C15	0,58	< 0,18	< 0,18	4,09	1,04	181,0
C16	0,90	0,29	< 0,15	5,62	1,37	153,0
C17	1,11	0,36	< 0,17	7,80	1,87	168,0
C18	< 0,95	< 0,95	< 0,95	7,71	1,87	-
C19	1,03	0,63	< 0,24	5,88	1,47	141,8
C20	< 0,85	< 0,85	< 0,85	4,24	1,06	-
C21	< 1,14	< 1,14	< 1,14	5,03	1,17	-
C22	< 1,36	< 1,36	< 1,36	6,39	1,71	-
C23	< 1,51	< 1,51	< 1,51	7,27	1,80	-
C24	< 1,56	< 1,56	< 1,56	6,87	1,59	-
C25	< 1,43	< 1,43	< 1,43	7,41	1,73	-
C26	1,75	0,61	< 0,19	9,40	2,30	131,2
C27	< 1,43	< 1,43	< 1,43	5,52	1,51	-
C28	1,51	0,66	< 0,17	8,79	2,01	133,4
C29	< 1,18	< 1,18	< 1,18	7,41	1,58	-
C30	< 1,21	< 1,21	< 1,21	7,54	1,56	-
C31	1,24	1,13	< 1,09	7,38	1,58	126,8
C32	< 0,98	< 0,98	< 0,98	6,32	1,41	-
C33	< 1,05	< 1,05	< 1,05	5,53	1,42	-
C34	< 0,92	< 0,92	< 0,92	8,44	1,50	-
C35	< 0,84	< 0,84	< 0,84	2,19	-	-
C36	< 0,86	< 0,86	< 0,86	2,67	-	-
C37	< 1,07	< 1,07	< 1,07	1,91	-	-
C38	< 0,82	< 0,82	< 0,82	3,59	-	-
C39	< 0,89	< 0,89	< 0,89	4,73	-	-
C40	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,37	-	-
Pristano	< 0,89	< 0,89	< 0,89	2,46	-	-
Pitano	< 1,06	< 1,06	< 1,06	< 1,06	-	-
TOTAL	20,31	11,48	< 1	75,10	23,37	11507,7

3.1.2.6 Esteróis

As 209 amostras de água coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), conforme descrito na Metodologia.

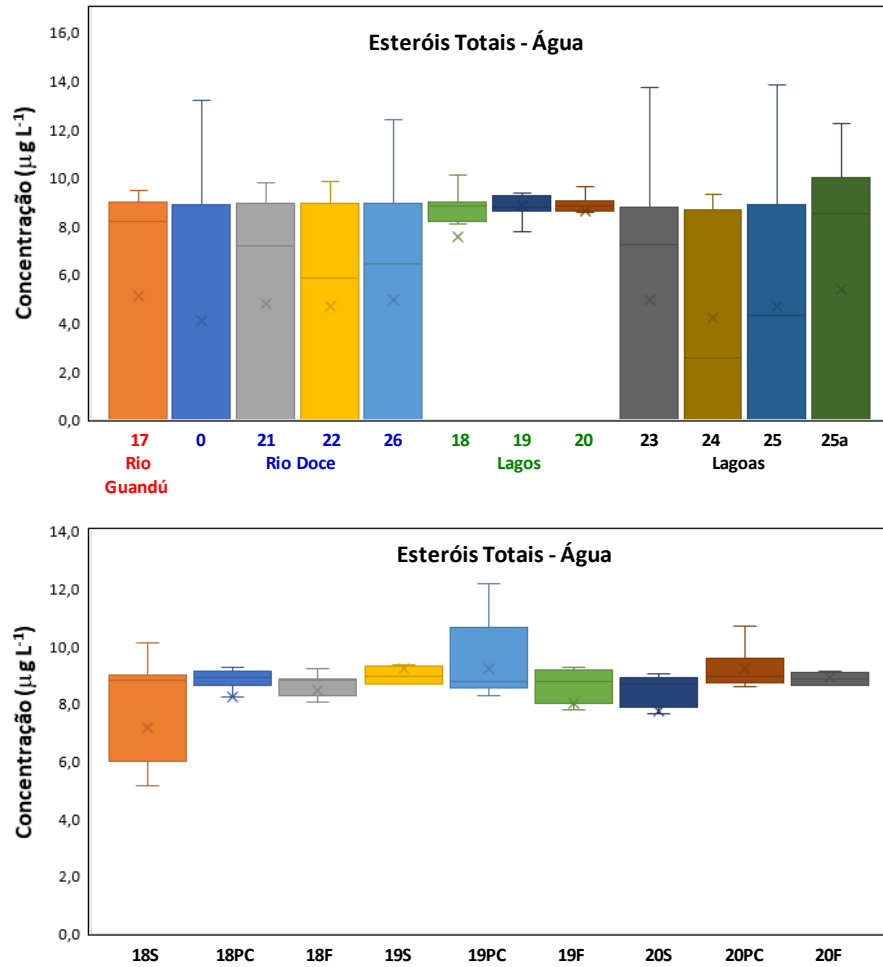
Todos os esteróis apresentaram grande variabilidade de concentrações, com valores de até 35 ng L⁻¹, como mostra a Figura 31.

Figura 31: Variabilidade das concentrações de diferentes esteróis nas 209 amostras de água analisadas das 12 estações de coleta.



Para verificar o comportamento das concentrações dos esteróis nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de esteróis, apresentada na Figura 32, mostrando que todos os sistemas possuem concentrações semelhantes, não sendo evidenciada uma diferença significativa entre as diferentes profundidades.

Figura 32: Variabilidade das concentrações de diferentes esteróis nas 139 amostras de água analisadas de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).



Pode-se observar nas figuras que os valores que apresentam menores dispersões são os dos lagos, apresentando assim as médias mais elevadas. Não se observou também variações destes teores para as diferentes profundidades. Os resultados individuais para cada esterol, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 21 e 22, para os rios Guandu e Doce, respectivamente. As tabelas mostram valores totais praticamente coincidentes para os dois rios.

Tabela 21: Resultados obtidos para esteróis na água para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17)

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	0,72	0,77	0,22	0,88	0,18	25,3
3 β -Taraxerol	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
Campesterol	0,91	0,98	< 0,19	1,27	0,34	37,1
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	0,95	0,95	0,85	1,00	-	4,4

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
5 α -Cholestan-3 β -ol	0,72	0,77	0,22	0,88	0,18	25,3
Stigmasterol	0,75	0,81	< 0,14	1,11	0,29	37,9
Stigmastanol	0,73	0,79	< 0,15	0,90	0,26	36,2
Ergosterol	1,10	1,09	0,96	1,32	-	8,2
Lanosterol	0,88	0,98	< 0,2	1,01	0,31	35,4
Coprostanol	0,63	0,63	0,51	0,76	-	10,2
5 β -Cholestan-3-one	0,99	1,02	0,70	1,09	-	11,1
TOTAL	8,37	8,88	3,91	9,45	1,64	19,6

Tabela 22: Resultados obtidos para esteróis na água para as 49 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26)

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	0,79	0,77	0,22	3,50	0,47	59,5
3 β -Taraxerol	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1,84	0,32	-
Campesterol	0,89	0,98	< 0,19	1,21	0,30	34,3
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	0,90	0,95	< 0,19	1,56	0,28	31,2
5 α -Cholestan-3 β -ol	0,73	0,77	0,22	1,01	0,18	24,9
Stigmasterol	0,89	0,84	0,33	1,99	0,29	33,1
Stigmastanol	0,85	0,78	< 0,15	3,64	0,56	66,1
Ergosterol	1,02	1,08	< 0,28	1,32	-	24,0
Lanosterol	0,95	0,98	< 0,2	2,05	0,29	31,0
Coprostanol	0,64	0,63	0,50	1,74	0,18	28,4
5 β -Cholestan-3-one	0,97	1,01	0,69	1,04	-	10,1
TOTAL	8,67	8,85	2,26	13,72	2,25	25,9

3.1.2.7 Fenóis

O derivatizante sugerido pelo protocolo enviado foi o BSTFA:TMS (99:1) para a análise de fenóis por GC-MS.

No entanto, após vários testes com os diferentes padrões de fenóis, este derivatizante não se mostrou adequado, por não proporcionar uma completa derivatização, podendo a levar à uma inexatidão das análises.

A norma EPA 8041 que trata da análise de fenóis por GC-FID ou GC-ECD, determina o uso de outros derivatizantes como o diazometano e o brometo de pentafluorobenzila (PFBBr), diferentemente do protocolo sugerido. As estruturas dos diferentes derivatizantes é mostrada na Figura 33.

Estes reagentes foram comprados e serão ainda testados na derivatização, para atestar sua eficiência na quantificação de fenóis nas amostras coletadas.

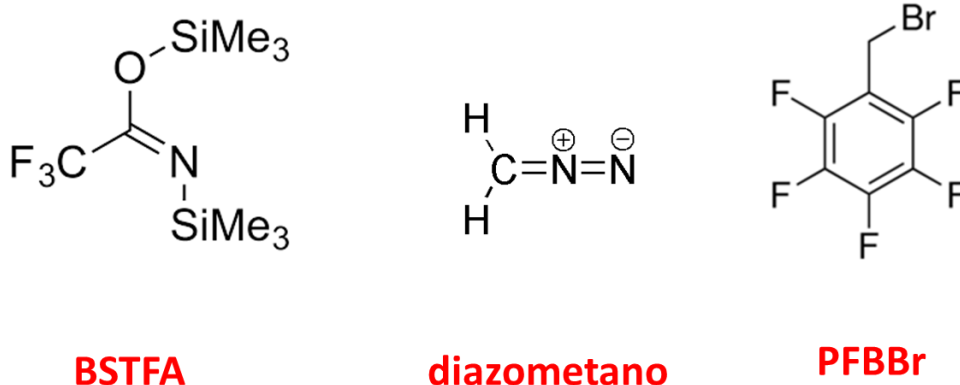


Figura 33: Estruturas de diferentes derivatizantes utilizados em diferentes protocolos para a análise de fenóis em água.

3.1.3 Metais em sedimento

As 141 amostras de sedimentos coletadas nas 20 estações foram analisadas, pela técnica de Espectrometria Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado com detecção por Espectrometria de Massas (ICP-MS), sob dois aspectos:

1. Metais Totais,
2. Metais Biodisponíveis;
3. Extração sequencial:
 - a. Fração 1 – metais adsorvidos;
 - b. Fração 2 – metais ligados a carbonatos;
 - c. Fração 3 – metais ligados a óxidos de ferro e manganês;
 - d. Fração 4 – metais ligados a matéria orgânica;

Para todas as amostras foram determinadas as concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, de 30 elementos: Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hg, Ho, La, Lu, Mn, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, U, V, Yb e Zn.

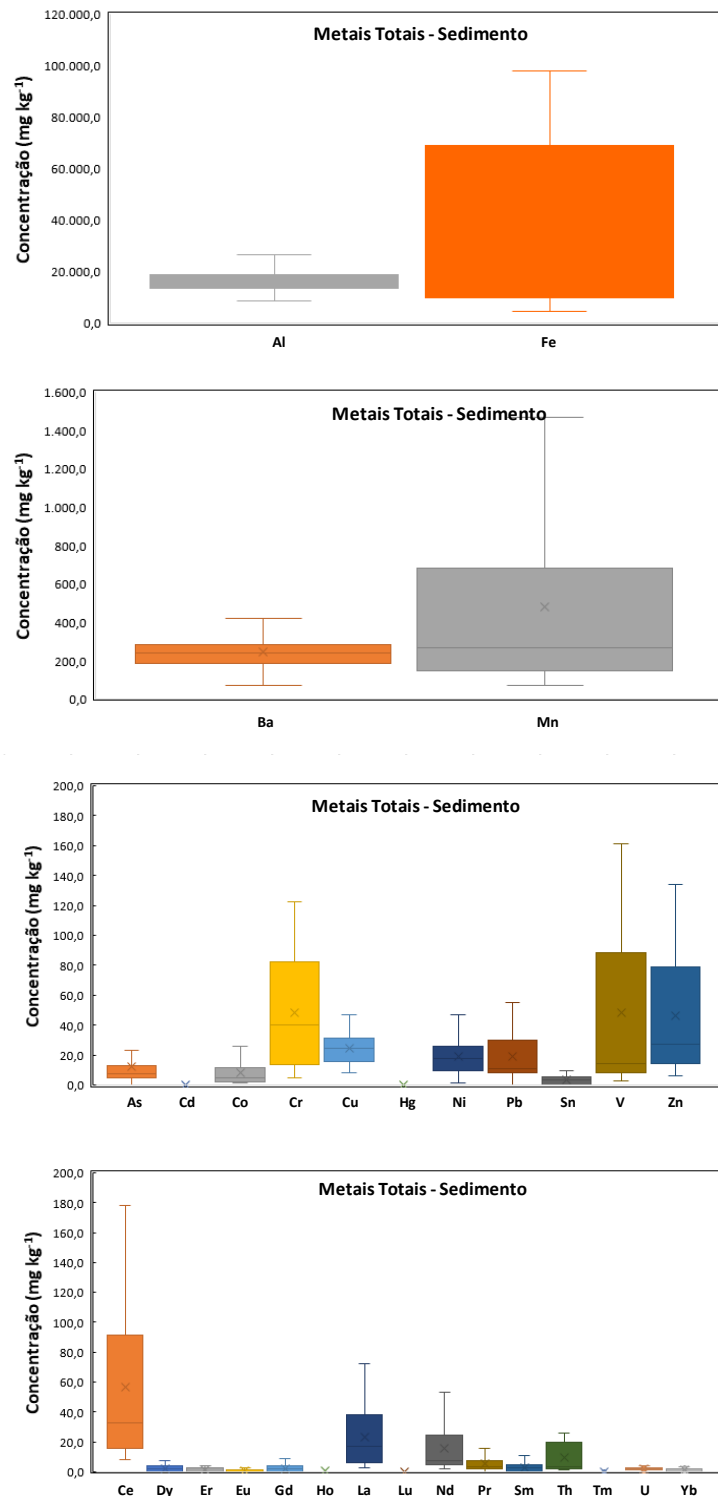
Para verificar a variabilidade das concentrações dos elementos e as não conformidades em diferentes sistemas, os resultados foram analisados por estação de coleta e por sistemas:

- Rio Guandú (Estação 17);
- Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26);
- Lagos (Estações 18, 19 e 20);

- Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

A Figura 34 mostra a variabilidade das concentrações totais de diferentes elementos, indicando que alguns elementos apresentaram maior variabilidade de concentrações (Al, Ba, Fe, Mn, Cr, V, Zn e Ce).

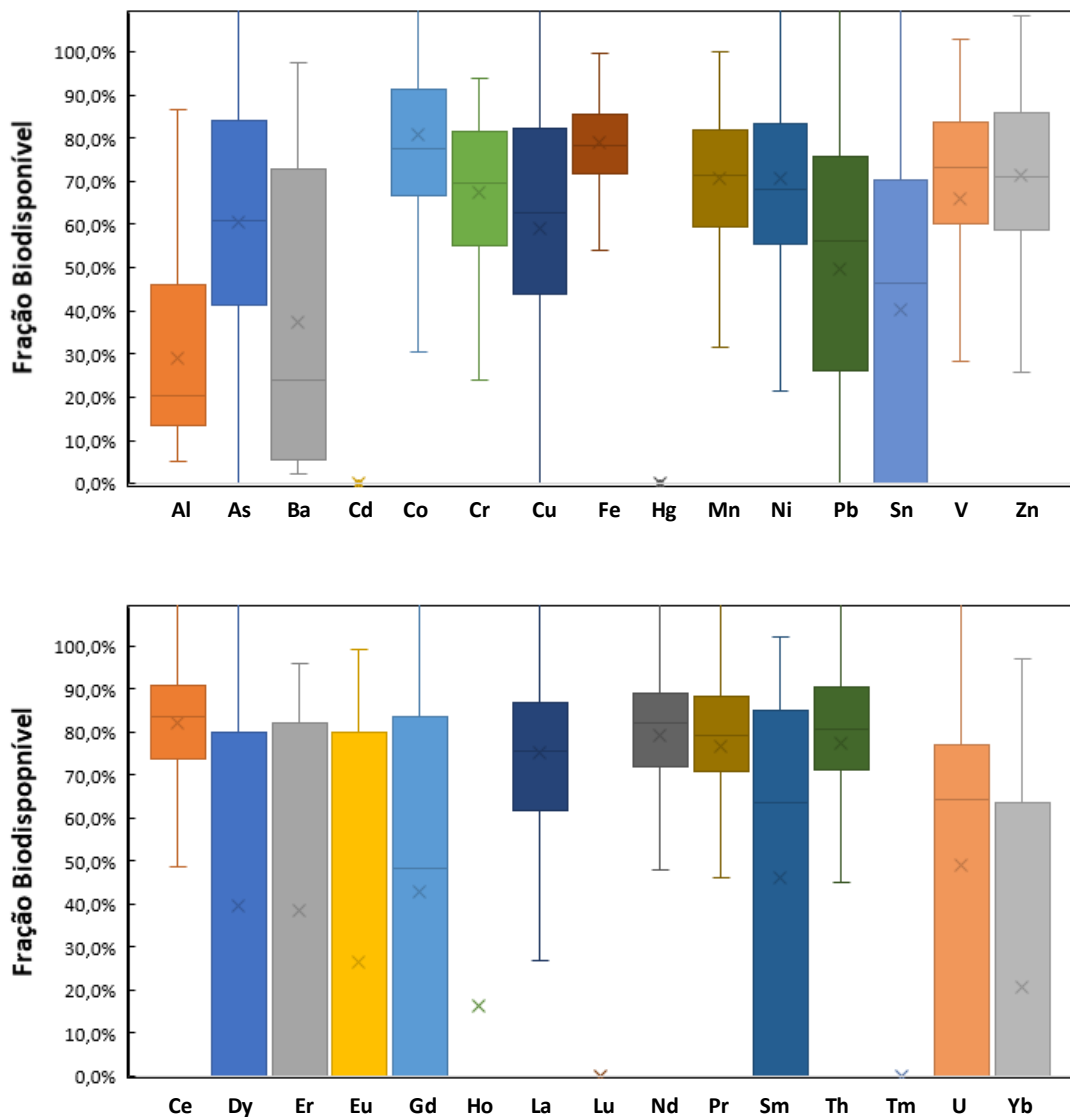
Figura 34: Variabilidade das concentrações de metais totais nas amostras de sedimentos nas 12 estações de coleta.



A Figura 35 mostra o percentual biodisponível de cada um dos 30 elementos analisados, indicando variações na biodisponibilidade dos elementos:

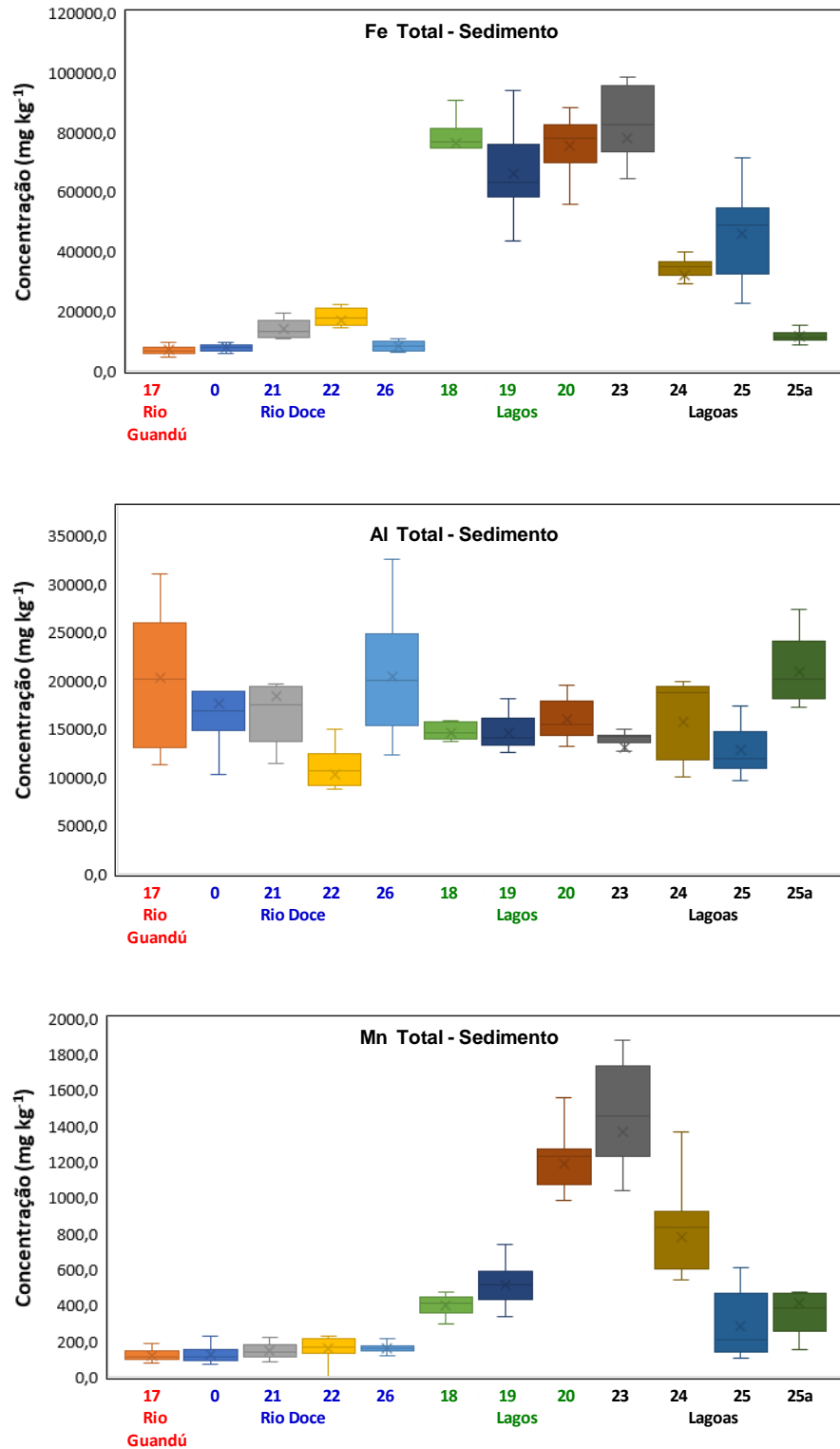
- Baixa biodisponibilidade: Al, Ba e Sn;
- Média biodisponibilidade: Dy, Er, Eu, Gd, Pb e Sm;
- Alta biodisponibilidade: demais elementos.

Figura 35: Percentual da fração biodisponível de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos nas 12 estações de coleta.



