



Rodrigo Araújo Gonçalves

**Estudo da variação temporal e espacial
de metais tóxicos em sedimentos da
Baía de Sepetiba, RJ, Brasil**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Química da PUC-Rio como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor em Química.

Orientador: Prof. José Marcus de Oliveira Godoy

Rio de Janeiro

Outubro de 2018



Rodrigo Araújo Gonçalves

Estudo da variação temporal e espacial de metais tóxicos em sedimentos da Baía de Sepetiba, RJ, Brasil.

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Química da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Marcus de Oliveira Godoy
Orientador
Departamento de Química - PUC-Rio

Prof. Luiz Drude de Lacerda
UFC

Prof. Carlos Eduardo de Rezende
UENF

Prof. Sergio Felipe Jerez Veguería
UFF

Prof.^a Tatiana Dillenburg Saint'Pierre
Departamento de Química - PUC-Rio

Prof. Carlos German Massone
Departamento de Química - PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de outubro de 2018

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Rodrigo Araújo Gonçalves

Graduou-se em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2007. Atualmente é químico na Central Analítica Padre Leopoldo Hainberger (CAPLH) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), atuando intensamente na pesquisa e desenvolvimento em química analítica e em análises químicas.

Ficha Catalográfica

Gonçalves, Rodrigo Araújo

Estudo da variação temporal e espacial de metais tóxicos em sedimentos da Baía de Sepetiba, RJ, Brasil / Rodrigo Araújo Gonçalves; orientador: José Marcus de Oliveira Godoy. – 2018.

211 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2018.

Inclui bibliografia

1. Química – Teses. 2. Metais tóxicos. 3. Sedimentos. 4. Baía de Sepetiba. 5. Datação com ^{210}Pb . I. Godoy, José Marcus de Oliveira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Química. III. Título.

CDD: 540

Aos meus amados pais Mariza e Rocir (*in memoriam*)
que nunca pouparam esforços na educação dos filhos.
À minha esposa Sabrina e meus filhos Pedro Enrique
e Ana Beatriz que, com muito amor e carinho,
souberam me apoiar nesta etapa da vida.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço ao Professor José Marcus de Oliveira Godoy pela orientação, confiança e apoio.

Agradeço a minha esposa Sabrina pelo apoio e conforto nos momentos difíceis, sempre disposta a ajudar dando força e incentivo nesta caminhada, muito obrigado meu amor.

Agradeço aos meus filhos, Pedro Enrique e Ana Beatriz, pela compreensão em muitos momentos em que lhes faltava um pouco de atenção e pela torcida que fizeram para “papai terminar de escrever o livro”.

Faltam palavras para agradecer suficientemente ao meu pai Rocir, sempre atencioso e rigoroso com os estudos, e a minha mãe, Mariza, uma mulher batalhadora que, após a perda do marido, seguiu firme com os filhos, fazendo o melhor que podia, sempre muito atenta e carinhosa, apoiando incondicionalmente todas as minhas escolhas até chegar neste momento.

Agradeço ao amigo Douglas pela imensurável ajuda na realização deste trabalho e pelo apoio, incondicional, nos momentos difíceis.

Não posso deixar de agradecer à amiga Fátima, por toda boa vontade e por estar sempre pronta a ajudar.

Agradeço ao Professor Carlos Eduardo de Rezende, o Carlão, e a equipe do Laboratório de Ciências Ambientais da UENF, pela ajuda nas determinações isotópicas.

Agradeço ao Phelipe Almeida e à Aline Almeida, da empresa Ph Mar Consultoria Ambiental pela enorme colaboração nas campanhas de amostragem. Possuem uma equipe de trabalho sensacional, que não pouparam esforços e sempre estiveram disponíveis para ajudar, quaisquer que fossem os desafios.

Agradeço, de forma muito sincera, a colaboração e apoio dos queridos amigos Maurício, Alvaro, Pedro Henrique, Jefferson, Claudia Vega, Thiago e Jarol. Me desculpo com os que não estão aqui citados nominalmente, mas também fundamentais nessa jornada.