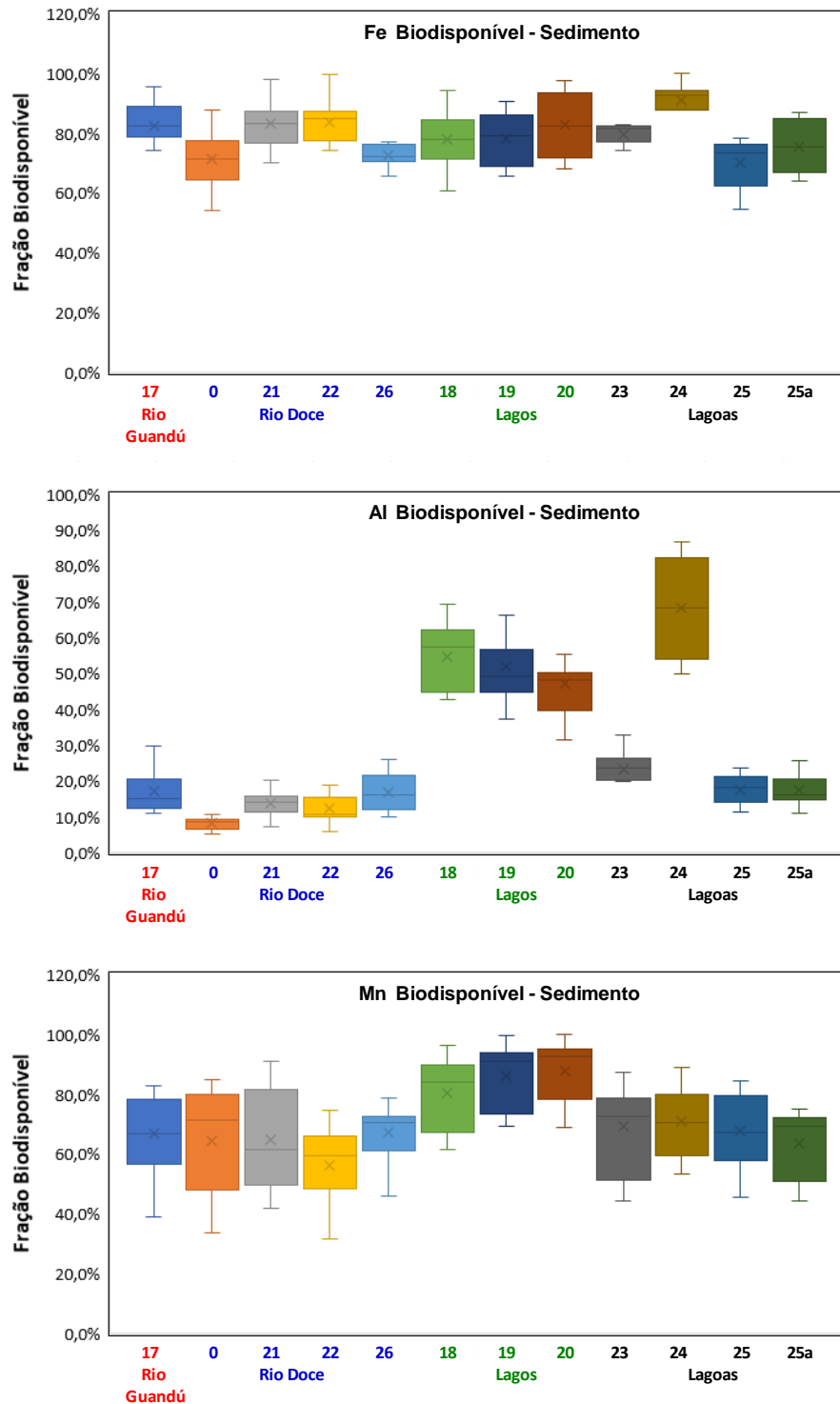
A Figura 36 mostra a variabilidade das concentrações de Al, Fe e Mn nos sedimentos de diferentes estações de coleta, indicando que os Lagos e Lagoas possuem maiores concentrações para o Fe e Mn, não havendo variações significativas para o alumínio.

Figura 36: Variabilidade das concentrações de Al, Fe e Mn totais nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.



A Figura 37 mostra o percentual biodisponível de Al, Fe e Mn nas diferentes estações de coleta, indicando de a biodisponibilidade do Fe é semelhante em todas as estações amostrais, enquanto que Al, e Mn mostram uma tendência de biodisponibilidade maior nos Lagoas.

Figura 37: Variabilidade da fração biodisponível de Al, Fe e Mn nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.



Foram detectadas 243 não conformidades nas amostras de sedimentos, com teores de metais totais acima dos limites estabelecidos pela Resolução 454/12 do CONAMA para o Nível 1 de água doce e outras 65 não conformidades para o Nível 2, cujos resultados estão na Tabela 23.

Os resultados mostram que, um número considerável de amostras apresentou algum tipo de não conformidade para os Níveis 1 e 2. Dentre as não conformidades dos elementos As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn para Nível 1, As, Ni e Cr foram os que tiveram maiores percentuais, 59,8%; 49,6% e 48,7 %, respectivamente. Para o Nível 2 as amostras apresentaram não-conformidades para As, Cr e Ni, com percentuais entre 13 e 21 %.

Tabela 23: Não conformidades das amostras de água para o parâmetro Metais Totais segundo a Resolução 454/12 do CONAMA.

Elemento	CONAMA 2 e NOAA PEL	
	Limite (mg kg ⁻¹)	Percentual
As	17	18,4
Cd	3,53	0,0
Cr	90	19,1
Cu	197	0,0
Hg	0,486	0,0
Ni	36	9,9
Pb	91,3	0,0
Zn	315	0,0

Os resultados mostram que apenas os parâmetros arsênio, cromo e níquel apresentaram não conformidades em relação ao CONAMA 2 e NOAA PEL.

As Figuras 38 a 40 mostram a variabilidade das concentrações e dos percentuais de não conformidades para o nível 2 nas diferentes estações de coleta indicando que, de maneira geral, os Lagos e as Lagoas possuem as maiores concentrações para estes elementos e, conseqüentemente os maiores percentuais de não conformidades.

Figura 38: Variabilidade das concentrações e não conformidades de arsênio total, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA (Limite Nível 1= 5,9 ppm e Nível 2 = 17 ppm), nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.

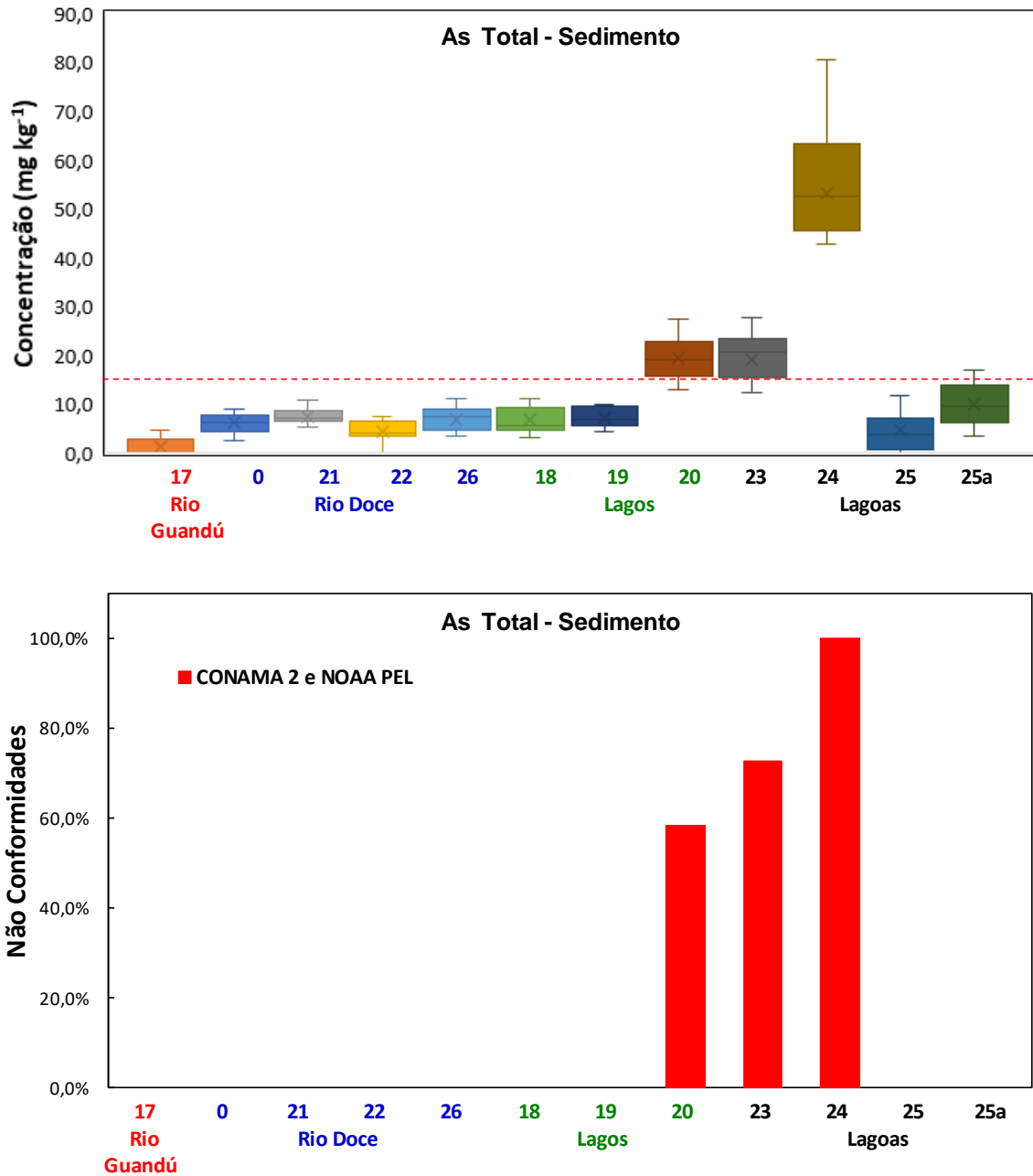


Figura 39: Variabilidade das concentrações e não conformidades de cromo total, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA (Limite Nível 1= 37 ppm e Nível 2 = 90 ppm), nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.

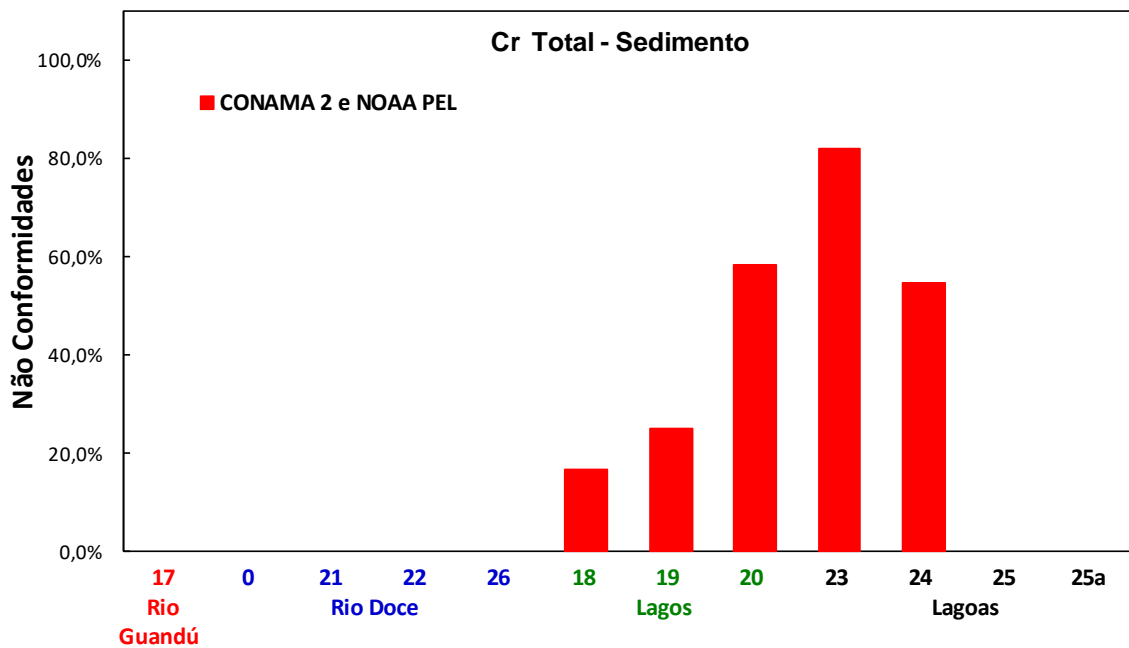
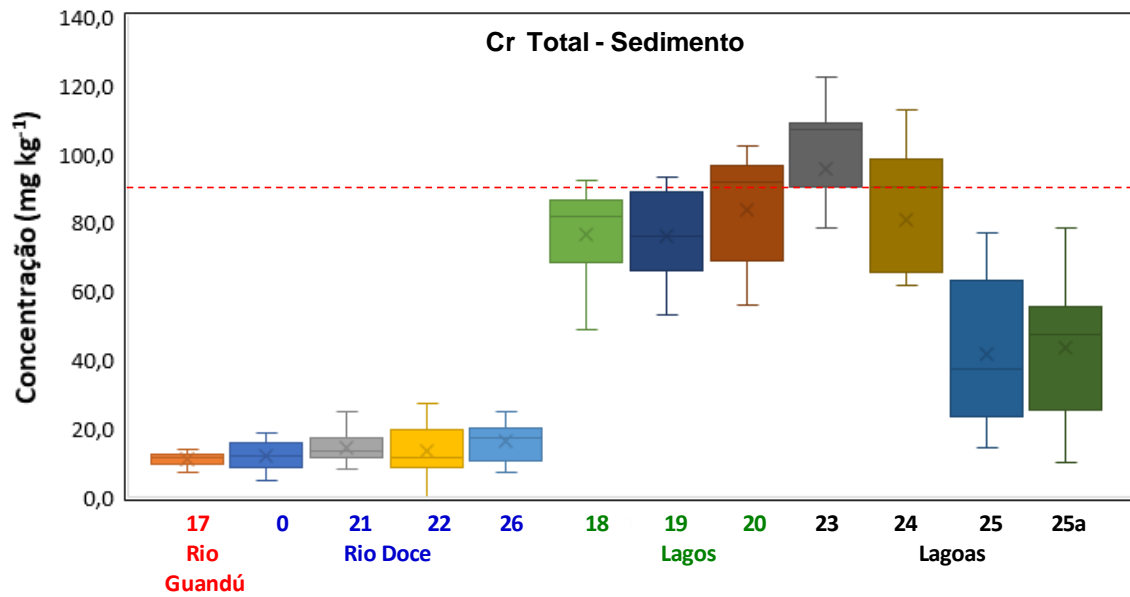
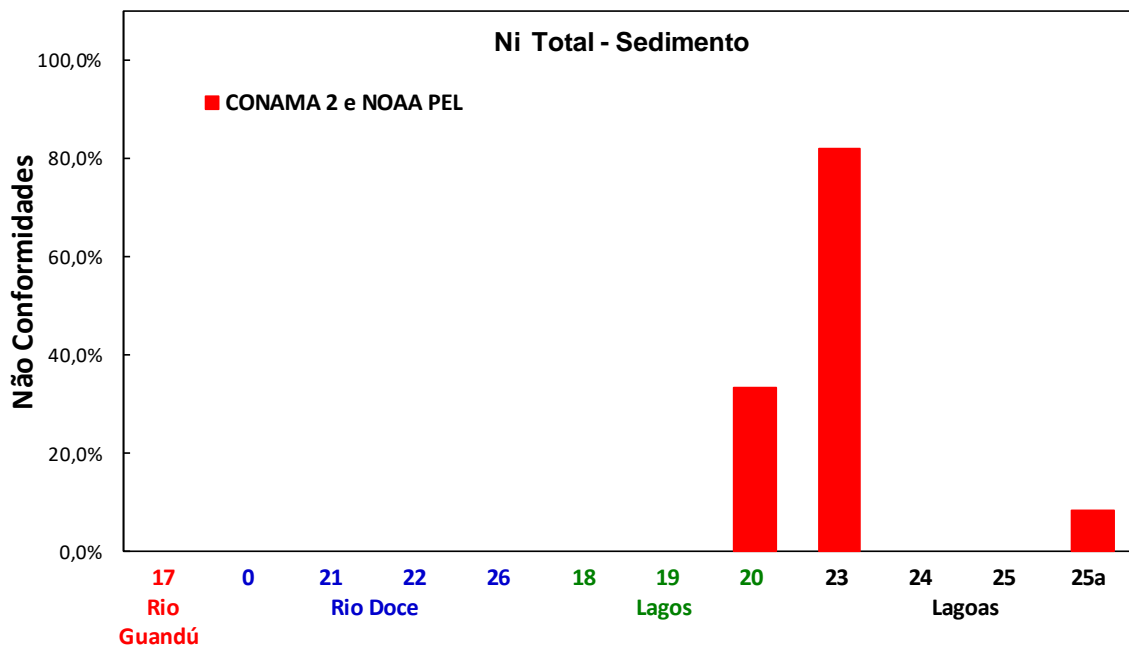
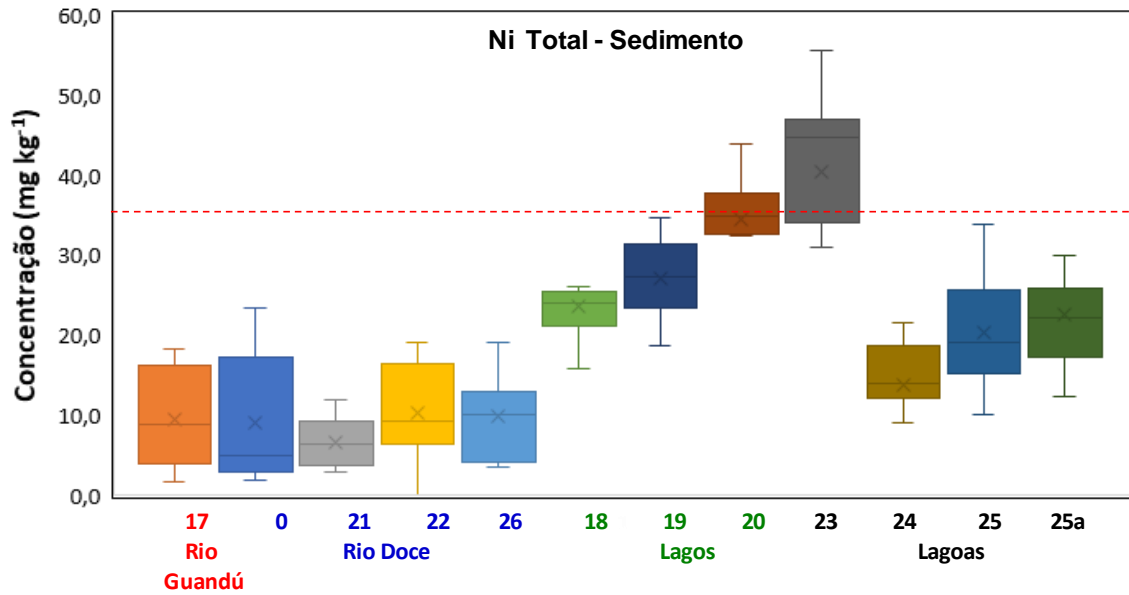
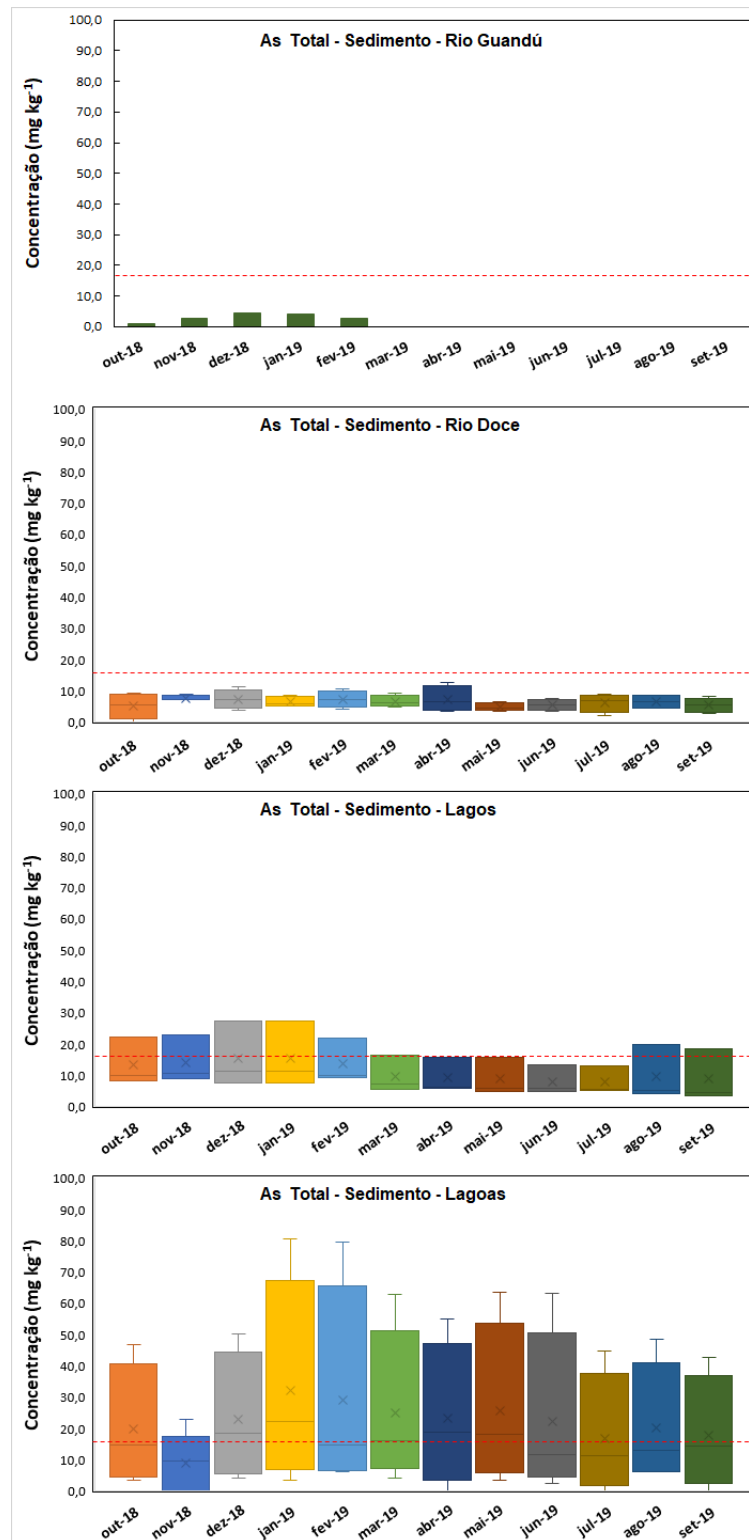


Figura 40: Variabilidade das concentrações e não conformidades de níquel total, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA (Limite Nível 1= 18 ppm e Nível 2 = 35,9 ppm), nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.



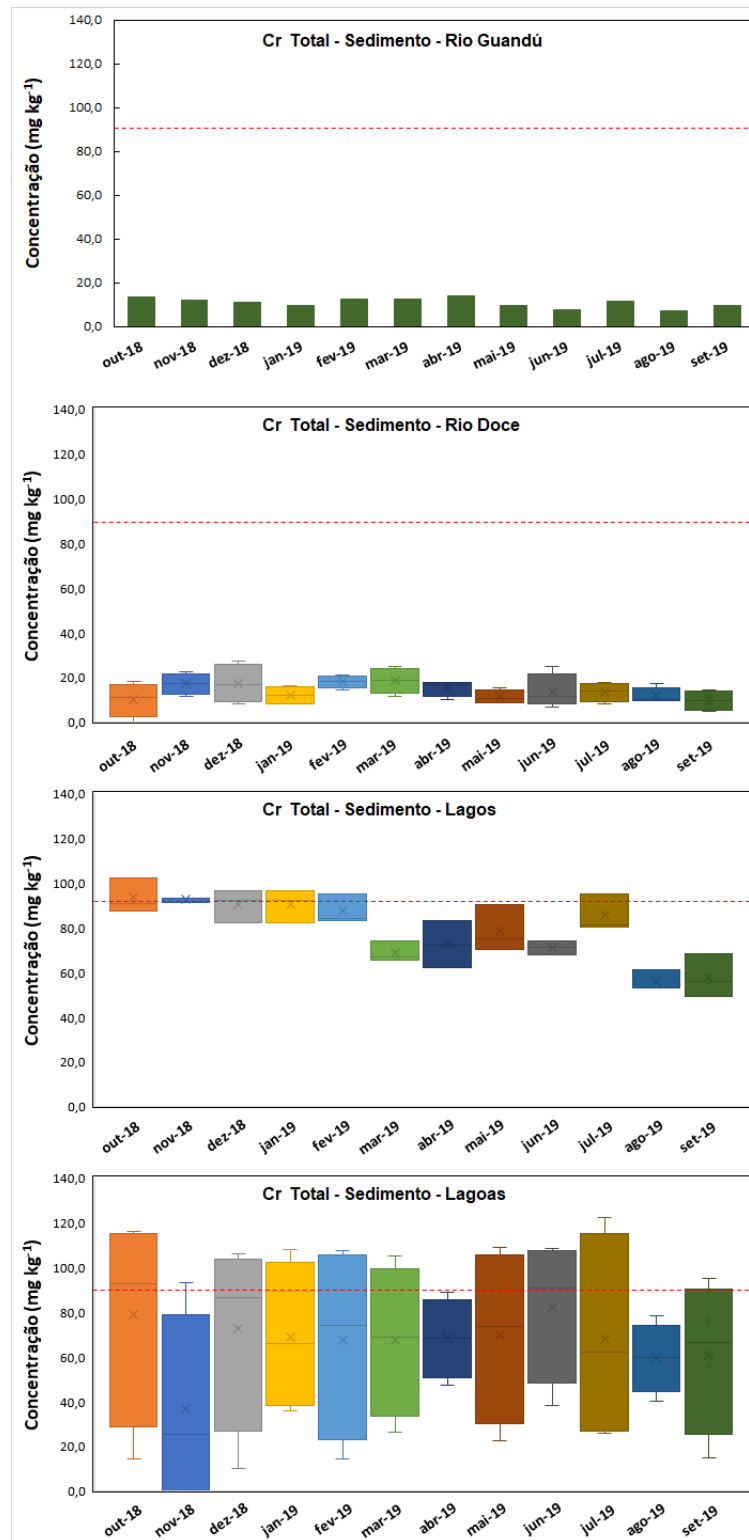
Mais uma vez os dados apresentados nas figuras acima evidenciam um comportamento diferenciado para os sedimentos de lagos e lagoas, indicando maior impacto que os rios estudados.

Figura 41: Dados temporais para os teores de arsênio total nos sedimentos do rio Guandu, rio Doce, Lagos e Lagoas.



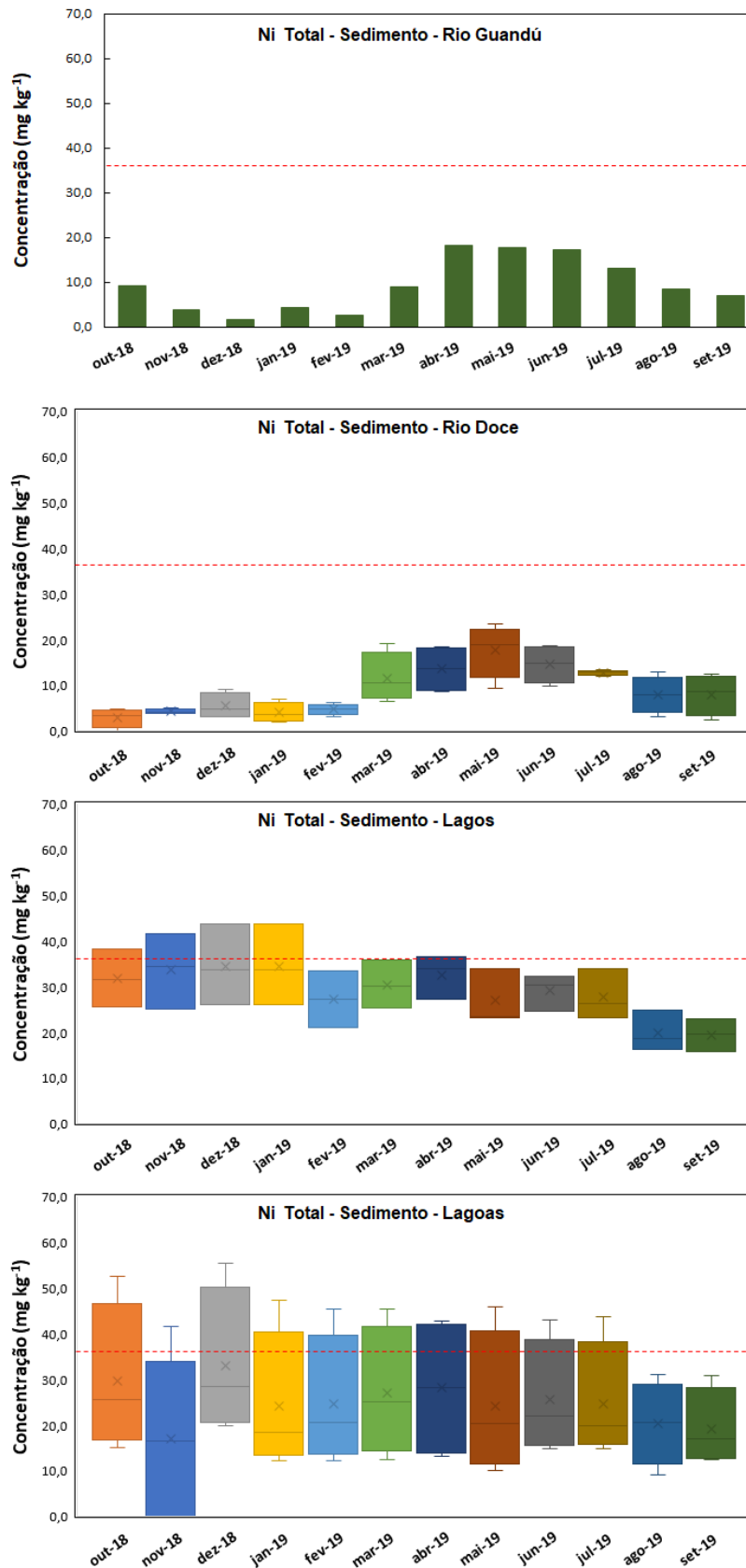
Os resultados na Figura 41 não mostram variação significativa dos valores com o tempo para As total em sedimentos, estando os valores próximos do limite estabelecido pelo NOAA PEL em Lagos e Lagoas, menores para o rio Doce e bem menores para o Rio Guandu, chegando a não ser detectado nos últimos meses para este ambiente.

Figura 42: Dados temporais para os teores de cromo total nos sedimentos do rio Guandu, rio Doce, Lagos e Lagoas.



Os valores de cromo (Figura 42) para os sedimentos dos rios estão igualmente baixos, em relação ao limite NOAA PEL. No caso dos lagos e lagoas estes valores chegam a atingir este limite, mas as médias ficam menores, especialmente para as lagoas. Comportamento similar para o parâmetro Ni é observado, conforme Figura 43 abaixo.

Figura 43: Dados temporais para os teores de níquel total nos sedimentos do rio Guandu, rio Doce, Lagos e Lagoas.



3.1.3.1 Metais totais

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais totais estão apresentados nas Tabelas 24 e 25:

Tabela 24: Concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, para Metais Totais para as 12 amostras de sedimentos analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	19994,2	20061,4	11240,1	31005,6	7148,4	35,8
As	1,1	< 0,9	< 0,9	4,6	1,9	165,4
Ba	309,6	283,3	218,1	398,1	64,5	20,8
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	573,6	< 0,6	< 0,6	5690,9	1798,1	313,5
Co	1,9	1,9	1,2	2,5	-	26,3
Cr	10,5	10,5	7,2	13,9	2,2	20,7
Cu	19,4	17,8	13,3	35,0	6,6	34,3
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	6854,1	6685,0	4445,9	9419,8	1601,6	23,4
Gd	0,6	< 0,4	< 0,4	1,3	0,6	107,9
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	12,6	12,6	7,2	18,6	3,9	30,9
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	121,5	113,8	76,0	187,4	34,1	28,0
Nd	7,0	7,5	4,3	9,9	2,0	27,9
Ni	9,9	8,7	1,6	18,2	6,3	63,4
Pb	8,8	9,5	6,5	10,4	-	15,7
Pr	2,4	2,4	1,7	3,8	0,6	26,1
Sm	1,8	1,8	1,2	2,4	-	21,2
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	3,6	-	-
Th	2,0	2,0	1,6	2,4	-	12,5
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	1,6	1,6	1,3	1,9	-	13,0
V	7,3	7,1	4,2	9,1	1,6	21,6
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	12,5	11,3	7,6	20,6	4,0	32,4

Os valores maiores foram os obtidos para Al, Ba, Ce, Fe e Mn. Estes valores estão bem maiores que os encontrados para os metais totais dos mesmos elementos em água, indicando concentração nos sedimentos na proporção de 2 a 6 vezes, dependendo do analito.

Tabela 25: Concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, para Metais Totais para as 47 amostras de sedimentos analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	17066,8	15494,8	8743,4	34135,7	6625,3	38,8
As	6,3	6,1	2,1	12,5	2,4	38,0
Ba	245,0	244,0	187,4	295,9	24,2	9,9
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	1292,2	< 0,6	< 0,6	19048,2	4234,5	327,7
Co	2,7	2,4	1,5	8,0	1,2	44,6
Cr	14,0	13,4	4,8	27,1	5,4	38,6
Cu	18,1	16,3	8,0	36,0	7,1	39,4
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	12074,5	10607,6	5837,0	22176,7	5005,8	41,5
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	5,3	4,9	2,6	9,2	1,8	34,2
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	145,7	145,5	69,0	226,8	45,2	31,0
Nd	4,0	3,6	2,0	6,4	1,2	29,4
Ni	10,0	9,4	1,8	23,4	5,7	57,2
Pb	8,5	8,2	< 1,8	13,9	2,5	29,2
Pr	1,6	1,5	< 0,5	2,8	0,6	39,5
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,9	-	-
Sn	2,2	< 1,6	< 1,6	7,4	2,4	112,7
Th	2,1	2,0	1,2	3,6	-	28,4
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	1,2	1,3	< 1,2	1,9	-	42,1
V	8,1	7,9	2,8	14,0	2,8	35,0
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	15,0	14,7	6,5	27,0	4,5	29,8

Os elementos com os maiores teores no rio Doce são os mesmos encontrados para o rio Guandu (Al, Fe, Ba, Mn e Ce). Ressalta-se que Ce é bem menor em água, 4,7 ppm. Os valores dos principais elementos, para o Rio Doce, são similares ou levemente superiores em comparação com os valores

para o Rio Guandú, com exceção do ferro e cério, que são quase o dobro. Entretanto, o valor médio para o Ferro (12074 ppm) é superior ao reportado como um valor médio para Fe no rio Doce, que é de 8191 ppm, advindo de estudo realizado antes do rompimento da barragem de Fundão. Ou seja, houve aumento médio de 47% de Fe nos sedimentos, comparando-se dados de 2019 e 2015, quatro anos pós acidente, o que pode indicar impacto neste rio. O Bário analisado pelo IEMA apresentou valor médio de 13,9 ppm, havendo então um aumento de 1662% para atingir 245 ppm. Já para o Mn o valor encontrado pelo IEMA foi de 105 ppm, portanto o aumento foi de 40%. Os dados disponíveis do IEMA não apresentaram valores de Ce e Al.

Visando avaliar o impacto do acidente, fez-se a Tabela 26 que se segue com alguns dados do IEMA e a razão destes com os dados obtidos no PMBA, deste relatório. Os dados do IEMA foram obtidos antes de 18/11/2015, porém após 09/11/2015, podendo conter metais liberados de barragens que foram abertas em 05/11/2015, após o acidente. Considerando-se estes dados podemos concluir que alguns valores de metais totais em sedimentos estão hoje, quatro anos pós-acidente, bem mais elevado que a referência IEMA antes do acidente. Estes resultados podem ser um indicativo do impacto do Rio Doce em decorrência do acidente. Como os sedimentos são arenosos, a lixiviação dos metais é facilitada. Coleta de amostras de outros sedimentos menos arenosos podem levar a valores ainda maiores.

Tabela 26: Comparação entre resultados do IEMA e PMBA de metais totais em sedimento do Rio Doce.

Elementos	IEMA mg kg ⁻¹	PMBA mg Kg ⁻¹	Razão [PMBA]/[IEMA]
As	5,8	6,3	1,1
Al	nd	17066,8	-
Ba	13,9	245	17,6
Ce	nd	1292,2	-
Fe	8191	12074	1,5
Mn	105,1	146	1,4
Cr	15,2	14	0,9
Cu	3,2	18,1	5,7
V	nd	8,1	-
Zn	16,4	15	0,9
Pb	3,8	8,5	2,2
Ni	3,8	10	2,6

nd= não disponível

3.1.3.2 Metais biodisponíveis

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais biodisponíveis estão apresentados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27: Concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, para Metais Biodisponíveis para as 12 amostras de sedimentos analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	3496,7	3237,6	1534,4	5589,0	1436,7	41,1
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	30,3	26,4	14,7	58,6	13,1	43,1
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	458,2	< 0,6	< 0,6	4567,3	1443,8	315,1
Co	1,7	1,6	0,9	3,0	-	37,4
Cr	7,3	6,7	5,4	10,6	1,9	26,5
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	8,8	3,7	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	5690,3	5890,0	3719,0	7923,9	1488,1	26,2
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,4	0,6	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	8,5	9,3	4,3	11,6	2,5	29,9
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	83,3	75,9	49,3	154,8	32,5	39,0
Nd	6,5	6,6	3,8	9,5	2,1	31,9
Ni	7,3	7,7	1,9	14,1	4,3	58,7
Pb	< 1,8	2,2	< 1,8	3,1	-	-
Pr	2,0	2,0	1,3	2,6	-	21,1
Sm	1,2	1,5	< 0,5	2,0	0,8	71,2
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	2,9	-	-
Th	1,7	1,8	< 1,1	2,3	-	20,9
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	1,3	-	-
V	4,0	4,4	< 1,1	6,6	2,5	62,3
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	9,7	9,5	6,9	14,1	-	22,3

Novamente destacam-se Al, Fe, Ba e Mn, obviamente com valores numéricos bem inferiores aos dos metais totais.

Tabela 28: Concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, para Metais Biodisponíveis para as 47 amostras de sedimentos analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	2221,1	1688,0	656,6	7156,8	1436,3	64,7
As	3,5	3,3	< 0,9	8,2	1,7	47,4
Ba	16,5	14,0	6,6	77,4	12,2	73,9
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	4,1	0,7	-
Ce	1065,2	< 0,6	< 0,6	18948,3	3755,5	352,6
Co	2,1	1,8	1,1	4,4	-	41,1
Cr	8,3	8,1	2,8	16,0	3,4	40,9
Cu	9,7	9,0	< 2,5	28,8	7,5	77,4
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	9709,8	7883,3	3678,4	20004,0	4823,6	49,7
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	4,4	4,1	0,6	9,1	1,9	44,4
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	94,4	97,0	31,9	168,0	33,9	35,9
Nd	3,2	3,1	1,4	5,7	1,1	33,4
Ni	6,2	5,1	1,9	19,0	3,9	62,5
Pb	< 1,8	2,0	< 1,8	5,1	1,8	-
Pr	1,2	1,3	< 0,5	2,2	0,6	46,6
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	3,4	-	-
Th	1,5	1,5	< 1,1	2,9	-	51,3
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	1,4	-	-
V	4,0	4,2	< 1,1	10,2	3,3	82,9
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	9,2	8,8	4,8	21,2	2,9	31,4

Os valores de metais biodisponíveis para o rio Doce são levemente superiores aos observados para o rio Guandu, exceto o ferro e Cério, que têm valor quase o dobro.

3.1.3.3 Metais traço na extração sequencial

Para todas as amostras foram determinadas as concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, de 30 elementos: Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hg, Ho, La, Lu, Mn, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, U, V, Yb e Zn.

Os resultados mostram a extração de diferentes elementos em cada fração:

- Fração 1 – As, Ba, Cu, La, Mn, Ni e V;
- Fração 2 – Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn e terras raras;
- Fração 3 – Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn e terras raras;
- Fração 4 – Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn e terras raras.

Para facilitar a visualização dos resultados (Figuras 44 a 47) os elementos foram agrupados em dois grupos:

- Elementos Terras Raras (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Th, Tm, U e Yb);
- Demais elementos (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V e Zn);

Figura 44: Percentual extraído na Fração 1 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.

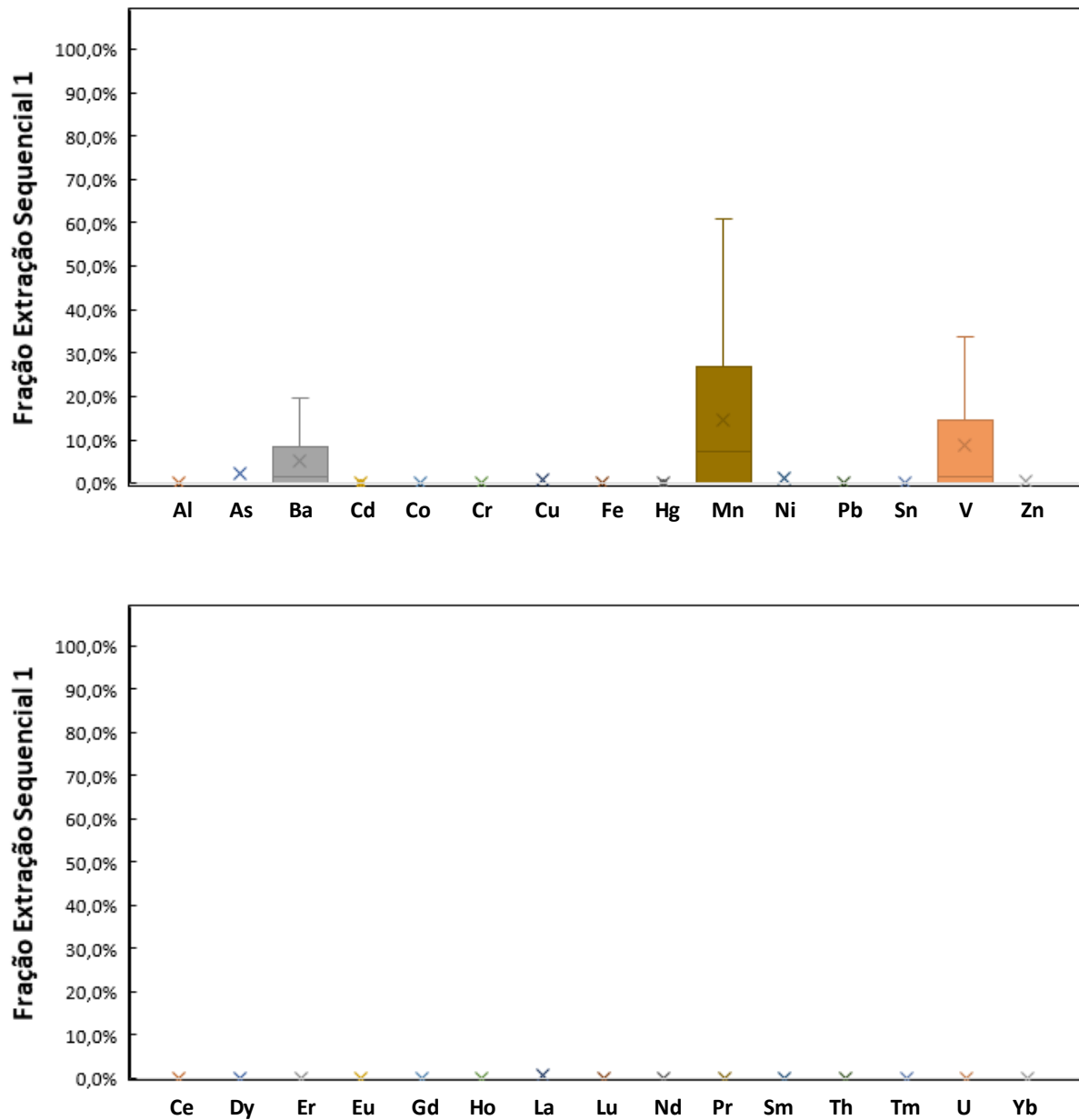


Figura 45: Percentual extraído na Fração 2 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.

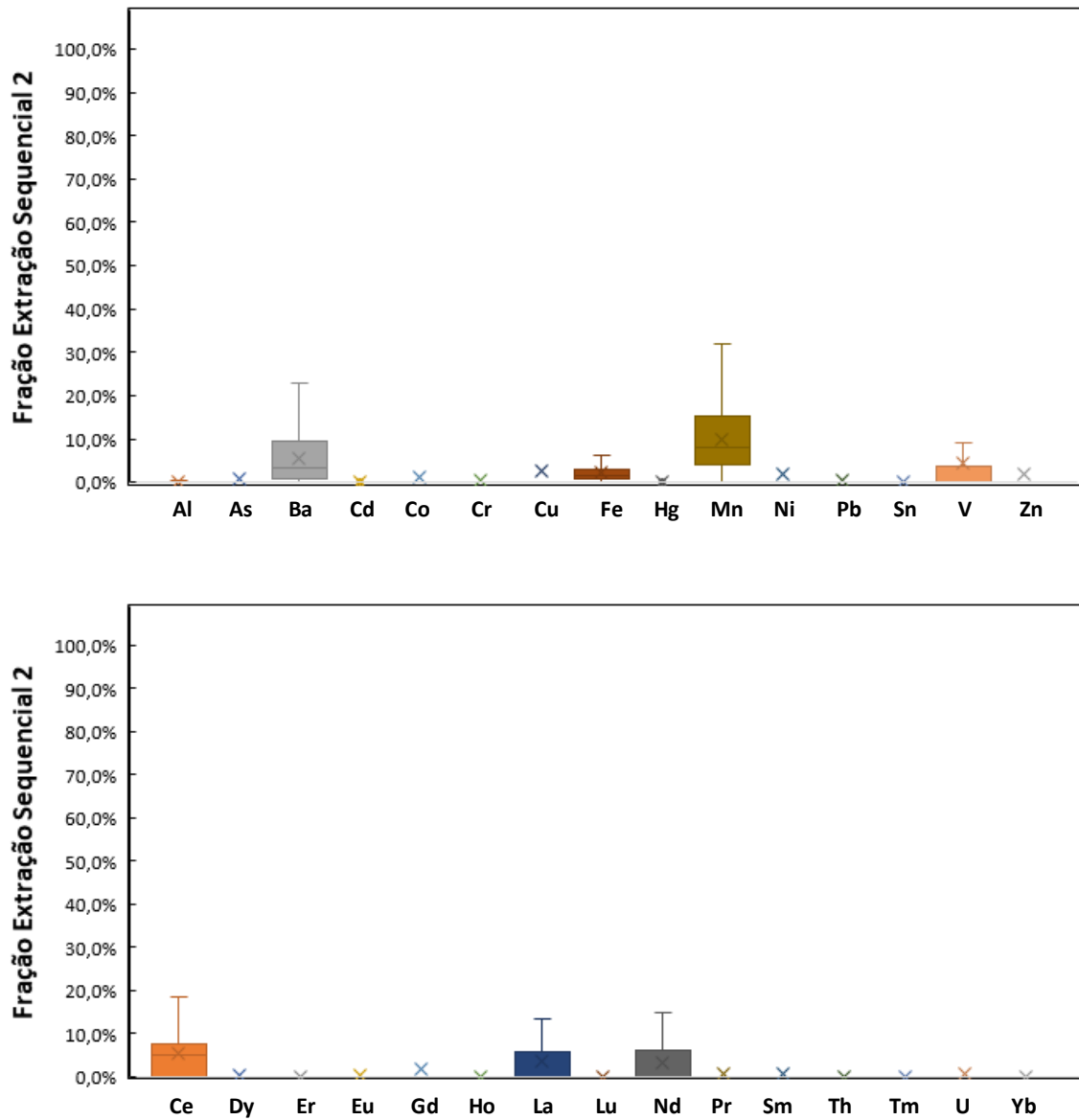


Figura 46: Percentual extraído na Fração 3 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.