Agradeço ainda à PUC-Rio pela bolsa de isenção e aos professores do programa de pós graduação em química, que contribuíram para minha formação.

Resumo

Gonçalves, Rodrigo Araújo; Godoy, José Marcus de Oliveira. **Estudo da variação temporal e espacial de metais tóxicos em sedimentos da Baía de Sepetiba, RJ, Brasil.** Rio de Janeiro, 2018. 211p. Tese de Doutorado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A Baía de Sepetiba localiza-se a 60 km da região metropolitana do Rio de Janeiro e proporciona, há séculos, a base econômica de diversas comunidades residentes ao longo de suas margens e ilhas. Seu pescado, além da subsistência, já foi amplamente usado para abastecimento de diversos mercados da região metropolitana. No entanto, nas últimas décadas a baía sofre com um intenso desenvolvimento industrial, com a instalação de várias grandes indústrias em seus arredores, como duas siderúrgicas, terminais navais para containers e, também, terminais de carga e descarga de minério de ferro e carvão, entre outros. Pode-se acrescentar a este cenário, um rápido adensamento demográfico, que se intensificou na década de 60 em consequência do estabelecimento de tais indústrias. A ausência de sistema de saneamento básico e infraestrutura para suprir a demanda populacional só tende a agravar as condições ambientais do sistema costeiro. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do sedimento da Baía de Sepetiba, utilizando valores-guia de qualidade como parâmetros de comparação, verificar correlações entre os metais potencialmente tóxicos com outros parâmetros indicativos de qualidade, avaliar a variação nas taxas de sedimentação em diferentes pontos da baía e levantar um histórico de contaminação da região através de testemunhos datados com ^{210}Pb . Foram amostrados, entre junho e setembro de 2016, 38 pontos de sedimento superficial ao longo de toda a área da baía e 9 testemunhos sedimentares de até 90 cm de profundidade. As variáveis analisadas foram: carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, granulometria, metais tóxicos (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Cr e Hg) e sulfetos ácidos voláteis / metais simultaneamente extraídos (AVS/SEM). A relação molar $(\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}])/\text{COT}$, que é o critério adotado pela USEPA como valor-guia de qualidade do AVS, apontou que o sedimento de fundo não apresenta toxicidade provável à organismos bentônicos. As concentrações de sulfetos e matéria orgânica encontrados nos sedimentos, juntamente às frações silte e argila, mostraram-se como importantes

fases imobilizadoras dos metais. A concentração dos metais foi determinada pela técnica da Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS). Aos resultados obtidos, aplicou-se a análise hierárquica de *clusters* (AHC), a fim de obter informações que descrevessem melhor a região estudada. Foi possível realizar a subdivisão da Baía de Sepetiba em 4 áreas e, também, observar *hotspots*, onde a concentração de um ou mais parâmetros se eleva substancialmente, destacando-se na área amostrada. Com relação aos valores-guia de qualidade de sedimento (ERL – “*Effects Range-Low*” e ERM – “*Effects Range-Median*”) estabelecidos pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), órgão americano, a grande maioria dos pontos de amostragem apresentaram concentrações de Zn acima do ERM, numa faixa onde a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos à vida marinha é maior do que 70 %. Foram observadas, em alguns pontos, concentrações de Cd entre o ERL e o ERM, onde a probabilidade de efeitos adversos é próxima de 36 %. Todos os demais metais determinados neste estudo apresentaram valores abaixo do ERL, com pouca probabilidade de serem tóxicos à vida marinha. As taxas de sedimentação foram determinadas a partir do método da datação com ^{210}Pb . Foram aplicados os modelos CF:CR (constant flux:constant rate) e CRS (constant rate of supply), e os resultados da datação foram validados com base na variação da concentração de Zn e Cd ao longo dos testemunhos. Com base nos resultados obtidos, foi possível sugerir uma nova malha amostral a ser empregada no programa de monitoramento ambiental desenvolvido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Essa nova malha proposta possui 19 pontos de amostragem, reduzindo pela metade a original utilizada pelo órgão ambiental.