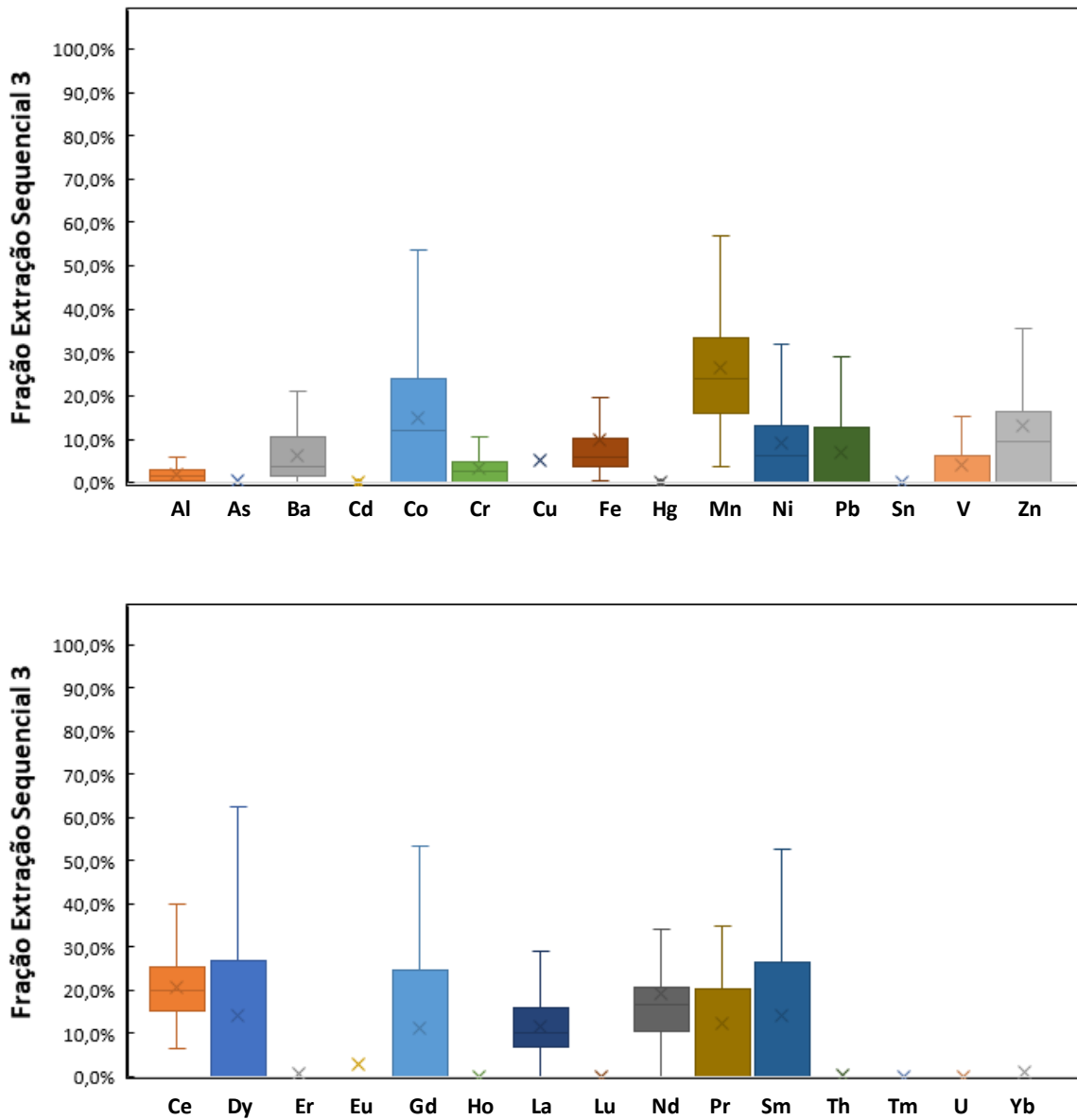
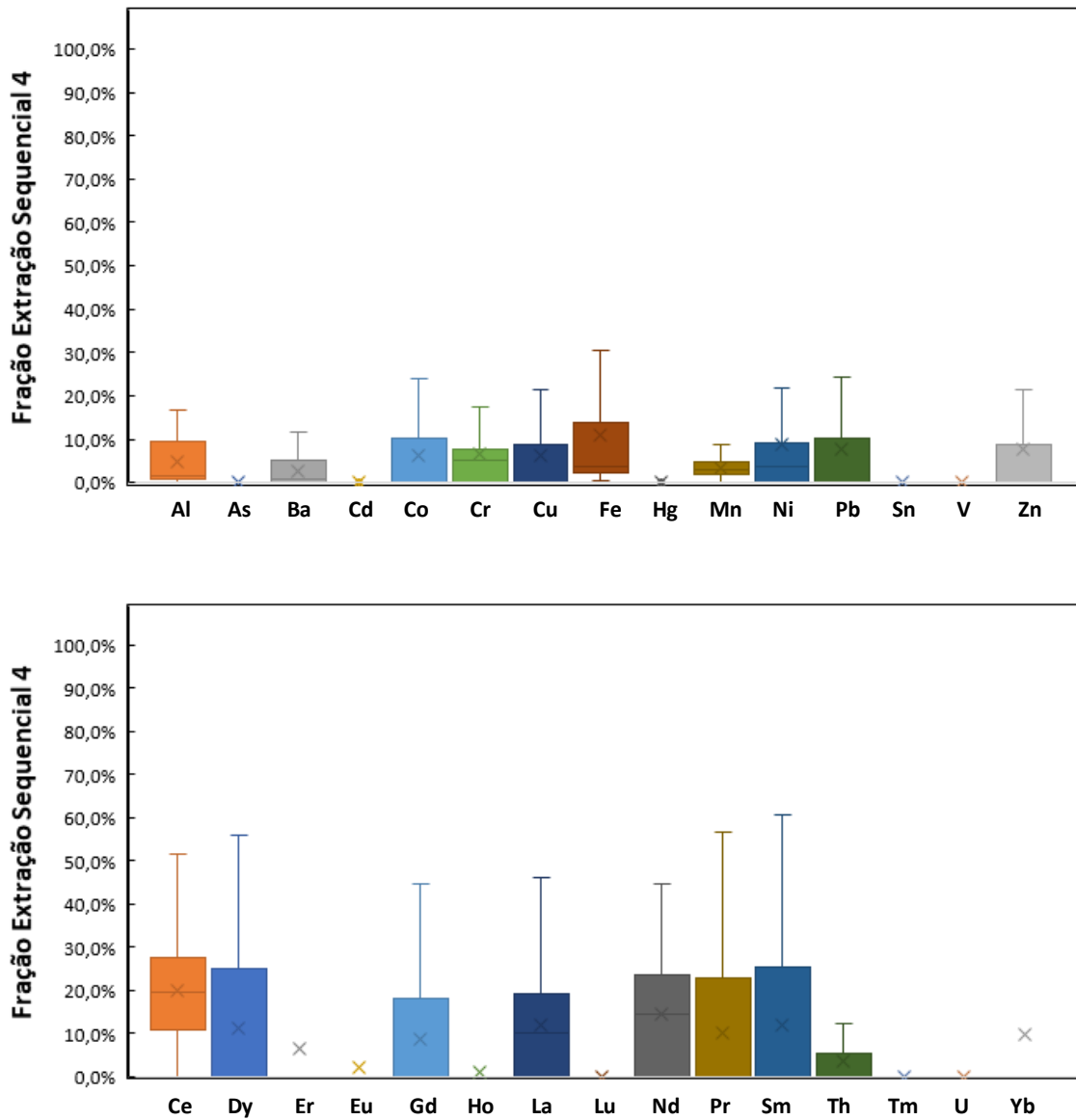


Figura 47: Percentual extraído na Fração 4 de cada um dos 30 elementos analisados nas amostras de sedimentos de diferentes estações de coleta.



3.1.3.4 Metais traço na fração trocável (extração sequencial 1)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais presentes na Fração 1 estão apresentados nas Tabelas 29 e 30 .

Tabela 29: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 1 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média	Mediana	Mínima	Máxima	Desvio Padrão	CV (%)
Al	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,2	-	-
Ba	3,0	2,7	< 1,4	6,7	1,9	61,7
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,9	1,6	< 1,1	3,6	-	44,6
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	-	-

Tabela 30: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 1 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,2	-	-
Ba	< 1,4	< 1,4	< 1,4	5,3	-	-
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	2,8	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	4,2	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	2,3	< 2	< 2	53,1	8,5	360,2
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,7	-	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	< 1,1	< 1,1	< 1,1	5,3	-	-
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	9,2	1,7	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	1,1	< 1,1	3,6	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	-	-

Em relação a Fração 1, os valores foram extremamente baixos para os dois rios, inclusive para os elementos Fe, Al, Ce e Ba.

3.1.3.5 Metais traço na fração adsorvida/carbonática (extração sequencial 2)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais presentes na Fração 2 estão apresentados nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 2 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	2,8	< 2,1	< 2,1	6,6	3,1	110,5
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	2,3	2,2	< 1,4	6,6	2,1	90,2
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	20,2	< 0,6	< 0,6	201,7	63,8	316,2
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	144,3	122,9	89,2	258,7	55,8	38,7
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	3,3	1,0	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	5,9	5,5	1,4	9,9	3,1	52,0
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	2,7	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,1	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	-	-

Tabela 32: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 2 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	< 2,1	< 2,1	< 2,1	11,0	3,5	-
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,4	-	-
Ba	1,9	1,8	< 1,4	7,4	2,0	106,8
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	17,2	< 0,6	< 0,6	189,3	51,9	301,0
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	8,4	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	138,2	129,3	73,5	389,2	59,3	42,9
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,9	-	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	7,4	6,6	< 1,1	25,6	5,7	76,6
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,7	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,1	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	9,2	-	-

Para a Fração 2, os valores foram baixos e similares para os dois rios, destacando-se o Fe e Ce.

3.1.3.6 Metais traço na fração reduzível (extração sequencial 3)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais presentes na Fração 3 estão apresentados nas Tabelas 33 e 34.

Tabela 33: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 3 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
Al	157,0	148,6	76,3	268,1	61,6	39,3
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	6,6	6,3	2,1	14,2	3,4	51,8
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	33,4	< 0,6	< 0,6	333,2	105,3	314,9
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,0	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	2,8	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	334,2	360,3	161,0	448,9	96,0	28,7
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	0,6	< 0,4	< 0,4	2,8	0,9	166,1
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	40,6	40,0	16,6	74,2	16,7	41,1
Nd	< 0,5	0,6	< 0,5	0,9	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,8	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,0	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,2	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	6,9	-	-

Tabela 34: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 3 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	72,7	61,6	26,4	165,0	38,2	52,5
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	3,9	4,2	< 1,4	9,0	2,5	64,9
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	44,0	< 0,6	< 0,6	492,5	134,4	305,8
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,5	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,3	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	9,7	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	346,3	325,9	103,7	983,3	153,9	44,4
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	0,4	< 0,4	< 0,4	1,6	0,5	118,1
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	42,8	40,1	14,9	85,6	15,2	35,5
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	3,0	0,6	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,8	1,2	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	4,3	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	9,0	-	-

Para a fração 3 os dois rios apresentaram valores similares para todos os analitos, exceto o Al, que foi maior para o rio Guandu.

3.1.3.7 Metais traço na fração sulfídica/orgânica (extração sequencial 4)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais presentes na Fração 4 estão apresentados nas Tabelas 35 e 36.

Tabela 35: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 4 para as 12 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
Al	191,4	196,7	135,5	254,4	36,8	19,2
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	2,0	< 1,4	< 1,4	5,6	2,3	115,4
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	19,7	< 0,6	< 0,6	195,3	61,7	312,5
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,5	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	9,0	3,1	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	200,3	188,3	125,3	368,7	68,5	34,2
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,2	0,5	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	1,7	< 1,1	< 1,1	7,4	2,4	145,0
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,4	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	6,4	2,0	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,4	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	6,3	-	-

Tabela 36: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 4 para as 47 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
Al	88,8	63,8	18,0	258,0	60,7	68,4
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	< 1,4	< 1,4	< 1,4	4,0	-	-
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	150,3	< 0,6	< 0,6	3146,1	614,2	408,5
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	4,0	1,1	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	7,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	1492,3	852,4	103,7	4845,4	1355,3	90,8
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2,8	0,5	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	3,3	3,3	< 1,1	8,0	2,5	74,7
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,0	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,7	1,1	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,6	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,2	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	9,5	-	-

Na fração sequencial 4, os valores de Fe e Ce se destacam, sendo bem superiores para o rio Doce, em comparação com o Guandu. O Al no Guandu apresentou valor bem superior que no Doce, praticamente o dobro.

3.1.4 Orgânicos em sedimento

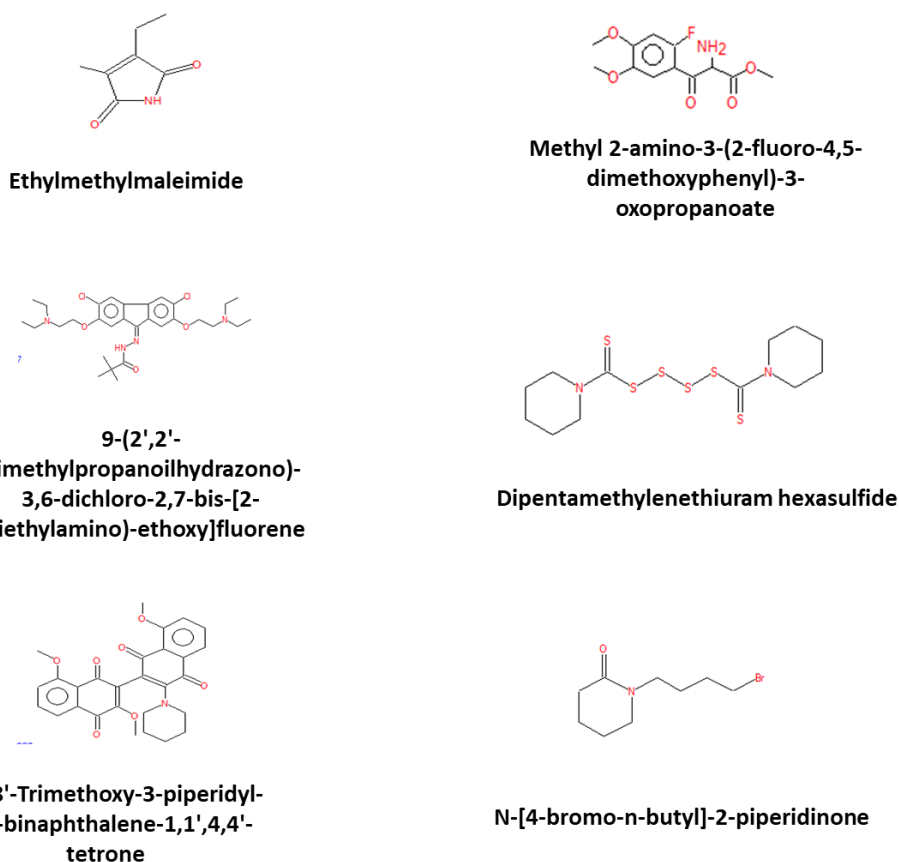
3.1.4.1 Éter-aminas e aminas

As 100 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

Não foram encontrados nas amostras os analitos previstos mas, no entanto, foram encontradas outras aminas que, por falta do padrão ou de conhecimento da sensibilidade relativa para estes compostos, não foi possível uma análise quantitativa.

A Figura 48 apresenta as estruturas de algumas das aminas encontradas nas amostras pela análise dos fragmentos juntamente com a biblioteca do software.

Figura 48: Estruturas de algumas aminas encontradas nas amostras analisadas de diferentes estações de coleta.

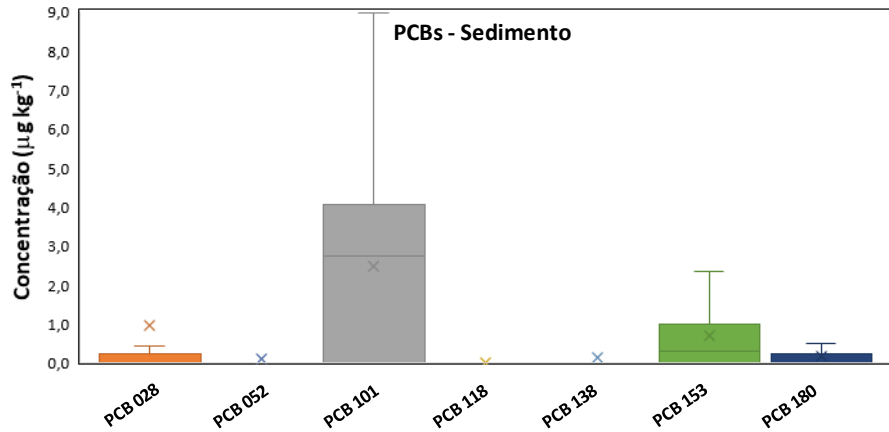


3.1.4.2 Bifenilos policlorados – PCBs

As 129 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

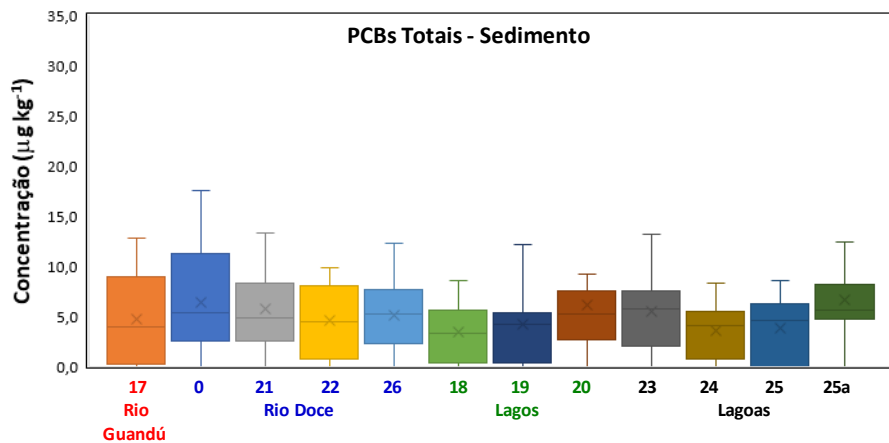
Alguns PCBs apresentaram grande variabilidade de concentrações como PCBs 028, 101 e 180, como mostra a Figura 49.

Figura 49: Variabilidade das concentrações de diferentes PCBs nas 129 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.



Para verificar o comportamento das concentrações dos PCBs nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de PCBs, apresentada na Figura 50, não evidenciando uma tendência para nenhum dos diferentes sistemas.

Figura 50: Variabilidade das concentrações de diferentes PCBs nas 129 amostras de água analisadas de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).



Os resultados individuais para cada PCB, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 37 e 38.

Tabela 37: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para PCBs nos sedimentos das 10 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
PCB 028	2,63	< 0,02	< 0,02	7,64	3,47	131,6
PCB 052	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,04	-	-
PCB 101	2,46	2,67	0,30	4,83	1,30	52,6
PCB 118	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	-	-
PCB 138	0,16	< 0,05	< 0,05	1,05	0,35	225,7
PCB 153	0,80	0,78	0,08	1,76	0,54	66,9
PCB 180	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,71	-	-
TOTAL	6,18	5,27	0,38	12,84	4,07	65,8

Tabela 38: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para PCBs nos sedimentos das 45 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
PCB 028	1,60	< 0,02	< 0,02	9,94	2,69	168,4
PCB 052	0,14	< 0,03	< 0,03	3,73	0,57	411,6
PCB 101	3,25	3,33	< 0,03	7,79	2,07	63,6
PCB 118	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	-	-
PCB 138	0,13	< 0,05	< 0,05	1,58	0,36	289,4
PCB 153	1,01	0,81	< 0,05	6,26	1,11	109,3
PCB 180	< 0,3	< 0,3	< 0,3	2,69	0,44	-
TOTAL	6,31	5,31	0,33	17,55	3,89	61,7

Os resultados das bifenilas policloradas variaram entre 13 e 18,6 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para os diferentes rios, lagos e lagoas, podendo ser considerados bem similar. A principal fonte de PCBs são óleos de transformadores e sistemas de incineração de lixo.

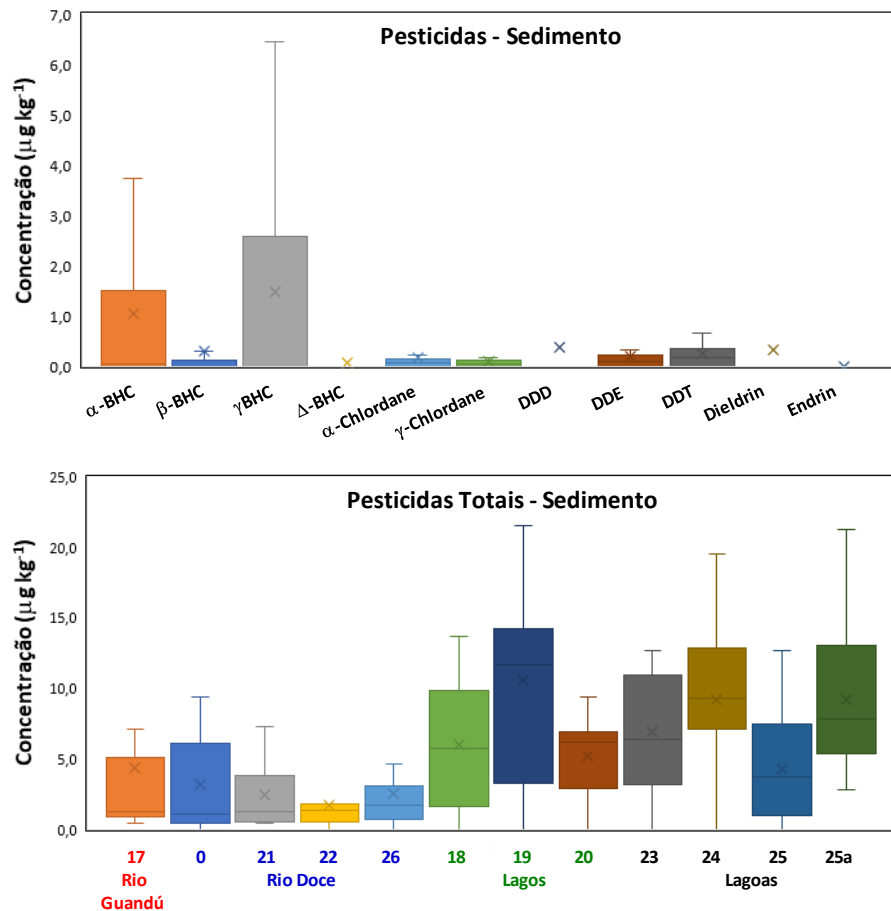
3.1.4.3 Pesticidas

As 129 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração Soxhlet e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

Todos os pesticidas apresentaram grande variabilidade de concentrações, principalmente com exceção do Endrin, com valores de até 8 $\mu\text{g kg}^{-1}$, como mostra a Figura 51.

Para verificar o comportamento das concentrações dos pesticidas nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de pesticidas, apresentada na Figura 51, mostrando que as estações 0 (Rio Doce), 19 (Lago) e 23 (Lagoa) foram as que apresentaram maiores concentrações de pesticidas.

Figura 51: Variabilidade das concentrações de diferentes pesticidas e em diferentes estações, agrupadas por ambientes, nas 129 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.



Os resultados da Figura 51 mostram um comportamento distinto entre os lagos/ lagoas e os rios, no que tange ao parâmetro teor de pesticidas advindos de sedimentos. Os valores de lagos e lagoas são bem maiores, provavelmente devido à falta de fluxo de água para diluição destes contaminantes.

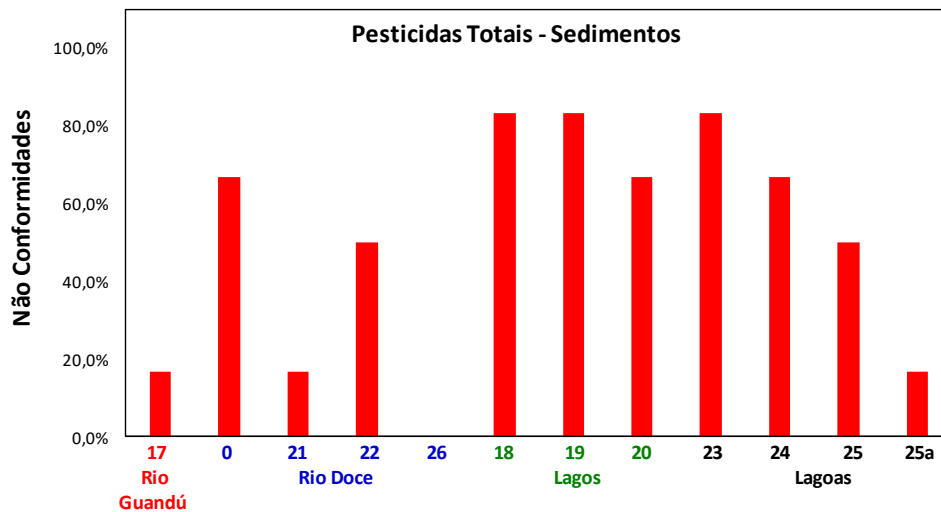
Segundo os limites estabelecidos na Resolução 454/12 do CONAMA para água doce do nível 2 e valor de PEL conforme NOAA, foram detectadas algumas não conformidades, sendo o pesticidas γ -BHC o que apresentou a maior quantidade de amostras acima dos limites estabelecidos, com índice de 51,2%, conforme mostra a Tabela 39.

Tabela 39: Não conformidades para as 129 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA.

Pesticida	NOAA PEL e CONAMA 2	
	Limite ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	%
γ -BHC	1,4	51,2
DDD	8,5	0,8
DDE	6,8	0,0
DDT	4,7	0,0
Dieldrin	6,7	2,3
Endrin	62,4	0,0
DDD+DDE+DDT	4,5	5,4

A Figura 52 mostra os índices de não conformidades por estação de coleta, indicando que as estações 0 e 22 (Rio Doce), 23, 24, e 25 (Lagoas) e os lagos foram os que apresentaram os maiores índices.

Figura 52: Percentual de não conformidades para pesticidas em sedimentos de diferentes estações de coleta segundo a Resolução 454 do CONAMA para água doce nível 1.



Os resultados individuais para cada pesticida, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 40 e 41.

Tabela 40: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para pesticidas em sedimentos das 10 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
α -BHC	0,69	0,05	< 0,01	4,23	1,38	201,2
β -BHC	0,20	< 0,01	< 0,01	1,72	0,54	266,0
γ -BHC	1,07	< 0,01	< 0,01	5,10	1,88	175,9
δ -BHC	0,04	< 0,01	< 0,01	0,19	0,08	210,9
α -Chlordane	0,13	0,15	0,07	0,18	0,05	38,3
γ -Chlordane	0,10	0,12	0,05	0,15	0,04	38,3
DDD	0,26	< 0,01	< 0,01	2,63	0,83	316,2
DDE	0,18	0,21	0,10	0,26	0,07	38,3
DDT	0,45	0,36	0,16	1,85	0,50	111,7
Dieldrin	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-
Endrin	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-
DDD+DDE+DDT	0,90	0,57	0,26	3,31	1,01	112,1
TOTAL	3,12	1,88	0,43	8,58	2,81	90,1

Tabela 41: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para pesticidas em sedimentos das 45 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
α -BHC	0,45	0,04	< 0,01	5,58	1,13	254,0
β -BHC	0,47	0,08	< 0,01	14,07	2,09	446,5
γ -BHC	1,25	0,12	< 0,01	6,71	1,93	154,2
δ -BHC	0,02	< 0,01	< 0,01	0,31	0,06	400,2
α -Chlordane	0,27	0,08	0,07	6,40	0,94	354,0
γ -Chlordane	0,09	0,06	0,05	0,18	0,04	40,3
DDD	0,07	< 0,01	< 0,01	3,12	0,46	670,8
DDE	0,16	0,11	0,10	0,32	0,07	40,3
DDT	0,32	0,19	0,16	1,26	0,22	69,1
Dieldrin	0,01	< 0,01	< 0,01	0,23	0,05	381,7
Endrin	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-
DDD+DDE+DDT	0,55	0,32	0,26	3,41	0,51	92,0
TOTAL	3,11	1,48	0,41	27,50	4,54	146,0

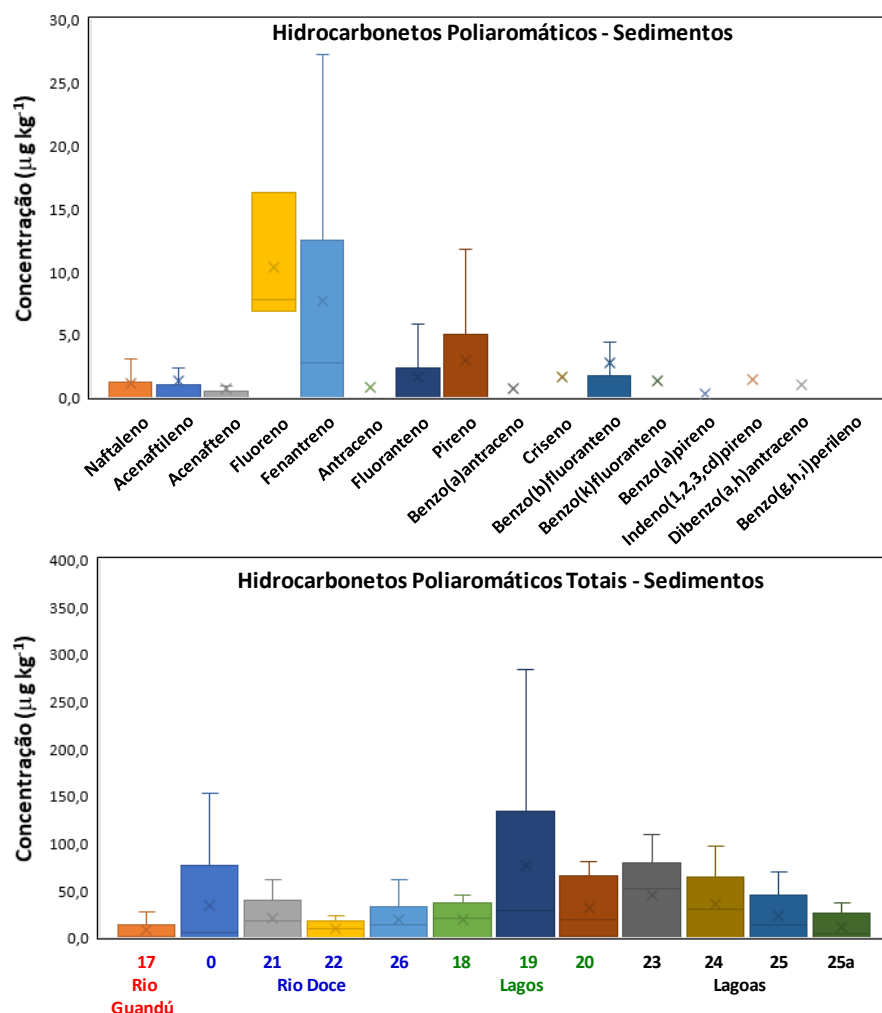
3.1.4.4 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

As 95 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações foram submetidas a um processo de extração Soxhlet e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

As concentrações do fluoreno e fenantreno apresentaram as maiores variabilidades, como mostra a Figura 53, destacando-se o fluoreno.

Para verificar o comportamento das concentrações dos hidrocarbonetos poliaromáticos nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de hidrocarbonetos poliaromáticos, mostrando que as lagoas (Estações 23, 24 e 25) e a estação 21 do Rio Doce têm as maiores concentrações destas espécies em relação aos demais sistemas.

Figura 53: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos poliaromáticos e de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas, nas 95 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta.



O comportamento para os hidrocarbonetos poliaromáticos foi um pouco diferente dos hidrocarbonetos alifáticos, ou seja, os maiores teores foram observados para as lagoas

(195 $\mu\text{g kg}^{-1}$), seguidas do rio Doce (159 $\mu\text{g kg}^{-1}$). Os lagos (84 $\mu\text{g kg}^{-1}$) tiveram teores maiores que o rio Guandu, como esperado, pois este rio apresentou valor de 58 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

Destaca-se a presença do fenantreno que pode ter origem no alcatrão do cigarro, pode também ser encontrado em diesel e também em alcatrões de carvão mineral. Ressalta-se também que há empresa siderúrgica de grande porte à margem do Rio Doce e que possui coqueria, podendo contribuir com lançamento deste contaminante, que ficaria aderido ao sedimento do rio. Há também na região do Rio Doce carvoarias de alcatrão vegetal e usina de papel e celulose, cujo resíduo relevante é o licor negro, fonte de HPAs.

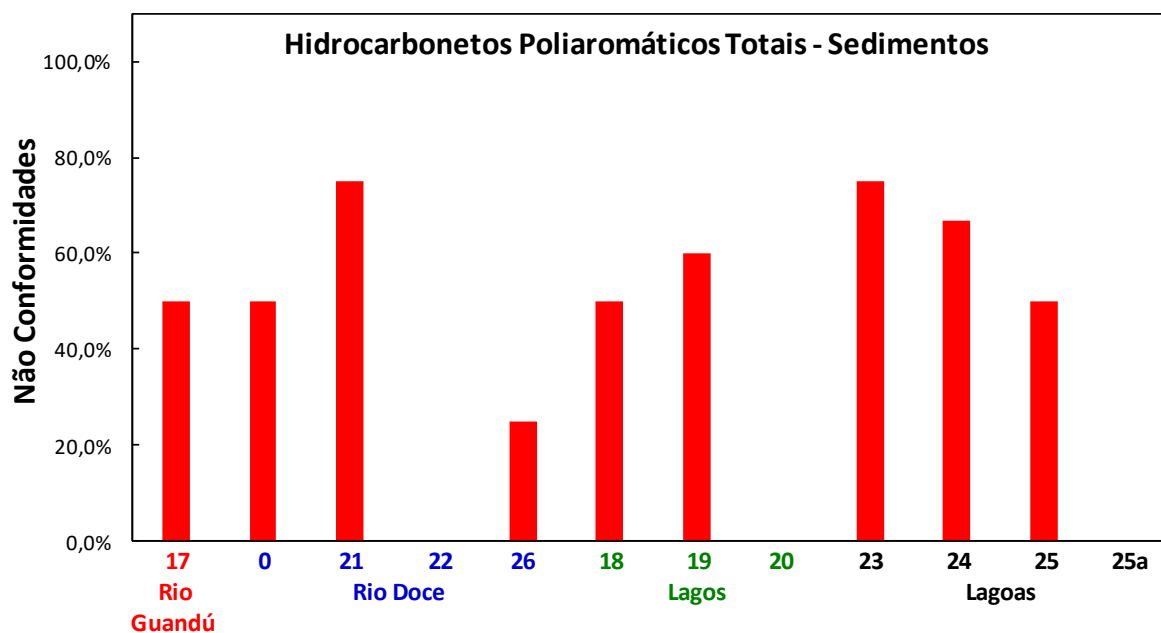
Não foram detectadas amostras não conformes segundo os limites da Resolução 454/12 do CONAMA para águas doces nível 2 e valores NOAA-PEL conforme apresenta a Tabela 42.

Tabela 42: Não conformidades para as 95 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta, segundo a Resolução 454/12 do CONAMA.

Hidrocarboneto	CONAMA 2 e NOAA PEL	
	Limite ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Não Conformidades (%)
Poliaromático		
Naftaleno	391	0,00
Acenaftileno	128	0,00
Acenafteno	88,9	0,00
Fluoreno	144	0,00
Fenantreno	515	0,00
Antraceno	245	0,00
Fluoranteno	111	0,00
Pireno	875	0,00
Benzo(a) antraceno	385	0,00
Criseno	862	0,00
Benzo(b) fluoranteno	-	-
Benzo(k) fluoranteno	-	-
Benzo(a) pireno	782	0,00
Indeno (1,2,3-cd) pireno	-	-
Dibenzo (a,h) antraceno	135	0,00
Benzo (g,h,i) perileno	-	-
TOTAL	-	-

A Figura 54 mostra o percentual de não conformidades para as diferentes estações de coleta, indicando que as estações 21 (Rio Doce), 19 (Lagos) e 23 e 24 (Lagoas) foram as que apresentaram os maiores índices, com valores superiores a 60 %.

Figura 54: Percentual de não conformidades para hidrocarbonetos poliaromáticos em sedimentos de diferentes estações de coleta segundo a Resolução 454 do CONAMA para água doce nível 1.



Os resultados individuais para cada hidrocarboneto HPA nos rios, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 39 e 40. Estes resultados mostram valores bem maiores para o rio Doce, bem mais impactado por indústrias e atividades econômicas. Os resultados individuais para cada hidrocarboneto HPA nos rios, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 43 e 44. Estes resultados mostram valores bem maiores para o rio Doce, bem mais impactado por indústrias e atividades econômicas.

Tabela 43: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos para as 7 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
Naftaleno	0,70	0,40	< 0,1	2,70	0,98	141,0
Acenaftileno	0,16	< 0,1	< 0,1	1,10	0,42	264,6
Acenafteno	0,47	0,29	< 0,1	1,50	0,52	111,7
Fluoreno	2,74	1,25	< 0,1	7,77	3,04	111,0
Fenantreno	2,61	2,54	< 0,2	5,83	2,28	87,4
Antraceno	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Fluoranteno	0,76	< 0,2	< 0,2	2,88	1,30	171,7
Pireno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Benzo(a) antraceno	0,87	< 0,1	< 0,1	4,21	1,63	187,6
Criseno	3,93	< 0,1	< 0,1	14,66	6,73	171,3
Benzo(b) fluoranteno	0,62	< 0,2	< 0,2	3,61	1,35	217,8

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
Benzo(k) fluoranteno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Benzo(a) pireno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,51	-	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	-	-
Dibenzo (a,h) antraceno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,28	-	-
Benzo (g,h,i) perileno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,28	-	-
TOTAL	13,02	9,49	0,64	35,51	13,55	104,0

Tabela 44: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos das 30 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

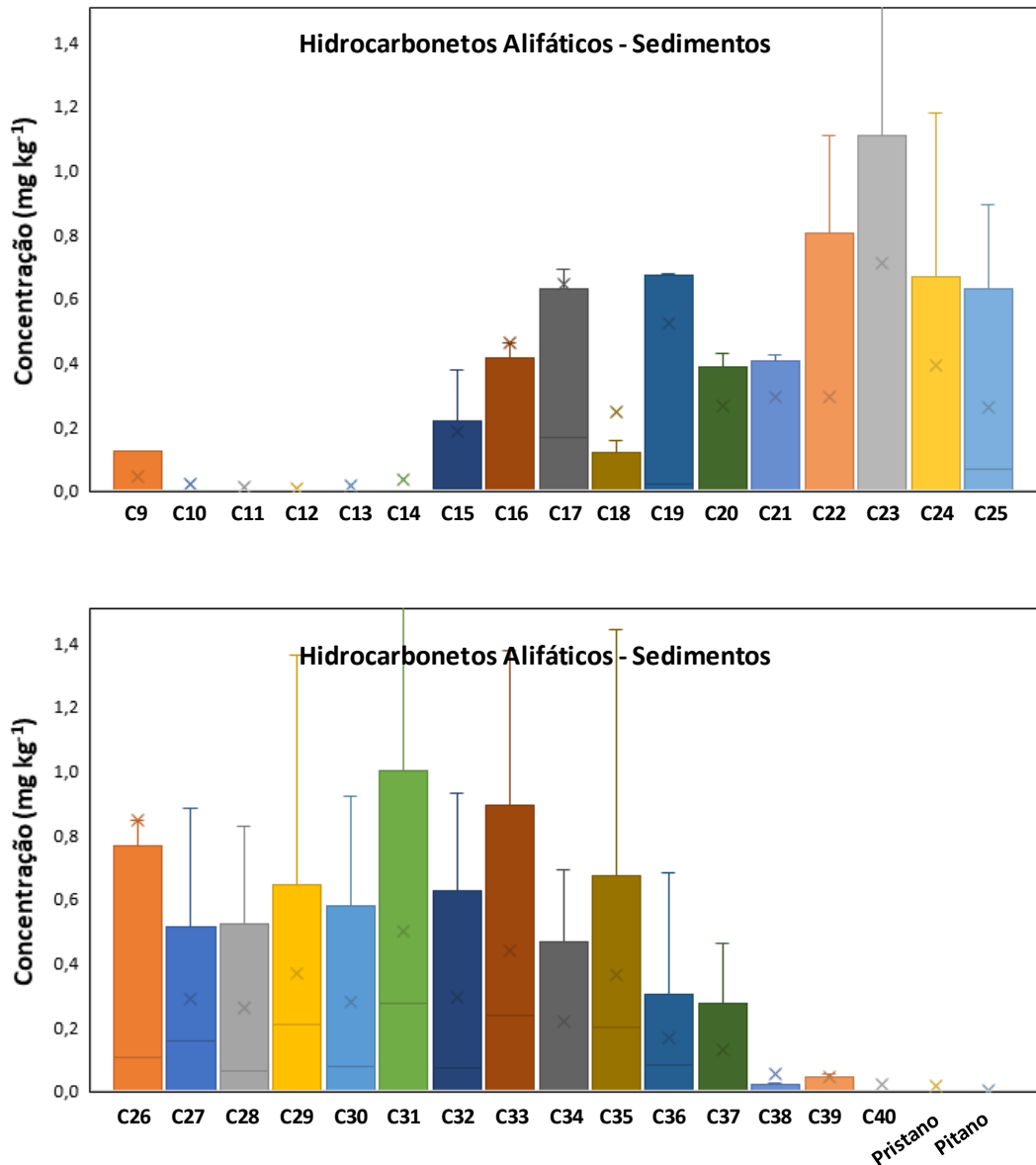
Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
Naftaleno	1,91	0,89	< 0,1	9,07	2,61	136,6
Acenaftileno	0,31	< 0,1	< 0,1	2,94	0,75	240,3
Acenafteno	1,01	< 0,1	< 0,1	7,92	1,84	181,9
Fluoreno	5,08	2,26	< 0,1	38,34	7,76	152,9
Fenantreno	12,43	7,81	< 0,2	57,84	13,93	112,1
Antraceno	0,12	< 0,1	< 0,1	1,99	0,46	383,1
Fluoranteno	1,99	< 0,2	< 0,2	14,44	3,55	178,9
Pireno	6,47	4,83	< 0,2	39,65	8,46	130,9
Benzo(a) antraceno	0,50	< 0,1	< 0,1	8,44	1,61	319,9
Criseno	1,39	< 0,1	< 0,1	14,66	3,54	254,5
Benzo(b) fluoranteno	0,85	< 0,2	< 0,2	7,87	2,08	244,7
Benzo(k) fluoranteno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,44	0,27	-
Benzo(a) pireno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,89	0,36	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	0,35	< 0,1	< 0,1	4,04	0,90	258,5
Dibenzo (a,h) antraceno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,51	0,38	-
Benzo (g,h,i) perileno	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,44	0,35	-
TOTAL	32,82	22,85	< 0,1	152,07	32,66	99,5

3.1.4.5 Hidrocarbonetos alifáticos

As 89 amostras de sedimentos coletados nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração Soxhlet e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

As concentrações dos hidrocarbonetos alifáticos de C15 a C33 apresentaram os maiores valores de maneira geral, como mostra a Figura 55.

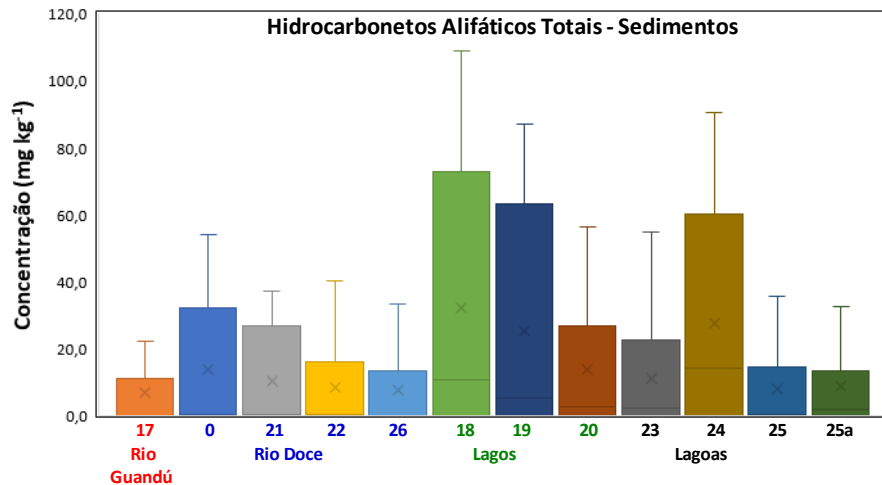
Figura 55: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 89 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.



É interessante observar na Figura acima que há predominância de hidrocarbonetos na faixa do diesel (C15 até C22) e de lubrificantes, acima de C20, indicando provável contaminação com combustíveis e efluentes de postos e oficinas. Combustíveis usados em embarcações são também prováveis fontes desta contaminação.

Para verificar o comportamento das concentrações dos hidrocarbonetos alifáticos nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de hidrocarbonetos alifáticos, apresentada na Figura 56, mostrando que os lagos (Estações 18, 19 e 20) e a Estação 22 do Rio Doce, têm as maiores concentrações destas espécies em relação aos demais sistemas, não sendo evidenciada uma diferença significativa entre as diferentes profundidades.

Figura 56: Variabilidade das concentrações de diferentes hidrocarbonetos alifáticos nas 89 amostras de sedimentos analisadas de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas (Rio Guandú, Rio Doce, Lagos e Lagoas).



Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 45 e 46.