Palavras chave

Metais tóxicos; Sedimentos; Baía de Sepetiba; Datação ^{210}Pb .

Abstract

Gonçalves, Rodrigo Araújo; Godoy, José Marcus de Oliveira (Advisor). **Study of temporal and spatial variation of toxic metals in sediments at Sepetiba Bay, RJ, Brazil.** Rio de Janeiro, 2018. 211p. Tese de Doutorado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sepetiba Bay is located 60 km from the metropolitan area of Rio de Janeiro and has for centuries provided the economic base of living communities along its banks and islands. Its fish, besides subsistence, has already been widely used to supply several markets in the metropolitan region. However, in the last decades it suffers with an intense industrial development, with the installation of many large industries in its surroundings, as two steel mills, naval terminals for containers and also terminals for loading and unloading iron ore and coal. It can be added to this scenario a rapid population density, which intensified in the 1960's as a result of the establishment of such industries. The absence of a basic sanitation system and infrastructure to supply the population demand only tends to aggravate the environmental conditions of the coastal system. The objective of this study was to evaluate the quality of Sepetiba Bay's sediments using quality guideline as comparison parameters, to verify correlations between potentially toxic metals with others parameters indicative of quality, to evaluate the variation in sedimentation rates at different points in the bay and raise a history of contamination of the region through the dated sediment core samples with ^{210}Pb . Between June and September of 2016, 38 points of superficial sediments were sampled along the entire bay area and 9 sediment core samples up to 90 cm depth. The analyzed variables were: total organic carbon (TOC), total nitrogen, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, granulometry, toxic metals (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Cr and Hg) and acid volatile sulfides / simultaneously extracted metals (AVS/SEM). The molar ratio $(\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]) / \text{TOC}$, which is the criterion adopted by USEPA as a quality guideline for AVS, indicated that the bottom sediment does not present a probable toxicity to benthic organisms. The sulfides and organic matter concentrations found in the sediments together with the silt and clay fractions showed to be important immobilizing phases of the metals. The concentration of the metals was determined by the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) technique. To the results obtained, the hierarchical

cluster analysis (AHC) was applied, in order to obtain information that better described the studied region. It was possible to subdivide the Sepetiba Bay into 4 areas and also to observe hotspots where the concentration of one or more parameters increases substantially, standing out in the sampled area. In respect to sediment quality guidelines (ERL – “Effects Range-Low” e ERM – “Effects Range-Median”) established by the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the vast majority of sampling points showed concentrations of Zinc above the ERM, in a range where the probability of the occurrence of adverse effects to marine life is greater than 70%. Cadmium concentrations between ERL and ERM were observed at some points, where the probability of adverse effects is close to 36%. All other metals determined in this study presented values below the ERL, with low probability of being toxic to marine life. Sedimentation rates were determined by the ^{210}Pb dating method. The CF:CR (constant flux:constant rate) and CRS (constant rate of supply) models were applied and the dating results were validated based on the Zn and Cd concentration variation throughout the sediment core. Based on the results obtained it was possible to suggest a new sampling grid to be used in the environmental monitoring program developed by the Instituto Estadual do Ambiente (INEA). The proposed grid has 18 sampling points, reducing by half the original used by the environmental agency.

Keywords

Toxic Metals; Sediments; Sepetiba Bay; ^{210}Pb Dating.