Tabela 45: Concentrações, em mg kg⁻¹, para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 6 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
C9	0,06	0,06	< 0,03	0,12	0,07	109,6
C10	0,04	< 0,03	< 0,03	0,13	0,06	155,5
C11	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,05	-	-
C12	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,10	0,04	-
C13	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,13	0,06	-
C14	0,15	< 0,06	< 0,06	0,93	0,38	244,9
C15	0,60	0,24	< 0,08	2,75	1,06	176,6
C16	0,87	0,39	< 0,09	3,28	1,26	143,8
C17	0,87	0,48	< 0,09	2,91	1,11	127,2
C18	0,43	0,28	< 0,05	1,07	0,47	109,1
C19	0,87	0,55	< 0,05	2,63	1,01	117,0
C20	0,37	0,31	< 0,1	0,91	0,37	99,3
C21	0,68	0,48	< 0,04	1,81	0,74	108,7
C22	0,67	0,56	< 0,05	1,81	0,73	108,4
C23	1,09	0,60	< 0,05	4,16	1,60	146,9
C24	0,57	0,40	< 0,05	1,94	0,74	129,9
C25	0,43	0,26	< 0,05	1,49	0,56	130,9
C26	0,66	0,36	< 0,05	2,46	0,91	138,1
C27	0,45	0,44	< 0,05	1,34	0,49	108,1

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
C28	0,47	0,40	< 0,06	1,32	0,48	101,1
C29	0,42	0,41	< 0,05	1,13	0,42	99,6
C30	0,43	0,46	< 0,05	1,07	0,40	93,2
C31	0,57	0,54	< 0,05	1,65	0,60	106,8
C32	0,45	0,51	< 0,05	1,07	0,40	90,6
C33	0,52	0,48	< 0,07	1,58	0,58	110,5
C34	0,30	0,33	< 0,05	0,68	0,27	90,1
C35	0,31	0,24	< 0,05	0,98	0,36	118,6
C36	0,12	< 0,05	< 0,05	0,41	0,17	141,8
C37	0,21	0,20	< 0,09	0,47	0,20	92,0
C38	0,08	< 0,05	< 0,05	0,21	0,10	121,5
C39	0,75	< 0,05	< 0,05	4,33	1,76	235,0
C40	0,14	< 0,08	< 0,08	0,84	0,34	244,9
Pristano	0,16	< 0,07	< 0,07	0,94	0,38	244,9
Pitano	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	-	-
TOTAL	13,83	10,01	< 0,05	40,13	15,28	110,5

Tabela 46: Concentrações, em mg kg⁻¹, para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 31 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
C9	0,06	< 0,03	< 0,03	0,12	0,06	105,0
C10	0,03	< 0,03	< 0,03	0,21	0,07	215,7
C11	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,08	-	-
C12	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,15	0,04	-
C13	0,11	< 0,04	< 0,04	1,06	0,26	243,8
C14	0,37	< 0,06	< 0,06	3,21	0,74	200,8
C15	0,64	< 0,08	< 0,08	4,70	1,13	176,6
C16	0,94	0,19	< 0,09	5,01	1,37	145,1
C17	0,94	0,15	< 0,09	4,65	1,26	134,0
C18	0,80	< 0,05	< 0,05	6,25	1,38	172,7
C19	1,29	0,08	< 0,05	7,69	2,06	160,1
C20	0,88	< 0,1	< 0,1	5,42	1,32	150,1
C21	0,68	< 0,04	< 0,04	3,06	0,93	136,5
C22	0,81	0,14	< 0,05	5,24	1,21	149,0
C23	1,25	0,13	< 0,05	6,93	1,94	155,4
C24	0,78	< 0,05	< 0,05	3,27	1,04	134,0

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
C25	0,53	< 0,05	< 0,05	2,10	0,68	128,2
C26	0,74	0,09	< 0,05	2,64	0,89	120,2
C27	0,50	0,09	< 0,05	1,60	0,60	119,0
C28	0,45	0,14	< 0,06	1,85	0,49	108,5
C29	0,53	0,15	< 0,05	2,44	0,66	123,9
C30	0,48	0,12	< 0,05	2,12	0,61	126,0
C31	0,49	0,17	< 0,05	2,02	0,60	122,3
C32	0,44	0,11	< 0,05	1,67	0,54	122,3
C33	0,40	0,16	< 0,07	1,65	0,50	125,4
C34	0,29	< 0,05	< 0,05	1,06	0,35	120,5
C35	0,26	0,09	< 0,05	0,94	0,30	116,4
C36	0,22	< 0,05	< 0,05	1,44	0,33	146,4
C37	0,24	< 0,09	< 0,09	1,43	0,33	139,5
C38	0,09	< 0,05	< 0,05	0,42	0,15	161,0
C39	0,25	< 0,05	< 0,05	5,12	0,93	369,8
C40	< 0,08	< 0,08	< 0,08	1,00	0,20	-
Pristano	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	-	-
Pitano	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	-	-
TOTAL	15,57	5,21	0,08	53,94	17,76	114,1

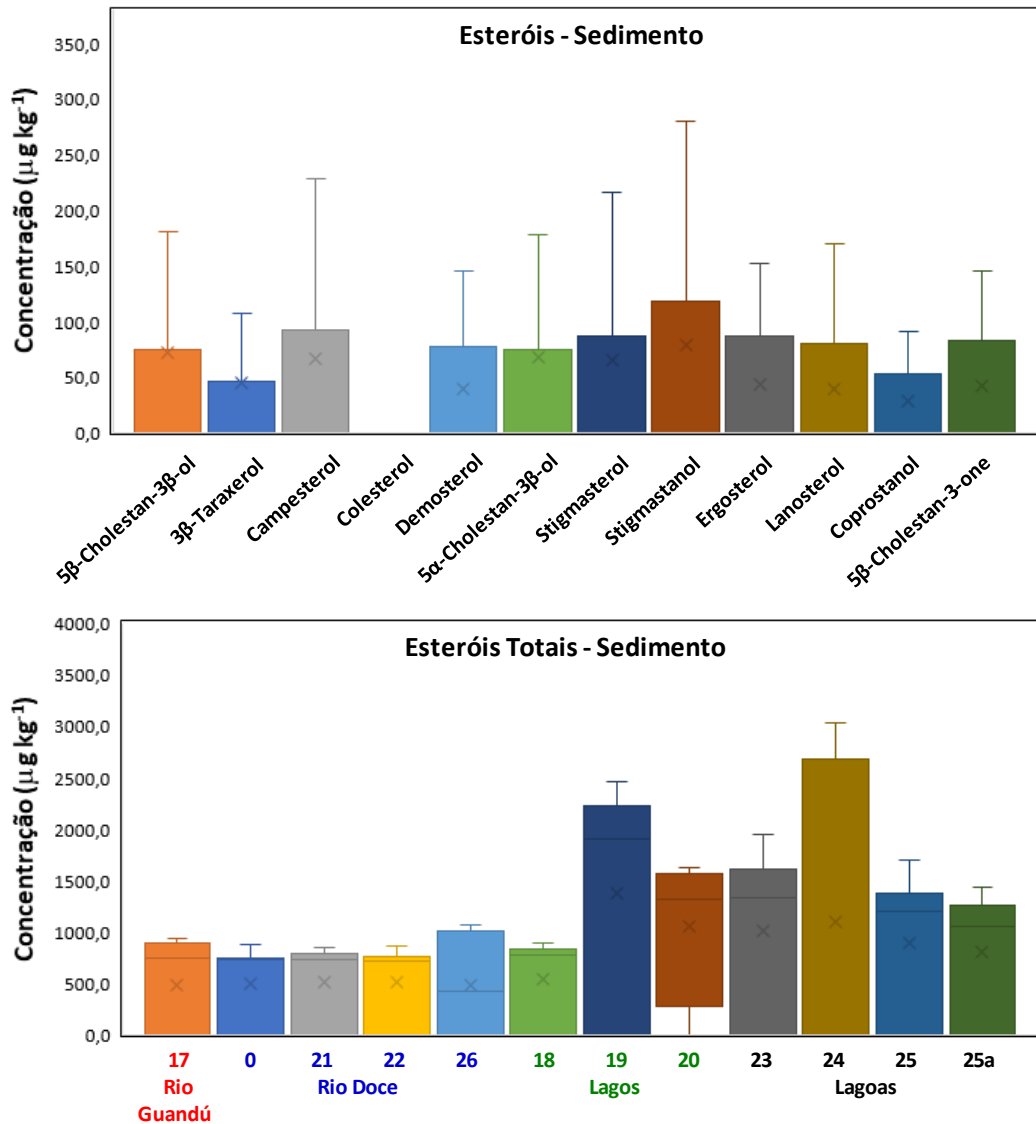
Os resultados de hidrocarbonetos alifáticos mostraram valores médios de 29 ppm para o Rio Gaundú, 116 ppm para o Rio Doce, 228 ppm para os lagos e 117 ppm para as lagoas, o que sugere contaminações antropogênicas, que vão se concentrando em ambientes mais fechados. O rio Doce tem um valor 4 vezes maior que o rio Guandu, resultado similar ao das lagoas e metade do valor médio obtido para os lagos.

3.1.4.6 Esteróis

As 94 amostras de sedimentos coletadas nas 12 estações foram submetidas a um processo de extração líquido-líquido e analisadas, pela técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

Todos os esteróis apresentaram grande variabilidade de concentrações, principalmente o stigmastanol, com valores de até 1700 µg kg⁻¹, como mostra Figura 57. Para verificar o comportamento das concentrações dos esteróis nos diferentes sistemas, foi considerada a soma de todos os analitos, configurando a concentração total de esteróis mostrando que as estações 0 (Rio Doce), 18 e 19 (Lagos) e 24 e 25a (Lagoas) foram as que apresentaram maiores concentrações de esteróis.

Figura 57: Variabilidade das concentrações e de diferentes estações de coleta, agrupadas por sistemas, de diferentes esteróis nas 94 amostras de sedimentos analisadas das 12 estações de coleta.



O rio Guandu apresentou valor médio de, aproximadamente, 368 µg kg⁻¹, o Doce 672 µg kg⁻¹, os lagos 1600 µg kg⁻¹ e as lagoas 1300 µg kg⁻¹. Os resultados mostram que os esteróis apareceram em maior quantidade nos lagos e lagoas, provavelmente devido à vegetação presente e não diluição com o fluxo contínuo de água, presente nos rios. Não foi identificado o esterol de origem animal, que é o colesterol, provavelmente porque não há atividade industrial do tipo graxarias e matadouros ao longo da bacia.

Os resultados individuais para cada esterol, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 47 e 48.

Tabela 47: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 7 amostras analisadas do Rio Guandú (Estação 17).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	61,4	61,7	40,5	71,6	10,7	17,4
3 β -Taraxerol	25,9	20,7	16,4	40,5	10,6	40,7
Campesterol	79,5	76,6	68,2	94,6	9,9	12,5
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	75,6	76,2	72,2	78,4	-	3,4
5 α -Cholestan-3 β -ol	62,8	61,7	50,5	71,6	-	12,2
Stigmasterol	69,7	72,1	58,7	80,6	-	12,0
Stigmastanol	160,0	147,8	62,8	277,8	85,8	53,6
Ergosterol	85,0	86,2	81,6	87,5	-	3,0
Lanosterol	78,2	78,4	74,2	84,0	-	4,3
Coprostanol	52,9	51,1	47,5	66,6	-	12,4
5 β -Cholestan-3-one	83,5	81,3	77,0	102,6	8,8	10,5
TOTAL	834,5	851,7	720,5	932,1	82,6	9,9

Tabela 48: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 30 amostras analisadas do Rio Doce (Estações 0, 21, 22 e 26).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	65,5	63,5	57,8	82,2	-	8,1
3 β -Taraxerol	26,1	20,8	16,2	62,6	11,9	45,8
Campesterol	85,4	79,5	72,2	119,2	11,9	14,0
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	77,8	77,0	70,8	93,6	-	5,7
5 α -Cholestan-3 β -ol	65,5	63,5	57,8	82,2	-	8,1
Stigmasterol	78,4	67,1	59,7	136,3	21,6	27,6
Stigmastanol	102,7	86,1	58,9	279,3	53,4	52,0
Ergosterol	86,2	86,4	80,0	91,0	-	2,6
Lanosterol	78,8	79,1	72,7	85,1	-	3,1
Coprostanol	52,4	51,2	46,8	62,8	-	7,7
5 β -Cholestan-3-one	81,4	81,6	75,5	86,6	-	2,7
TOTAL	800,3	752,2	670,4	1062,8	105,5	13,2

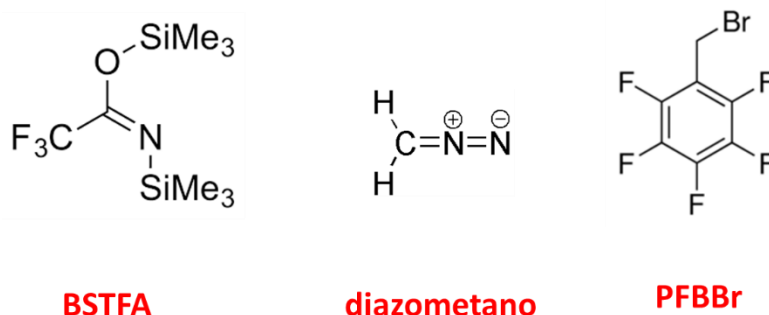
3.1.4.7 Fenóis

O derivatizante sugerido pelo protocolo enviado foi o BSTFA:TMS (99:1) para a análise de fenóis por GC-MS.

No entanto, após vários testes com os diferentes padrões de fenóis, este derivatizante não se mostrou adequado, por não proporcionar uma completa derivatização, podendo a levar à uma inexatidão das análises.

A norma EPA 8041 que trata da análise de fenóis por GC-FID ou GC-ECD, determina o uso de outros derivatizantes como o diazometano e o brometo de pentafluorobenzila (PFBBr), diferentemente do protocolo sugerido. As estruturas dos diferentes derivatizantes são mostradas na Figura 58.

Figura 58: Estruturas de diferentes derivatizantes utilizados em diferentes protocolos para a análise de fenóis em água.



Estes reagentes foram comprados e serão ainda testados na derivatização, para atestar sua eficiência na quantificação de fenóis nas amostras coletadas.

3.2 AMBIENTE LACUSTRE: LAGOS

3.2.1 Metais em água

As Tabelas 49 a 51 a apresentam os resultados estatísticos agrupados dos lagos (E18, E19 e E20) para os parâmetros de metais totais, metais dissolvidos em água, além de metais em material particulado em suspensão.

3.2.1.1 Metais traço totais

Tabela 49: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Totais para as 107 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	249,4	122,1	25,7	978,1	241,9	97,0
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	51,8	48,2	24,0	91,9	13,0	25,1
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	8,8	1,4	-
Co	2,4	1,2	< 0,9	14,0	3,0	127,7
Cr	1,7	1,5	< 1,1	6,3	1,9	110,1
Cu	4,9	4,0	< 2,5	19,2	4,2	86,7
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	1045,8	974,3	93,8	3025,4	665,1	63,6
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	3,1	< 0,5	< 0,5	53,7	8,6	277,7
Mn	41,7	21,9	3,5	295,8	54,7	131,3
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	5,7	4,3	1,2	21,1	4,1	71,6
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	5,3	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	6,0	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	3,7	3,5	1,3	9,1	1,6	42,9
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	15,1	11,1	< 2,9	54,8	10,7	71,4

3.2.1.2 Metais traço particulados

Tabela 50: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais no Material Particulado em Suspensão para as 98 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	169,6	70,3	< 2,1	794,3	202,7	119,5
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	4,1	2,9	< 1,4	40,1	5,6	138,0
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	2,2	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	0,9	-	-

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	5,1	1,5	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	4,8	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	691,4	537,2	< 2	2815,3	640,4	92,6
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	1,8	< 0,5	< 0,5	49,5	7,6	416,4
Mn	40,0	12,8	< 1,1	350,5	66,3	165,8
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,1	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	2,0	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,4	< 1,1	< 1,1	10,6	2,1	149,4
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	8,6	-	-

3.2.1.3 Metais traço dissolvidos

Tabela 51: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 104 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	20,4	17,7	< 2,1	78,0	16,1	79,3
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	36,1	35,5	16,6	62,6	9,2	25,5
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,7	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	6,7	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	193,2	131,3	20,3	1176,2	201,1	104,1
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	0,8	< 0,5	< 0,5	32,9	3,6	419,2
Mn	22,0	2,5	< 1,1	366,4	67,9	309,5
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	2,0	1,9	< 1,1	9,3	2,1	107,6
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	2,1	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	1,3	< 1,1	3,6	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	5,4	5,0	< 2,9	29,0	3,3	60,8

3.2.2 Orgânicos em água

3.2.2.1 Bifenilos policlorados – PCBs

A Tabela 52 apresenta os resultados estatísticos agrupados dos lagos (E18, E19 e E20) para o parâmetro de Bifenilos policlorados (PCBs) em água.

Tabela 52: Resultados obtidos para PCBs na água para as 105 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
PCB 028	0,44	0,37	< 0,21	4,92	0,56	127,0
PCB 052	0,35	< 0,21	< 0,21	6,02	0,69	200,0
PCB 101	< 0,21	< 0,21	< 0,21	< 0,21	-	-
PCB 118	0,42	< 0,21	< 0,21	8,79	1,34	320,2
PCB 138	0,47	0,35	< 0,21	2,35	0,48	100,9
PCB 153	0,57	< 0,21	< 0,21	8,01	1,16	201,3
PCB 180	0,55	0,36	< 0,21	6,32	0,75	135,9
TOTAL	2,81	2,23	0,45	11,82	2,23	79,4

3.2.2.2 Pesticidas

A Tabela 53 apresenta os resultados estatísticos agrupados dos lagos (E18, E19 e E20) para o parâmetro de pesticidas em água.

Tabela 53: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 105 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
α-BHC	0,52	0,30	< 0,17	6,96	1,03	200,0
β-BHC	1,47	0,45	< 0,37	21,94	2,81	191,5
γ-BHC	0,41	< 0,28	< 0,28	13,90	1,67	409,9
δ-BHC	0,72	0,66	0,26	4,39	0,50	69,2
α-Clordano	3,57	1,88	0,74	45,07	7,03	196,8
β-Clordano	1,89	1,53	0,60	47,67	4,54	239,7
DDD	0,81	< 0,2	< 0,2	37,98	4,99	614,7
DDE	2,53	2,74	1,08	3,40	0,72	28,5
DDT	5,04	4,62	2,21	26,31	3,44	68,3
Dieldrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	4,04	0,50	-
Endrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	< 0,28	-	-
Clordanos	5,47	3,43	1,34	49,40	8,29	151,7
DDD+DDE+DDT	8,39	7,39	3,53	43,95	6,51	77,6
TOTAL	17,04	14,31	5,65	57,97	10,74	63,0

3.2.2.3 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

A Tabela 54 apresenta os resultados estatísticos agrupados dos lagos (E18, E19 e E20) para o parâmetro de hidrocarboneto policíclicos aromáticos (HPAs) em água.

Tabela 54: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 104 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
Naftaleno	5,05	< 1,7	< 1,7	80,15	14,07	278,6
Acenaftileno	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	-	-
Acenafteno	3,0	< 0,8	< 0,8	32,7	7,1	237,2
Fluoreno	17,3	6,2	< 1,6	141,3	29,4	169,7
Fenantreno	67,3	31,9	< 2,3	514,8	96,0	142,8
Antraceno	1,9	< 1,5	< 1,5	51,6	8,2	442,8
Fluoranteno	7,8	< 2,5	< 2,5	71,0	15,4	197,0
Pireno	13,1	< 2,3	< 2,3	136,0	26,4	200,7

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
Benzo(a) antraceno	< 1	< 1	< 1	29,1	3,1	-
Criseno	6,8	< 1,3	< 1,3	110,5	18,8	278,3
Benzo(b) fluoranteno	2,7	< 2,4	< 2,4	47,4	9,7	352,4
Benzo(k) fluoranteno	< 2,3	< 2,3	< 2,3	< 2,3	-	-
Benzo(a) pireno	< 2,4	< 2,4	< 2,4	92,3	9,9	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Dibenzo (a,h) antraceno	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Benzo (g,h,i) perileno	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
TOTAL	146,1	80,3	< 1	887,9	153,3	105,0

3.2.2.4 Hidrocarbonetos alifáticos

A Tabela 55 apresenta os resultados estatísticos agrupados dos lagos (E18, E19 e E20) para o parâmetro de hidrocarboneto alifático em água.

Tabela 55: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 97 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (µg L ⁻¹)	Mediana (µg L ⁻¹)	Mínima (µg L ⁻¹)	Máxima (µg L ⁻¹)	Desvio Padrão (µg L ⁻¹)	CV (%)
C9	< 0,39	< 0,39	< 0,39	1,18	-	-
C10	< 0,23	< 0,23	< 0,23	0,64	-	-
C11	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	-	-
C12	< 0,23	< 0,23	< 0,23	2,10	0,24	-
C13	< 1,25	< 1,25	< 1,25	1,89	-	-
C14	< 1,64	< 1,64	< 1,64	9,91	-	-
C15	0,57	< 0,18	< 0,18	8,18	1,35	236,8
C16	0,96	0,19	< 0,15	8,25	1,84	190,9
C17	1,09	0,35	< 0,17	9,09	1,82	166,4
C18	< 0,95	< 0,95	< 0,95	10,00	1,69	-
C19	1,06	0,38	< 0,24	9,73	1,73	162,2
C20	< 0,85	< 0,85	< 0,85	7,82	1,32	-
C21	< 1,14	< 1,14	< 1,14	8,99	1,54	-
C22	< 1,36	< 1,36	< 1,36	9,60	2,09	-
C23	< 1,51	< 1,51	< 1,51	8,24	2,21	-
C24	< 1,56	< 1,56	< 1,56	9,29	-	-
C25	< 1,43	< 1,43	< 1,43	7,13	1,45	-
C26	1,47	0,55	< 0,19	13,47	2,20	149,7
C27	< 1,43	< 1,43	< 1,43	7,13	-	-

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
C28	1,03	0,60	< 0,17	6,34	1,25	121,8
C29	< 1,18	< 1,18	< 1,18	5,62	1,21	-
C30	< 1,21	< 1,21	< 1,21	5,67	-	-
C31	< 1,09	< 1,09	< 1,09	5,34	1,24	-
C32	< 0,98	< 0,98	< 0,98	4,77	1,08	-
C33	< 1,05	< 1,05	< 1,05	3,61	-	-
C34	< 0,92	< 0,92	< 0,92	2,69	-	-
C35	< 0,84	< 0,84	< 0,84	1,40	-	-
C36	< 0,86	< 0,86	< 0,86	2,57	-	-
C37	< 1,07	< 1,07	< 1,07	2,92	-	-
C38	< 0,82	< 0,82	< 0,82	1,11	-	-
C39	< 0,89	< 0,89	< 0,89	< 0,89	-	-
C40	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Pristano	< 0,89	< 0,89	< 0,89	< 0,89	-	-
Pitano	< 1,06	< 1,06	< 1,06	2,27	-	-
TOTAL	16,71	7,34	< 1	88,06	20,84	12466,9

3.2.2.5 Esteróis

A Tabela 56 apresenta os resultados estatísticos agrupados dos lagos (E18, E19 e E20) para o parâmetro de esteróis em água.

Tabela 56: Resultados obtidos para esteróis na água para as 103 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	0,77	0,77	0,21	2,51	0,28	36,4
3 β -Taraxerol	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,98	-	-
Campesterol	0,93	0,97	< 0,19	1,95	0,27	29,0
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	0,92	0,96	< 0,19	1,41	0,19	20,8
5 α -Cholestan-3 β -ol	0,75	0,77	0,21	1,90	0,21	27,4
Stigmasterol	0,85	0,83	0,39	1,52	0,15	17,8
Stigmasteranol	0,84	0,78	< 0,15	4,79	0,62	74,3
Ergosterol	1,12	1,09	0,87	3,33	-	23,0
Lanosterol	0,94	0,98	< 0,2	1,45	-	18,8
Coprostanol	0,63	0,63	0,48	1,28	-	15,4
5 β -Cholestan-3-one	1,00	1,02	0,66	1,76	-	14,0

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
TOTAL	8,77	8,81	4,04	13,10	1,48	16,8

3.2.3 Metais em sedimento

3.2.3.1 Metais totais

Os valores obtidos para os lagos apresentaram grandes diferenças em relação aos rios analisados, com surgimento de outros contaminantes relevantes, além do Al, Ba, Fe, Ce e Mn, como os elementos terras raras. Observou-se uma leve redução de valores para o Al e Ba, mas com aumento significativo para Fe, Mn, Cr, Pb, Zn e V. No caso do ferro, houve um aumento de 517 % em relação ao valor médio para o Rio Doce. Ressaltam-se os elevados teores dos analitos As, Cr, Cu, La, Ni, Pb, Th, V e Zn que, segundo literatura (VIGLIO, DA CUNHA, 2016) também apresentaram valores muito elevados na lama coletada no Rio Gualaxo, após desastre de Fundão, ou seja: 4,833 ppm (As), 13,500 ppm (Cr), 13,867 ppm (Cu), 1,383 ppm (La), 3,100 ppm (Ni), 4,100 ppm (Pb), 1,517 ppm (Th), 20,167 ppm (V) e 12,167 ppm (Zn), além de mais de 150.000 ppm de Ferro. Os resultados sugerem impacto nestas lagoas, o que merece uma atenção continuada.

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais totais estão apresentados na Tabela 57.

Tabela 57: Concentrações, em ppm ou mg kg^{-1} , para Metais Totais para as 36 amostras de sedimentos analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
Al	146401,8	143905,9	108517,3	187341,4	17292,1	11,8
As	10,6	8,4	3,2	27,2	6,8	63,9
Ba	230,0	185,1	134,9	366,8	88,9	38,6
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	7112,0	3,1	< 0,6	82691,4	22077,2	310,4
Co	9,3	8,3	5,1	16,5	3,1	33,2
Cr	75,8	74,7	48,9	97,1	13,9	18,3
Cu	31,3	28,5	18,0	61,5	9,4	30,1
Dy	3,7	3,1	1,9	6,4	1,4	38,9
Er	1,9	1,6	0,9	3,4	0,7	38,8
Eu	1,1	1,1	< 0,2	2,0	0,7	65,8
Fe	74603,7	77495,5	51977,9	93685,5	10655,6	14,3
Gd	3,7	3,1	1,9	7,0	1,6	43,8

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	0,4	< 0,3	< 0,3	1,6	0,6	146,9
La	38,8	39,3	23,2	54,4	11,5	29,5
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	691,8	514,2	297,0	1555,9	389,7	56,3
Nd	27,0	25,6	15,0	42,0	9,3	34,6
Ni	27,4	26,1	15,7	43,8	6,7	24,6
Pb	36,1	37,3	17,1	54,9	10,8	29,9
Pr	8,2	7,7	4,2	15,3	3,0	36,9
Sm	4,7	4,1	2,6	8,1	1,9	39,4
Sn	5,0	4,0	2,2	9,6	2,3	45,0
Th	20,7	20,8	15,3	23,9	2,5	11,9
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	2,4	2,4	1,3	3,6	-	27,6
V	104,0	97,0	73,0	161,1	24,8	23,9
Yb	1,8	1,5	1,1	2,9	0,6	35,0
Zn	81,7	79,2	46,6	132,3	19,3	23,6

Destacam-se os elevados teores de Al, Fe, Ce e Mn nos sedimentos dos lagos, sendo que o cério não se destacou nas águas deste ambiente.

3.2.3.2 Metais biodisponíveis

Similar aos metais totais, os valores dos metais biodisponíveis para os lagos foram superiores que os dos rios (destacam-se Al, Fe, Ce, Ba e Mn) e também apresentaram um maior número de contaminantes com teores relevantes, sugerindo fortemente impacto do desastre de Fundão neste ecossistema.

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais biodisponíveis estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58: Concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, para Metais Biodisponíveis para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	76083,3	74623,3	45203,6	110943,6	15459,7	20,3
As	7,7	5,6	3,5	17,2	4,4	56,9
Ba	171,3	139,0	108,4	275,2	57,0	33,2
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	5151,4	2,3	< 0,6	63324,2	16173,1	314,0

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Co	8,2	7,4	5,2	13,2	2,3	27,9
Cr	59,4	60,0	39,9	74,9	9,7	16,3
Cu	23,0	21,0	11,9	37,4	7,0	30,6
Dy	2,8	2,5	1,1	5,1	1,1	40,5
Er	1,4	1,3	< 0,4	2,6	0,7	46,2
Eu	0,9	0,9	< 0,2	1,6	0,5	63,2
Fe	60345,2	58082,2	34404,0	82904,8	12203,6	20,2
Gd	2,8	2,4	1,5	5,7	1,3	44,3
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1,5	0,4	-
La	25,9	24,0	12,6	42,3	8,7	33,6
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	585,3	392,4	202,8	1423,0	349,7	59,8
Nd	20,8	17,9	12,7	32,9	7,2	34,7
Ni	21,4	20,3	12,4	35,4	5,7	26,8
Pb	26,2	23,7	11,8	45,9	8,9	33,8
Pr	6,1	5,1	3,5	9,8	2,1	33,9
Sm	3,7	3,2	1,4	6,9	1,5	39,9
Sn	3,5	2,7	1,8	7,7	1,7	47,2
Th	17,6	17,8	14,3	21,5	1,8	10,1
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	1,4	1,5	< 1,2	2,4	-	55,9
V	83,8	78,9	55,8	128,8	20,1	23,9
Yb	0,5	< 0,5	< 0,5	2,2	0,8	152,1
Zn	63,0	62,7	41,2	86,9	11,9	18,9

3.2.3.3 Metais traço na fração trocável (extração sequencial 1)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 1 estão apresentados na Tabela 59.

Tabela 59: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 1 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,1	-	-
Ba	22,0	21,8	6,8	39,4	9,3	42,2
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	1,7	-	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	2,3	< 2	< 2	18,5	4,8	206,8
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	242,7	217,2	88,8	587,4	125,8	51,9
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,2	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,9	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	-	-

Para a Fração 1 em sedimentos dos lagos destaca-se como maior teor o Manganês.

3.2.3.4 Metais traço na fração adsorvida/carbonática (extração sequencial 2)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 2 estão apresentados na Tabela 60.

Tabela 60: Concentrações, em mg kg^{-1} , para metais extraídos na Fração 2 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
Al	35,6	30,1	< 2,1	126,5	33,3	93,7
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	3,1	-	-
Ba	23,1	20,0	10,4	58,1	10,4	45,1
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	96,5	< 0,6	< 0,6	1589,3	356,6	369,5
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,6	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	9,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	2047,8	2025,0	74,1	5964,7	1719,3	84,0
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,8	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	1,2	1,1	< 0,4	4,9	1,4	113,2
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	122,3	98,2	39,1	349,1	72,6	59,3
Nd	1,0	1,3	< 0,5	2,6	0,9	88,7
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	4,2	1,1	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	2,2	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,8	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,0	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	1,5	-	-
V	1,4	< 1,1	< 1,1	8,7	2,4	165,5
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	12,7	3,4	-

Para a fração 2 da extração sequencial dos sedimentos em lagos, destacam-se Fe, Mn e Ce.

3.2.3.5 Metais traço na fração reduzível (extração sequencial 3)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 3 estão apresentados na Tabela 61.

Tabela 61: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 3 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	511,6	531,1	207,3	772,8	128,2	25,1
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	26,3	23,8	13,2	53,8	11,1	42,4
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	768,9	0,7	< 0,6	15635,2	2969,7	386,2
Co	2,1	1,8	1,2	3,7	-	36,7
Cr	3,4	2,9	1,5	5,9	1,3	38,8
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	8,9	-	-
Dy	1,0	1,1	< 0,4	2,0	0,5	45,3
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,3	-	-
Fe	8239,4	7280,6	2556,0	18324,5	4443,6	53,9
Gd	0,9	0,9	< 0,4	1,7	0,5	54,5
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	4,5	4,3	2,1	9,0	1,7	36,9
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	170,9	111,3	30,8	473,2	136,1	79,6
Nd	4,4	4,1	2,4	7,4	1,5	34,3
Ni	2,2	1,8	< 1,1	6,2	1,5	71,0
Pb	4,5	4,4	2,1	9,1	-	37,7
Pr	1,4	1,4	0,6	2,7	0,5	37,5
Sm	1,2	1,1	0,5	2,0	-	35,3
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	8,6	5,6	2,8	19,0	5,4	63,1
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	11,2	10,3	5,8	41,2	6,1	54,7

Para a fração 3, destacam-se valores muito elevados para Fe, Ce e Al em sedimentos dos lagos.

3.2.3.6 Metais traço na fração sulfídica/orgânica (extração sequencial 4)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 4 estão apresentados na Tabela 62.

Tabela 62: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 4 para as 36 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	1609,0	1779,0	160,0	2364,1	555,8	34,5
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	14,2	16,1	< 1,4	25,7	6,7	47,4
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	289,2	< 0,6	< 0,6	3458,6	899,7	311,1
Co	< 0,9	1,1	< 0,9	2,0	-	-
Cr	3,4	3,5	< 1,1	6,0	1,5	44,9
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	9,8	3,2	-
Dy	1,0	1,2	< 0,4	2,2	0,7	71,8
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,1	0,5	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	-	-
Fe	2693,8	2360,8	1074,8	5487,2	1267,7	47,1
Gd	0,7	0,7	< 0,4	2,0	0,8	108,2
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	6,7	5,4	1,5	14,1	3,4	51,4
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	33,8	25,6	5,8	87,5	26,7	78,9
Nd	5,5	4,7	< 0,5	12,8	3,7	67,5
Ni	1,5	1,4	< 1,1	4,4	1,1	76,8
Pb	3,1	3,4	< 1,8	8,2	2,7	85,3
Pr	1,7	1,6	< 0,5	3,7	1,3	76,2
Sm	1,3	1,4	< 0,5	2,6	0,8	63,8
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	1,3	< 1,1	2,6	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,7	1,2	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,7	0,6	-
Zn	5,4	5,8	< 2,9	15,4	4,4	82,5

Para a fração 4- extração sequencial, destacam-se Fe, Al e Ce em sedimentos de lagos.

3.2.4 Orgânicos em sedimento

3.2.4.1 Bifenilos policlorados – PCBs

Os resultados individuais para cada PCB, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 63.

Tabela 63: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para PCBs nos sedimentos das 31 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
PCB 028	1,15	< 0,02	< 0,02	8,87	2,45	212,4
PCB 052	0,09	< 0,03	< 0,03	2,17	0,39	434,9
PCB 101	3,47	3,77	0,38	6,43	1,65	47,5
PCB 118	0,05	< 0,04	< 0,04	0,76	0,16	332,2
PCB 138	0,10	< 0,05	< 0,05	0,51	0,18	186,6
PCB 153	0,74	0,50	< 0,05	3,71	0,94	127,2
PCB 180	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,92	-	-
TOTAL	5,81	4,72	0,72	16,71	4,14	71,3

3.2.4.2 Pesticidas

Os resultados individuais para cada pesticida, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 64.

Tabela 64: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para pesticidas em sedimentos das 31 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
α -BHC	2,41	1,90	< 0,01	7,91	2,43	100,7
β -BHC	0,50	< 0,01	< 0,01	6,93	1,30	259,2
γ -BHC	2,90	2,59	< 0,01	8,11	2,54	87,7
δ -BHC	0,08	< 0,01	< 0,01	1,65	0,31	382,3
α -Chlordane	0,31	0,14	0,07	3,21	0,76	242,3
γ -Chlordane	0,22	0,12	0,06	1,80	0,40	180,7
DDD	0,40	< 0,01	< 0,01	7,12	1,45	361,6
DDE	0,60	0,22	0,10	4,61	1,03	170,3
DDT	0,40	0,35	0,17	2,97	0,50	125,0
Dieldrin	0,59	0,31	< 0,01	6,39	1,15	195,5
Endrin	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-
DDD+DDE+DDT	1,40	0,68	0,27	7,41	1,90	135,5
TOTAL	8,42	7,23	1,05	21,53	5,04	59,8

3.2.4.3 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 65.

Tabela 65: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos das 25 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
Naftaleno	1,61	0,88	< 0,1	8,71	2,09	129,6
Acenaftileno	3,85	1,88	< 0,1	16,45	5,16	134,1
Acenafteno	0,74	0,35	< 0,1	4,97	1,21	162,6
Fluoreno	3,87	2,20	< 0,1	29,38	5,95	153,6
Fenantreno	12,93	12,74	< 0,2	60,31	12,69	98,1
Antraceno	2,40	0,92	< 0,1	15,97	3,92	163,2
Fluoranteno	2,38	< 0,2	< 0,2	12,36	3,43	143,9
Pireno	4,73	3,74	< 0,2	20,48	5,58	117,9
Benzo(a) antraceno	1,85	< 0,1	< 0,1	17,28	4,08	220,6
Criseno	2,18	< 0,1	< 0,1	15,61	4,64	213,4
Benzo(b) fluoranteno	9,78	1,92	< 0,2	83,33	20,39	208,5
Benzo(k) fluoranteno	5,29	0,44	< 0,2	48,32	11,40	215,3
Benzo(a) pireno	0,23	< 0,2	< 0,2	3,91	0,80	347,7
Indeno (1,2,3-cd) pireno	4,01	0,23	< 0,1	22,70	6,20	154,7
Dibenzo (a,h) antraceno	3,72	1,77	< 0,2	17,09	4,57	122,8
Benzo (g,h,i) perileno	1,06	< 0,2	< 0,2	10,55	2,52	237,5
TOTAL	60,65	38,00	0,53	284,32	64,88	107,0

3.2.4.4 Hidrocarbonetos alifáticos

Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 66.

Tabela 66: Concentrações, em mg kg^{-1} , para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 24 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
C9	0,11	0,12	< 0,03	0,42	0,16	146,9
C10	0,05	< 0,03	< 0,03	0,22	0,14	255,8
C11	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,11	-	-
C12	0,05	< 0,03	< 0,03	0,10	0,11	212,9

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
C13	0,31	< 0,04	< 0,04	0,15	0,79	253,0
C14	0,36	< 0,06	< 0,06	1,77	0,63	178,1
C15	1,18	0,25	< 0,08	5,83	1,78	151,1
C16	1,59	0,52	< 0,09	9,74	2,72	171,2
C17	2,56	1,68	< 0,09	7,39	2,64	103,3
C18	0,90	0,22	< 0,05	2,89	1,21	133,4
C19	1,90	0,88	< 0,05	5,79	2,42	127,1
C20	0,91	0,30	< 0,1	2,24	1,15	126,3
C21	1,67	0,83	< 0,04	3,78	2,13	127,4
C22	1,40	0,77	< 0,05	2,78	1,83	130,6
C23	1,95	0,97	< 0,05	4,11	2,51	129,0
C24	1,32	0,83	< 0,05	3,42	1,87	141,6
C25	1,38	0,94	< 0,05	4,89	1,35	97,3
C26	1,36	0,70	0,09	4,20	1,56	114,3
C27	2,91	1,15	0,20	23,75	4,92	168,8
C28	0,67	0,50	0,09	1,59	0,52	77,3
C29	1,63	1,12	0,22	6,00	1,54	94,6
C30	1,11	0,85	< 0,05	4,87	1,18	106,7
C31	1,84	1,64	0,22	3,84	1,53	83,2
C32	0,90	0,71	< 0,05	3,09	0,92	102,7
C33	2,43	1,71	0,24	5,83	2,11	86,9
C34	0,76	0,54	< 0,05	3,63	0,91	118,6
C35	1,85	1,25	0,15	4,32	1,74	94,0
C36	0,46	0,34	< 0,05	1,49	0,52	113,1
C37	1,20	0,85	< 0,09	3,16	1,16	95,9
C38	0,16	< 0,05	< 0,05	0,85	0,22	135,6
C39	0,35	0,10	< 0,05	2,14	0,52	148,3
C40	0,14	< 0,08	< 0,08	1,12	0,29	216,2
Pristano	0,17	< 0,07	< 0,07	1,37	0,33	201,0
Pitano	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	-	-
TOTAL	35,61	24,35	1,69	77,86	33,30	93,5

3.2.4.5 Esteróis

Os resultados individuais para cada esterol, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 67.

Tabela 67: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 25 amostras analisadas dos Lagos (Estações 18, 19 e 20).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	241,6	163,0	56,7	686,7	195,7	81,0
3 β -Taraxerol	159,8	134,7	31,1	412,2	108,5	67,9
Campesterol	175,9	176,5	58,9	385,0	94,7	53,8
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	82,2	77,1	66,6	105,5	10,1	12,2
5 α -Cholestan-3 β -ol	228,7	163,0	56,7	686,7	186,3	81,5
Stigmasterol	123,7	76,1	40,7	371,6	92,4	74,6
Stigmastanol	99,3	90,4	56,1	216,5	42,2	42,5
Ergosterol	87,2	87,4	78,6	92,4	-	4,1
Lanosterol	81,5	80,0	61,1	108,8	8,7	10,7
Coprostanol	60,9	58,0	45,6	91,1	12,9	21,2
5 β -Cholestan-3-one	89,3	83,3	73,6	142,7	16,0	18,0
TOTAL	1430,0	1395,8	744,7	2462,8	548,0	38,3

3.3 AMBIENTE LACUSTRE: LAGOAS

3.3.1 Metais em água

As Tabelas 68 a 70 apresentam os resultados estatísticos agrupados das lagoas (E23, E24, E25 e E25a) para os parâmetros de metais totais, metais dissolvidos em água, além de metais em material particulado em suspensão.

3.3.1.1 Metais traço totais

Tabela 68: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Totais para as 44 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	357,0	340,7	68,1	919,7	201,1	56,3
As	1,2	1,0	< 0,9	3,4	1,1	93,5
Ba	49,7	48,4	19,8	94,3	14,5	29,3
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	3,4	3,5	< 0,6	11,4	2,5	72,3
Co	4,0	2,7	< 0,9	14,6	4,2	104,8
Cr	2,5	2,2	< 1,1	7,0	1,7	70,1
Cu	10,7	7,4	< 2,5	48,2	11,3	105,1

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	2529,0	2657,5	1251,9	4321,0	696,4	27,5
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	-	-
Ho	1,2	1,0	< 0,3	3,4	1,1	93,5
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	11,8	< 0,5	< 0,5	249,8	48,3	410,8
Mn	163,9	94,6	8,7	593,1	152,5	93,0
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	5,7	4,0	< 1,1	24,3	6,0	104,2
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	5,9	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	6,5	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	3,9	3,4	1,2	9,4	2,0	51,3
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	17,1	12,6	3,7	57,1	13,1	76,9

Para os metais totais em água dos lagos destacam-se Fe, Al e Mn, seguido de bário.

3.3.1.2 Metais traço particulados

Tabela 69: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais no Material Particulado em Suspensão para as 42 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	282,2	276,2	< 2,1	749,2	184,8	65,5
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,1	-	-
Ba	4,8	3,3	< 1,4	33,0	5,9	121,8
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	3,0	0,8	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	6,2	1,5	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	1775,2	1646,4	< 2	4012,8	806,5	45,4
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1,1	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	5,0	< 0,5	< 0,5	113,6	22,3	445,5
Mn	90,5	50,9	< 1,1	421,4	106,4	117,5
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	4,3	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	1,9	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	4,9	1,5	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	5,9	-	-

3.3.1.3 Metais traço dissolvidos

Tabela 70: Concentrações, em $\mu\text{g L}^{-1}$, para Metais Dissolvidos para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Al	35,9	32,7	11,1	78,4	19,7	54,8
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	33,6	35,0	15,9	46,1	8,1	24,1
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	2,5	0,6	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,6	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,8	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	10,4	3,2	-

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	543,6	437,1	25,9	1304,8	370,1	68,1
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Lu	5,5	< 0,5	< 0,5	114,2	23,1	419,2
Mn	57,4	8,0	1,5	324,1	85,9	149,6
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	1,5	2,0	< 1,1	8,5	1,7	114,0
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	1,9	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,1	1,3	< 1,1	3,9	1,2	106,8
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	8,4	6,5	< 2,9	29,9	6,4	76,1

Destacam-se como metais dissolvidos em águas das lagoas, Fe e Mn, seguido de Al e Ba.

3.3.2 Orgânicos em água

3.3.2.1 Bifenilos policlorados – PCBs

A Tabela 71 apresenta os resultados estatísticos agrupados das lagoas (E23, E24, E25 e E25a) para o parâmetro de Bifenilos policlorados (PCBs) em água.

Tabela 71: Resultados obtidos para PCBs na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (ng L^{-1})	Mediana (ng L^{-1})	Mínima (ng L^{-1})	Máxima (ng L^{-1})	Desvio Padrão (ng L^{-1})	CV (%)
PCB 028	0,37	0,35	< 0,21	1,62	0,37	99,8
PCB 052	0,22	< 0,21	< 0,21	1,16	0,33	149,9
PCB 101	< 0,21	< 0,21	< 0,21	< 0,21	-	-
PCB 118	0,32	< 0,21	< 0,21	5,21	0,95	294,3
PCB 138	0,47	0,34	< 0,21	1,63	0,44	93,2

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
PCB 153	0,81	0,22	< 0,21	5,35	1,16	143,4
PCB 180	0,54	0,61	< 0,21	2,11	0,51	95,5
TOTAL	2,73	2,33	0,42	7,75	1,64	60,2

3.3.2.2 Pesticidas

A Tabela 72 apresenta os resultados estatísticos agrupados das lagoas (E23, E24, E25 e E25a) para o parâmetro de pesticidas em água.

Tabela 72: Resultados obtidos para pesticidas na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
α-BHC	0,45	0,17	< 0,17	7,92	1,19	266,7
β-BHC	0,95	< 0,37	< 0,37	5,43	1,50	157,7
γ-BHC	< 0,28	< 0,28	< 0,28	9,39	1,42	-
δ-BHC	0,76	0,66	0,29	4,89	0,70	92,6
α-Clordano	3,79	1,89	0,84	49,87	9,15	241,6
β-Clordano	1,37	1,48	0,69	1,91	0,43	31,4
DDD	3,55	< 0,2	< 0,2	84,87	13,98	394,2
DDE	2,45	2,66	1,23	3,42	0,77	31,4
DDT	4,27	4,45	2,06	8,87	1,57	36,8
Dieldrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	3,49	0,64	-
Endrin	< 0,28	< 0,28	< 0,28	< 0,28	-	-
Clordanos	5,15	3,44	1,53	51,42	9,21	178,7
DDD+DDE+DDT	10,26	7,40	3,50	92,21	14,32	139,5
TOTAL	17,99	13,71	5,57	96,75	16,86	93,8

3.3.2.3 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

A Tabela 73 apresenta os resultados estatísticos agrupados das lagoas (E23, E24, E25 e E25a) para o parâmetro de hidrocarboneto policíclicos aromáticos (HPAs) em água.

Tabela 73: Resultados obtidos para hidrocarbonetos poliaromáticos na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (ng L ⁻¹)	Mediana (ng L ⁻¹)	Mínima (ng L ⁻¹)	Máxima (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão (ng L ⁻¹)	CV (%)
Naftaleno	2,66	< 1,7	< 1,7	28,34	6,28	236,2
Acenaftileno	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	-	-
Acenafteno	3,4	< 0,8	< 0,8	57,7	10,1	294,9
Fluoreno	13,3	< 1,6	< 1,6	70,2	19,7	148,2
Fenantreno	47,2	31,1	< 2,3	236,1	61,4	130,0
Antraceno	9,2	< 1,5	< 1,5	86,6	22,6	244,2
Fluoranteno	9,7	< 2,5	< 2,5	99,4	20,9	216,3
Pireno	6,1	< 2,3	< 2,3	54,6	14,8	242,0
Benzo(a) antraceno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	-
Criseno	4,2	< 1,3	< 1,3	70,3	14,4	343,1
Benzo(b) fluoranteno	< 2,4	< 2,4	< 2,4	29,1	4,6	-
Benzo(k) fluoranteno	< 2,3	< 2,3	< 2,3	< 2,3	-	-
Benzo(a) pireno	< 2,4	< 2,4	< 2,4	< 2,4	-	-
Indeno (1,2,3-cd) pireno	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Dibenzo (a,h) antraceno	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-
Benzo (g,h,i) perileno	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
TOTAL	112,8	60,6	< 1	352,7	96,3	85,3

3.3.2.4 Hidrocarbonetos alifáticos

A Tabela 74 apresenta os resultados estatísticos agrupados das lagoas (E23, E24, E25 e E25a) para o parâmetro de hidrocarboneto alifático em água.