Sumário

1	Introdução	22
1.1	Contextualização	22
1.2	Objetivos	24
1.2.1	Objetivo Geral	24
1.2.2	Objetivos Específicos	24
2	Fundamentação Teórica	25
2.1	Área de Estudo – Baía de Sepetiba	25
2.2	Características ambientais de um estuário	26
2.3	Circulação das águas na Baía de Sepetiba	26
2.4	A natureza do problema da Baía de Sepetiba	28
2.5	Principais empreendimentos no entorno da Baía de Sepetiba	29
2.5.1	Porto de Itaguaí	29
2.5.2	Porto Sudeste	30
2.5.3	Base Militar para Construção de Submarinos	31
2.5.4	Companhia Mercantil Industrial Ingá	32
2.5.5	Ternium Brasil	34
2.6	Técnicas Analíticas Utilizadas	36
2.6.1	Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)	36
2.6.2	Espectrometria de Absorção Atômica com Geração de Vapor Frio – Determinação de Mercúrio	38
2.6.3	Datação por ^{210}Pb	39
2.6.4	Granulometria dos sedimentos	42
2.6.5	Sulfetos volatilizados por acidificação / Metais extraídos simultaneamente	45
2.6.6	Determinação Elementar e Isotópica de carbono e nitrogênio	46
2.7	Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos de Ambientes Aquáticos (VGQS)	48

2.7.1	VGQS de Partição	48
2.7.2	VGQS Empíricos	50
2.7.3	Valores-Guia adotados no Brasil	51
3	Materiais e Métodos	53
3.1	Coleta de amostras	53
3.1.1	Amostragem de sedimento superficial	53
3.1.2	Amostragem de testemunhos sedimentares	56
3.2	Teor de Umidade no Sedimento	57
3.3	Determinação de Metais	58
3.4	Determinação de Mercúrio	60
3.5	Determinação de sulfetos ácidos voláteis / metais simultaneamente extraídos (AVS/SEM)	61
3.6	Datação das camadas sedimentares por ^{210}Pb	64
3.7	Determinação granulométrica	66
3.8	Determinação elemental e isotópica de carbono e nitrogênio	67
4	Resultados e Discussão	68
4.1	Sedimentos Superficiais	68
4.1.1	Determinação de Umidade	68
4.1.2	Análise Granulométrica	69
4.1.3	Determinação de carbono orgânico, carbono e nitrogênio totais e suas composições isotópicas	70
4.1.4	Sulfetos ácidos voláteis / metais simultaneamente extraídos (AVS/SEM)	73
4.1.5	Determinação de Metais Totais	75
4.1.6	Integração dos Resultados (Sedimentos Superficiais)	81
4.1.6.1	Relação entre mercúrio, cobre e sulfeto (AVS)	83
4.1.6.2	Variação temporal das concentrações de mercúrio, zinco e cádmio	85
4.1.6.3	Análise de <i>Cluster</i> – Método de Ligação de Ward	88
4.2	Testemunhos Sedimentares	94
4.2.1	Avaliação Preliminar dos Testemunhos	94
4.2.1.1	Determinação de umidade	95

4.2.1.2	Determinação de Metais Totais	96
4.2.1.3	Concentração de Zn e Cd nos perfis sedimentares	97
4.2.2	Datação de sedimentos com ^{210}Pb	101
4.2.2.1	Testemunho T-8	101
4.2.2.2	Testemunho T-13	102
4.2.2.3	Testemunho T-18	102
4.2.2.4	Testemunho T-19	103
4.2.2.5	Testemunho T-26	104
4.2.2.6	Testemunho T-28	105
4.2.3	Validação da datação com ^{210}Pb	106
4.2.4	Concentração de Mercúrio	110
5	Conclusão	112
6	Referências bibliográficas	115
	ANEXO A – Umidade	125
	ANEXO B – Granulometria	127
	ANEXO C – Carbono e Nitrogênio	165
	ANEXO D – AVS / SEM	166
	ANEXO E – Metais Totais	168
	ANEXO F – Datação com ^{210}Pb	201
	ANEXO G – Perfis Sedimentares	207

Lista de figuras

Figura 1: Imagem de satélite da baía de Sepetiba, Google Earth	25
Figura 2: Pluma formada pelo aporte de sedimentos finos na Baía de Sepetiba oriunda da bacia hidrográfica do entorno	27
Figura 3: Porto de Itaguaí	29
Figura 4: Píer do Porto Sudeste	31
Figura 5: Rejeitos de metalurgia abandonados pela Ingá Mercantil	33
Figura 6: Esquema estrutural de um espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS)	37
Figura 7: Série do ^{238}U : do ^{226}Ra ao ^{210}Pb . São indicadas as meias-vidas dos radionuclídeos (Argollo, 2001).	39
Figura 8: Dinâmica do ^{210}Pb no meio ambiente (Lima, 1996).	40
Figura 9: Distribuição geográfica dos pontos de amostragem de sedimento superficial ao longo da Baía de Sepetiba.	53
Figura 10: Draga Petersen utilizada na coleta dos sedimentos	55
Figura 11: Distribuição dos pontos de amostragem de testemunhos sedimentares ao longo da Baía de Sepetiba.	56
Figura 12: Amostrador gravitacional de testemunhos e acessório para subdivisão das camadas	57
Figura 13: Aparato utilizado para a geração/adsorção do H_2S	62
Figura 14: Cilas Particle Size Analyzer 1190	66
Figura 15: Teores de umidade nos pontos de amostragem de sedimento superficial	68
Figura 16: Características granulométricas % de Argila, Silte e Areia na Baía de Sepetiba	69

Figura 17: Superfície de resposta para a composição granulométrica % de silte+argila	70
Figura 18: Teor de carbono orgânico (%) em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba	71
Figura 19: COT, $\delta^{13}\text{C}$, razão C/N, e $\delta^{15}\text{N}$ em função do ponto de amostragem.	72
Figura 20: Superfície de resposta obtida para concentração molar de sulfetos volatilizáveis por acidificação.	73
Figura 21: Superfície de resposta obtida para o somatório das concentrações molares de SEM	74
Figura 22: Superfície de resposta obtida para relação $\Sigma\text{SEM}/\text{AVS}$ na baía de Sepetiba.	75
Figura 23: Superfície de resposta para concentrações de Zn na baía de Sepetiba	78
Figura 24: Superfície de resposta para concentrações de Pb na baía de Sepetiba	78
Figura 25: Superfície de resposta para concentrações de Cu na baía de Sepetiba	79
Figura 26: Superfície de resposta para concentrações de Cd na baía de Sepetiba	79
Figura 27: Superfície de resposta para concentrações de Cr na baía de Sepetiba	80
Figura 28: Superfície de resposta para concentrações de Ni na baía de Sepetiba	80
Figura 29: Superfície de resposta para concentrações de Hg na baía de Sepetiba	81
Figura 30: Correlação entre Hg (a) / Cu (b) e sulfetos volatilizáveis por acidificação (AVS) em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba.	84

Figura 31: Variação percentual da concentração atual de Hg em sedimento superficial da baía de Sepetiba, escala relativa à concentração obtida em 2001.	85
Figura 32: Variação percentual da concentração atual de Zn em sedimento superficial da baía de Sepetiba, escala relativa à concentração obtida em 2001.	86
Figura 33: Variação percentual da concentração atual de Cd em sedimento superficial da baía de Sepetiba, escala relativa à concentração obtida em 2001.	87
Figura 34: Dendrograma da análise de cluster pelo método de ligação de Ward	89
Figura 35: Grupos formados após a seleção do nível 3 do dendrograma como distância de corte	90
Figura 36: Malha amostral proposta para monitoramento ambiental da Baía de Sepetiba	92
Figura 37: Diagramas de caixa (box-plot), metais Zn, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu e Hg organizados em 4 grupos de similaridade. Faixas azul e vermelha – níveis 1 e 2 do CONAMA 454/12 respectivamente.	93
Figura 38: Teor de água nas camadas oriundas do fatiamento dos testemunhos sedimentares	95
Figura 39: Perfis de concentração de Zn versus profundidade em diferentes pontos da Baía de Sepetiba, a faixa vermelha indica o nível 2 (410 mg kg^{-1}) da resolução CONAMA 454/12	99
Figura 40: Perfis de concentração de Cd versus profundidade em diferentes pontos da Baía de Sepetiba, a faixa vermelha indica o nível 1 ($1,2 \text{ mg kg}^{-1}$) da resolução CONAMA 454/12	100
Figura 41: Testemunho T-13 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada	102
Figura 42: Testemunho T-18 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada	103
Figura 43: Testemunho T-19 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada	104