Tabela 74: Resultados obtidos para hidrocarbonetos alifáticos na água para as 41 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (µg L ⁻¹)	Mediana (µg L ⁻¹)	Mínima (µg L ⁻¹)	Máxima (µg L ⁻¹)	Desvio Padrão (µg L ⁻¹)	CV (%)
C9	< 0,39	< 0,39	< 0,39	1,09	-	-
C10	< 0,23	< 0,23	< 0,23	< 0,23	-	-
C11	< 1,25	< 1,25	< 1,25	< 1,25	-	-
C12	< 0,23	< 0,23	< 0,23	< 0,23	-	-
C13	< 1,25	< 1,25	< 1,25	1,57	-	-
C14	< 1,64	< 1,64	< 1,64	2,11	-	-
C15	0,75	< 0,18	< 0,18	5,43	1,34	179,7
C16	1,24	0,38	< 0,15	6,94	1,92	154,9

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
C17	1,42	0,43	< 0,17	7,94	2,12	149,7
C18	1,16	< 0,95	< 0,95	8,17	2,03	174,6
C19	1,49	0,62	< 0,24	9,59	2,14	144,3
C20	0,90	< 0,85	< 0,85	6,50	1,68	187,8
C21	< 1,14	< 1,14	< 1,14	9,54	2,30	-
C22	< 1,36	< 1,36	< 1,36	8,79	2,08	-
C23	< 1,51	< 1,51	< 1,51	6,33	1,57	-
C24	< 1,56	< 1,56	< 1,56	5,02	-	-
C25	< 1,43	< 1,43	< 1,43	7,41	1,58	-
C26	1,45	0,54	< 0,19	7,18	1,90	131,1
C27	< 1,43	< 1,43	< 1,43	5,52	-	-
C28	1,11	0,58	< 0,17	8,11	1,54	139,2
C29	< 1,18	< 1,18	< 1,18	7,41	1,56	-
C30	< 1,21	< 1,21	< 1,21	7,54	1,54	-
C31	< 1,09	< 1,09	< 1,09	7,38	1,55	-
C32	< 0,98	< 0,98	< 0,98	6,32	1,32	-
C33	< 1,05	< 1,05	< 1,05	5,53	1,26	-
C34	< 0,92	< 0,92	< 0,92	2,88	-	-
C35	< 0,84	< 0,84	< 0,84	1,80	-	-
C36	< 0,86	< 0,86	< 0,86	0,99	-	-
C37	< 1,07	< 1,07	< 1,07	< 1,07	-	-
C38	< 0,82	< 0,82	< 0,82	< 0,82	-	-
C39	< 0,89	< 0,89	< 0,89	< 0,89	-	-
C40	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Pristano	< 0,89	< 0,89	< 0,89	< 0,89	-	-
Pitano	< 1,06	< 1,06	< 1,06	< 1,06	-	-
TOTAL	19,74	8,38	< 1	75,52	23,73	12022,6

3.3.2.5 Esteróis

A Tabela 75 apresenta os resultados estatísticos agrupados das lagoas (E23, E24, E25 e E25a) para o parâmetro de esteróis em água.

Tabela 75: Resultados obtidos para esteróis na água para as 45 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
5 β -Cholestan-3 β -ol	0,75	0,77	0,22	1,78	0,24	32,3

Analito	Média ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV (%)
3 β -Taraxerol	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,77	-	-
Campesterol	0,96	0,97	< 0,19	2,26	0,32	33,6
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	0,94	0,96	< 0,19	1,31	-	18,2
5 α -Cholestan-3 β -ol	0,77	0,77	0,22	1,78	0,27	35,1
Stigmasterol	0,88	0,83	0,44	1,62	0,21	24,4
Stigmastanol	1,01	0,78	< 0,15	4,83	0,88	86,9
Ergosterol	1,08	1,08	< 0,28	1,49	-	19,2
Lanosterol	0,92	0,98	< 0,2	1,20	0,23	25,1
Coprostanol	0,62	0,63	0,50	0,81	-	9,1
5 β -Cholestan-3-one	1,00	1,02	0,69	1,28	-	10,7
TOTAL	8,94	8,82	2,26	13,82	2,03	22,7

3.3.3 Metais em sedimento

3.3.3.1 Metais totais

Assim como os lagos, as lagoas também apresentaram valores elevados dos mesmos analitos. Entretanto, a maioria apresentou valores médios um pouco inferiores aos observados para os lagos, com exceção do manganês, arsênio e bário. O arsênio também duplicou seu valor nas lagoas em relação aos lagos, atingindo valor médio de 23 ppm, superior ao permitido pelo CONAMA, que é de 17 ppm para nível 2. Estes dados mostram o grande impacto nos lagos e lagoas da bacia. Igualmente elevados são os valores de cromo para lagos (75,8 ppm) e lagoas (68,3 ppm), superiores aos valores limites do CONAMA nível 1 (37 ppm) e próximos do limite de 90 ppm, nível 2. Cromo pode causar danos no fígado e rins, além de pulmões, já o arsênio é carcinogênico, logo ambos são bastante tóxicos à saúde humana. Um trabalho junto aos órgãos ambientais precisa ser feito no que tange aos ambientes de lagos e lagoas, especialmente sedimentos, para que possam ter estes indicadores melhorados.

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais totais estão apresentados na Tabela 76.

Tabela 76: Concentrações, em ppm ou mg kg^{-1} , para Metais Totais para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg^{-1})	Mediana (mg kg^{-1})	Mínima (mg kg^{-1})	Máxima (mg kg^{-1})	Desvio Padrão (mg kg^{-1})	CV (%)
Al	68637,6	54636,7	10663,1	162859,7	55461,3	80,8

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
As	23,4	15,6	< 0,9	80,6	22,9	98,0
Ba	241,1	214,5	70,8	489,3	129,8	53,8
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	3712,3	4,3	< 0,6	82775,5	14295,9	385,1
Co	13,5	13,1	1,4	26,1	8,1	60,5
Cr	68,3	75,6	10,2	122,3	31,9	46,7
Cu	29,0	28,2	10,0	47,3	10,0	34,7
Dy	4,0	4,6	< 0,4	7,7	2,4	59,1
Er	2,2	2,4	< 0,4	4,0	1,4	65,1
Eu	0,9	0,4	< 0,2	2,6	1,0	112,4
Fe	44036,0	35148,1	9015,6	98124,8	28418,1	64,5
Gd	3,8	3,4	< 0,4	8,7	2,9	76,3
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	0,7	0,5	< 0,3	1,9	0,7	104,5
La	32,6	28,1	3,4	71,9	22,6	69,5
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	751,3	662,0	106,0	1872,5	538,3	71,6
Nd	22,0	14,3	3,4	55,0	18,9	86,1
Ni	25,0	19,9	9,0	55,5	12,6	50,5
Pb	18,9	11,6	< 1,8	44,5	13,9	73,2
Pr	7,1	6,1	1,1	15,6	4,9	69,2
Sm	4,6	3,9	< 0,5	10,5	3,3	71,9
Sn	3,2	3,5	< 1,6	7,8	2,7	82,3
Th	10,9	9,2	1,8	26,1	8,6	79,0
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	2,6	2,2	1,2	4,8	-	44,2
V	56,6	55,0	3,5	124,5	41,6	73,5
Yb	1,7	2,2	< 0,5	3,7	1,5	84,1
Zn	56,7	60,9	8,5	109,5	31,2	55,1

3.3.3.2 Metais biodisponíveis

Neste caso os teores de Fe nos metais biodisponíveis das lagoas foram bem superiores aos dos lagos, o que não se observou para os outros metais considerados relevantes.

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo para os metais totais estão apresentados na Tabela 77.

Tabela 77: Concentrações, em ppm ou mg kg⁻¹, para Metais Biodisponíveis para as 46 amostras de sedimentos analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	13703,7	7605,2	1217,5	45585,7	13764,8	100,4
As	17,5	11,9	< 0,9	69,4	18,3	104,5
Ba	113,4	67,8	4,2	462,3	118,0	104,0
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	3123,2	2,9	< 0,6	67726,7	11958,8	382,9
Co	11,2	11,0	1,2	22,9	7,1	63,3
Cr	50,6	52,5	5,7	104,8	31,4	62,0
Cu	21,1	19,0	5,9	46,8	11,0	52,1
Dy	3,0	3,0	< 0,4	6,5	2,1	70,1
Er	1,7	2,0	< 0,4	3,2	1,2	66,9
Eu	0,6	< 0,2	< 0,2	2,2	0,8	134,2
Fe	34494,1	30269,1	6477,0	88490,5	22346,5	64,8
Gd	2,9	2,7	< 0,4	7,8	2,4	81,3
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	0,6	< 0,3	< 0,3	1,8	0,7	116,1
La	24,6	21,7	2,5	61,7	18,2	73,9
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	520,3	453,6	64,9	1467,7	387,3	74,4
Nd	18,1	8,4	2,2	48,7	17,0	93,8
Ni	17,2	14,6	3,0	37,9	10,3	60,0
Pb	14,1	7,6	< 1,8	45,6	11,6	82,4
Pr	5,4	4,7	0,8	13,8	4,1	75,8
Sm	3,3	3,4	< 0,5	9,0	2,7	81,9
Sn	1,7	1,8	< 1,6	5,9	1,6	98,8
Th	8,7	7,6	1,4	23,5	7,1	80,7
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	1,6	1,7	< 1,2	3,4	-	58,8
V	45,4	43,3	< 1,1	104,3	35,2	77,7
Yb	1,5	1,9	< 0,5	3,3	1,2	85,1
Zn	45,9	44,6	5,2	99,9	28,4	61,9

Elementos como Al, Fe, Ce e Mn destacaram-se no ambiente de lagoas para os metais biodisponíveis dos sedimentos.

3.3.3.3 Metais traço na fração trocável (extração sequencial 1)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 1 estão apresentados na Tabela 78.

Tabela 78: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 1 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,1	-	-
Ba	10,1	7,8	< 1,4	45,1	10,2	100,9
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	< 0,6	< 0,6	< 0,6	3,5	0,8	-
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	3,5	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-
Fe	3,4	< 2	< 2	53,7	9,1	267,7
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2,5	0,5	-
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	166,8	57,2	11,3	693,3	214,8	128,8
Nd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,0	-	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,2	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	< 2,9	-	-

O manganês destacou-se na fração 1 extraída dos sedimentos das lagoas, como aconteceu com as lagoas.

3.3.3.4 Metais traço na fração adsorvida/carbonática (extração sequencial 2)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 2 estão apresentados na Tabela 79.

Tabela 79: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 2 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	28,5	< 2,1	< 2,1	304,0	58,9	206,6
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	14,9	12,1	< 1,4	45,0	12,2	81,9
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	106,6	< 0,6	< 0,6	2205,6	394,4	370,0
Co	< 0,9	< 0,9	< 0,9	2,8	-	-
Cr	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,3	-	-
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	6,6	-	-
Dy	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,8	-	-
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	-	-
Fe	1087,4	892,3	144,2	3036,3	892,8	82,1
Gd	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,7	0,4	-
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	1,4	< 0,4	< 0,4	9,5	2,2	163,7
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	85,1	35,1	6,6	385,3	104,1	122,3
Nd	1,0	< 0,5	< 0,5	7,2	1,9	189,7
Ni	< 1,1	< 1,1	< 1,1	6,7	1,4	-
Pb	< 1,8	< 1,8	< 1,8	2,4	-	-
Pr	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,7	-	-
Sm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,4	-	-
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	4,2	-	-
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Zn	< 2,9	< 2,9	< 2,9	5,8	-	-

Assim como os lagos, destacam-se na fração 2 da extração sequencial de lagoas o Fe, Mn e Ce.

3.3.3.5 Metais traço na fração reduzível (extração sequencial 3)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 3 estão apresentados na Tabela 80.

Tabela 80: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 3 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	330,1	227,8	97,2	810,2	209,3	63,4
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	1,4	-	-
Ba	18,8	16,9	< 1,4	48,3	17,1	90,9
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	318,4	< 0,6	< 0,6	4935,6	1020,9	320,7
Co	3,2	3,1	< 0,9	7,7	2,4	74,7
Cr	2,4	1,8	< 1,1	5,9	1,7	72,3
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	10,0	2,5	-
Dy	1,0	1,0	< 0,4	2,9	0,8	80,4
Er	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,6	-	-
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	-	-
Fe	3885,0	3814,9	1749,1	7563,0	1348,1	34,7
Gd	1,0	0,9	< 0,4	3,1	0,9	89,3
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
La	5,1	4,2	< 0,4	16,5	4,3	84,6
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	166,6	142,9	12,4	638,5	133,4	80,1
Nd	5,1	4,2	< 0,5	16,0	4,1	80,3
Ni	1,8	1,8	< 1,1	5,3	1,6	86,8
Pb	1,9	< 1,8	< 1,8	10,2	3,1	159,9
Pr	1,5	1,5	< 0,5	4,3	1,2	79,1
Sm	1,2	1,1	< 0,5	3,5	1,0	81,7
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,1	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	1,7	1,2	< 1,1	6,3	2,0	122,9
Yb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,1	-	-
Zn	9,2	9,0	< 2,9	35,3	8,2	88,8

Destacaram-se Fe, Ce, Al e Mn para a extração sequencial da fração 3 de lagoas.

3.3.3.6 Metais traço na fração sulfídica/orgânica (extração sequencial 4)

Os resultados estatísticos como valores mínimos, máximos, média, mediana, desvio padrão e desvio padrão relativo aos metais da extração sequencial na Fração 4 estão apresentados na Tabela 81.

Tabela 81: Concentrações, em mg kg⁻¹, para metais extraídos na Fração 4 para as 46 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
Al	871,0	568,0	169,5	2376,9	724,8	83,2
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	-	-
Ba	8,6	2,0	< 1,4	41,6	11,6	135,7
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Ce	277,9	< 0,6	< 0,6	4987,3	967,0	347,9
Co	1,1	< 0,9	< 0,9	3,8	1,4	125,6
Cr	3,8	2,0	< 1,1	12,9	4,1	109,8
Cu	< 2,5	< 2,5	< 2,5	13,4	3,0	-
Dy	0,9	< 0,4	< 0,4	3,0	1,2	125,8
Er	0,4	< 0,4	< 0,4	1,7	0,6	142,2
Eu	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,7	-	-
Fe	2304,2	2274,8	161,2	4987,3	1320,7	57,3
Gd	0,8	< 0,4	< 0,4	3,1	1,1	139,9
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-
Ho	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1,0	-	-
La	6,4	3,1	< 0,4	20,6	6,7	105,4
Lu	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-
Mn	35,1	27,0	< 1,1	85,3	29,2	83,3
Nd	6,0	5,1	< 0,5	17,6	5,5	92,0
Ni	1,4	< 1,1	< 1,1	5,3	1,5	109,1
Pb	2,2	< 1,8	< 1,8	13,8	3,5	160,7
Pr	1,4	< 0,5	< 0,5	5,7	1,9	131,5
Sm	1,1	< 0,5	< 0,5	5,2	1,5	135,2
Sn	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	-	-
Th	< 1,1	< 1,1	< 1,1	2,2	-	-
Tm	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	-	-
U	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	-	-
V	< 1,1	< 1,1	< 1,1	3,5	-	-
Yb	0,7	< 0,5	< 0,5	5,0	1,0	150,0
Zn	3,4	< 2,9	< 2,9	36,0	6,6	193,5

Também se destacaram Fe, Ce, Al e Mn para a extração sequencial- fração 4 de lagoas.

3.3.4 Orgânicos em sedimento

3.3.4.1 Bifenilos policlorados – PCBs

Os resultados individuais para cada PCB, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 82.

Tabela 82: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para PCBs nos sedimentos das 43 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
PCB 028	0,72	< 0,02	< 0,02	6,40	1,47	203,3
PCB 052	0,16	< 0,03	< 0,03	4,89	0,75	460,0
PCB 101	3,59	3,84	< 0,03	8,96	1,71	47,5
PCB 118	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	-	-
PCB 138	0,23	< 0,05	< 0,05	2,97	0,60	263,1
PCB 153	1,00	0,53	< 0,05	6,35	1,37	136,6
PCB 180	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1,04	-	-
TOTAL	5,93	5,65	< 0,05	15,85	3,03	51,0

3.3.4.2 Pesticidas

Os resultados individuais para cada pesticida, bem como a soma das concentrações, estão apresentados nas Tabelas 39 a 42.

Tabela 83: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para pesticidas em sedimentos das 43 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
α -BHC	2,04	1,51	< 0,01	12,54	2,47	120,8
β -BHC	0,38	< 0,01	< 0,01	2,56	0,69	180,0
γ -BHC	2,64	2,51	< 0,01	7,06	2,15	81,2
δ -BHC	0,25	< 0,01	< 0,01	3,74	0,76	308,1
α -Chlordane	0,18	0,07	0,07	2,70	0,40	224,1
γ -Chlordane	0,14	0,06	0,06	1,39	0,22	155,5
DDD	1,15	< 0,01	< 0,01	19,01	3,14	274,4
DDE	0,19	0,11	0,10	1,37	0,20	106,1
DDT	0,31	0,19	0,17	1,23	0,21	67,7
Dieldrin	0,95	< 0,01	< 0,01	8,03	2,21	231,8
Endrin	0,01	< 0,01	< 0,01	0,52	0,08	655,7

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
DDD+DDE+DDT	1,65	0,56	0,27	19,53	3,21	194,6
TOTAL	8,25	7,95	0,85	21,26	4,61	56,0

3.3.4.3 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs

Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 84.

Tabela 84: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para hidrocarbonetos poliaromáticos nos sedimentos das 33 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
Naftaleno	1,52	0,38	< 0,1	10,17	2,33	153,1
Acenaftileno	2,48	< 0,1	< 0,1	13,24	3,63	146,5
Acenafteno	1,22	< 0,1	< 0,1	9,98	2,47	202,7
Fluoreno	3,59	2,40	< 0,1	15,12	3,99	111,4
Fenantreno	10,78	8,51	< 0,2	44,90	11,02	102,2
Antraceno	1,31	< 0,1	< 0,1	11,51	3,02	229,6
Fluoranteno	3,20	1,79	< 0,2	15,99	4,25	132,5
Pireno	3,08	< 0,2	< 0,2	9,99	3,68	119,3
Benzo(a) antraceno	1,09	< 0,1	< 0,1	10,10	2,51	230,9
Criseno	2,99	< 0,1	< 0,1	14,34	5,00	167,1
Benzo(b) fluoranteno	3,46	1,75	< 0,2	15,81	4,26	123,0
Benzo(k) fluoranteno	1,61	< 0,2	< 0,2	8,65	2,61	161,8
Benzo(a) pireno	1,10	< 0,2	< 0,2	12,26	2,89	262,8
Indeno (1,2,3-cd) pireno	2,44	< 0,1	< 0,1	19,09	5,05	207,4
Dibenzo (a,h) antraceno	1,19	< 0,2	< 0,2	9,30	2,27	190,9
Benzo (g,h,i) perileno	0,27	< 0,2	< 0,2	3,82	0,73	271,4
TOTAL	41,34	36,51	< 0,1	108,92	32,59	78,8

3.3.4.4 Hidrocarbonetos alifáticos

Os resultados individuais para cada hidrocarboneto, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 85.

Tabela 85: Concentrações, em mg kg⁻¹, para hidrocarbonetos alifáticos nos sedimentos das 28 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média (mg kg ⁻¹)	Mediana (mg kg ⁻¹)	Mínima (mg kg ⁻¹)	Máxima (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)	CV (%)
C9	0,08	< 0,03	< 0,03	0,57	0,13	152,9
C10	0,03	< 0,03	< 0,03	0,20	0,07	187,6
C11	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,14	-	-
C12	0,03	< 0,03	< 0,03	0,30	0,07	228,2
C13	0,09	< 0,04	< 0,04	1,33	0,28	320,2
C14	0,12	< 0,06	< 0,06	0,72	0,20	173,7
C15	0,43	0,13	< 0,08	2,42	0,63	146,5
C16	0,87	0,35	< 0,09	3,28	1,09	124,0
C17	1,60	0,87	< 0,09	5,85	1,89	117,7
C18	0,87	0,22	< 0,05	5,84	1,29	149,2
C19	1,12	0,70	< 0,05	4,51	1,25	111,4
C20	0,64	0,37	< 0,1	2,04	0,68	106,2
C21	0,79	0,53	< 0,04	3,22	0,88	111,2
C22	0,73	0,45	< 0,05	3,46	0,85	116,0
C23	1,28	0,54	< 0,05	6,16	1,67	130,6
C24	0,95	0,35	< 0,05	5,09	1,26	133,0
C25	1,59	0,51	< 0,05	16,71	3,32	209,0
C26	1,19	0,60	< 0,05	6,28	1,67	139,6
C27	1,15	0,60	< 0,05	8,28	1,90	164,8
C28	0,76	0,55	< 0,06	4,52	1,03	134,8
C29	0,98	0,74	< 0,05	3,94	0,98	100,2
C30	0,68	0,58	< 0,05	2,08	0,63	92,7
C31	1,49	0,94	< 0,05	6,54	1,65	110,7
C32	0,83	0,62	< 0,05	4,31	1,11	133,5
C33	1,50	0,94	< 0,07	6,95	1,69	112,4
C34	0,82	0,46	< 0,05	4,87	1,31	159,8
C35	1,10	0,73	< 0,05	4,75	1,11	101,0
C36	0,58	0,29	< 0,05	4,18	0,97	166,2
C37	0,75	0,35	< 0,09	4,56	1,00	133,5
C38	0,17	< 0,05	< 0,05	1,18	0,29	167,9
C39	0,25	0,05	< 0,05	2,31	0,48	191,7
C40	0,10	< 0,08	< 0,08	1,34	0,28	286,0
Pristano	0,14	< 0,07	< 0,07	1,79	0,39	277,1
Pitano	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	-	-
TOTAL	23,74	15,28	0,07	90,44	24,75	104,2

3.3.4.5 Esteróis

Os resultados individuais para cada esterol, bem como a soma das concentrações, estão apresentados na Tabela 86.

Tabela 86: Concentrações, em $\mu\text{g kg}^{-1}$, para esteróis em sedimentos das 32 amostras analisadas das Lagoas (Estações 23, 24, 25 e 25a).

Analito	Média ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mediana ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Mínima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Máxima ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	CV (%)
5β-Cholestan-3β-ol	113,9	89,7	57,8	265,5	58,7	51,6
3β-Taraxerol	80,0	51,4	17,0	292,8	71,1	88,8
Campesterol	114,1	97,4	72,2	287,8	47,1	41,3
Colesterol	-	-	-	-	-	-
Demosterol	84,2	79,0	70,8	124,4	12,8	15,3
5α-Cholestan-3β-ol	105,2	89,7	57,8	231,0	47,1	44,8
Stigmasterol	181,1	173,0	59,7	394,2	92,6	51,1
Stigmastanol	205,9	187,5	58,9	509,8	115,5	56,1
Ergosterol	91,0	87,3	80,0	122,3	10,0	11,0
Lanosterol	82,1	79,4	72,7	111,2	-	10,0
Coprostanol	56,1	53,2	46,8	72,4	7,1	12,6
5β-Cholestan-3-one	86,6	82,6	75,5	131,8	11,2	13,0
TOTAL	1200,3	1239,3	670,4	1953,3	335,6	28,0

4 REFERÊNCIAS

DE CARVALHO, G.O. et al. Metals and Arsenic in Water Supply for Riverine Communities Affected by the Largest Environmental Disaster in Brazil: The Dam Collapse on Doce River The Electronic Journal of Chemistry, vol.10, 4, 2018

SEGURA, F.R. et al. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil) Environmental pollution, 813-825, 2016

VIGLIO, E.P.; DA CUNHA, F.G. Atlas geoquímico da bacia do Rio Doce: Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2016