Figura 44: Testemunho T-26 – profundidade média versus calendário anual	104
Figura 45: Testemunho T-28 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada	106
Figura 46: Idade versus concentrações de Zn e Cd para os testemunhos T-13, T-18, T-19, T-26 e T-28	108
Figura 47: Variação temporal de Hg nos testemunhos T-13, T-18	110
Figura 48: Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-13	207
Figura 49: Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-18	208
Figura 50: Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-19	209
Figura 51 Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-28	210
Figura 52: Idade versus concentração de níquel, chumbo e cromo, testemunho T-26	211

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação Granulométrica, adaptada de ABNT NBR 6502/95	43
Tabela 2: Níveis de classificação de metais em sedimentos, CONAMA 454/12	52
Tabela 3: Coordenadas geográficas das estações de amostragem de sedimentos superficiais.	54
Tabela 4: Coordenadas geográficas das estações de amostragem de testemunhos sedimentares	56
Tabela 5: Limites de detecção obtidos para SEM	63
Tabela 6: Limites de detecção obtidos	76
Tabela 7: Concentrações de metais encontradas no MRC MESS-3 e cálculo de recuperação.	76
Tabela 8: Concentrações médias de metais no sedimento superficial e valores-guia CONAMA 454/12	77
Tabela 9: Coeficientes de correlação de Pearson	82
Tabela 10: Concentrações máximas de Zn e Cd em testemunhos e data em que estes valores foram alcançados	108
Tabela 11: % de umidade em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba	125
Tabela 12: % de umidade em camadas de testemunhos sedimentares da Baía de Sepetiba	126
Tabela 13: Determinação Granulométrica, SP-101.	127
Tabela 14: Determinação granulométrica, SP-102.	128
Tabela 15: Determinação granulométrica, SP-103.	129

Tabela 16: Determinação granulométrica, SP-106.	130
Tabela 17: Determinação granulométrica, SP-105.	131
Tabela 18: Determinação granulométrica, SP-106.	132
Tabela 19: Determinação granulométrica, SP-107.	133
Tabela 20: Determinação granulométrica, SP-108.	134
Tabela 21: Determinação granulométrica, SP-109.	135
Tabela 22: Determinação granulométrica, SP-110.	136
Tabela 23: Determinação granulométrica, SP-111.	137
Tabela 24: Determinação granulométrica, SP-112.	138
Tabela 25: Determinação granulométrica, SP-113.	139
Tabela 26: Determinação granulométrica, SP-114.	140
Tabela 27: Determinação granulométrica, SP-115.	141
Tabela 28: Determinação granulométrica, SP-116.	142
Tabela 29: Determinação granulométrica, SP-117.	143
Tabela 30: Determinação granulométrica, SP-118.	144
Tabela 31: Determinação granulométrica, SP-119.	145
Tabela 32: Determinação granulométrica, SP-120.	146
Tabela 33: Determinação granulométrica, SP-121.	147
Tabela 34: Determinação granulométrica, SP-122.	148
Tabela 35: Determinação granulométrica, SP-123.	149
Tabela 36: Determinação granulométrica, SP-124.	150
Tabela 37: Determinação granulométrica, SP-125.	151
Tabela 38: Determinação granulométrica, SP-126.	152
Tabela 39: Determinação granulométrica, SP-130.	153

Tabela 40: Determinação granulométrica, SP-131.	154
Tabela 41: Determinação granulométrica, SP-132.	155
Tabela 42: Determinação granulométrica, SP-133.	156
Tabela 43: Determinação granulométrica, SP-134.	157
Tabela 44: Determinação granulométrica, SP-135.	158
Tabela 45: Determinação granulométrica, SP-136.	159
Tabela 46: Determinação granulométrica, SP-137.	160
Tabela 47: Determinação granulométrica, SP-138.	161
Tabela 48: Determinação granulométrica, SP-139.	162
Tabela 49: Determinação granulométrica, SP-140.	163
Tabela 50: Determinação granulométrica, SP-141.	164
Tabela 51: Determinação elementar e isotópica de carbono e nitrogênio	165
Tabela 52: Concentração de SEM e AVS, Σ SEM e razão Σ SEM/AVS	166
Tabela 53: Determinação de Zn, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu e Hg em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba	168
Tabela 54: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-3.	174
Tabela 55: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-8.	177
Tabela 56: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-13.	180
Tabela 57: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-18.	183
Tabela 58: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-19.	186

Tabela 59: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-20.	189
Tabela 60: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-26.	193
Tabela 61: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-28.	196
Tabela 62: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-31.	199

*O tamanho dos seus sonhos deve sempre
exceder a sua capacidade de alcançá-los.
Se os seus sonhos não te assustam, eles
não são grandes o suficiente.*

Ellen Johnson Sirleaf

1 Introdução

1.1 Contextualização

Nossa sociedade vem em um acentuado processo evolutivo, em especial no último século, o que proporcionou grandes alterações no nosso meio ambiente. Para tanto, foi necessário um aumento significativo dos processos industriais e, conseqüentemente, um expressivo crescimento urbano para suprir a necessidade dessa industrialização em expansão.

Todo esse avanço desenfreado teve como consequência a degradação ambiental, com o esgotamento dos solos, desmatamentos e contaminação dos recursos hídricos, tendo como principal consequência a extinção de espécies animais e vegetais.

Segundo Pinto (2005) o processo de conscientização acerca deste problema foi melhor percebido após a II Guerra Mundial, quando os efeitos da bomba atômica alertaram sobre a possibilidade de destruição do mundo pelo homem. Na década de 1950 dava-se muita ênfase aos perigos do uso intensivo de pesticidas sintéticos. Nos anos 60, o movimento de conscientização ambiental aumentou ainda mais, sendo o excesso de nutrientes dispensados em rios e lagoas, oriundos principalmente dos detergentes com fósforo, o principal vilão responsável pelo fenômeno de eutrofização. Pinto (2005) cita, ainda, que a era da eutrofização foi substituída, já nos anos 70, pela contaminação com metais pesados e pela chuva ácida, constituindo-se em período marcante para a regulamentação da atividade industrial.

No Brasil, existem casos documentados de contaminação de grandes áreas em função da atividade industrial, gerando um passivo ambiental que, não raramente, fica sem solução ou sem tratamento adequado. Este é o resultado de muitos anos de produção desprovida de preocupações com o meio ambiente e, principalmente, com o descarte de resíduos tóxicos

No litoral do Rio de Janeiro, a Baía de Sepetiba vem sendo, há décadas, alvo de profundas mudanças ambientais com a construção de grandes complexos

industriais e de terminais marítimos, mudanças estas que vêm se acentuando nos últimos anos com a implantação da Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), do terminal do Porto Sudeste e da base militar de submarinos. Interessante também notar que, neste mesmo período, ocorreu o descomissionamento da antiga Companhia Industrial Ingá, que foi por muitos anos uma fonte de contaminação significativa de Zn e Cd para a baía, e foi a principal responsável por um passivo ambiental que perdurou por dez anos sem solução até a compra do terreno pela Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais (USIMINAS) e início da descontaminação.

No período entre 2000 e 2005, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) realizou um diagnóstico ambiental, envolvendo qualidade de água e de sedimento superficial, abrangendo 12 estações de sedimento superficial das 38 estações existentes no levantamento realizado pelo INEA, dentro do projeto de cooperação técnica entre a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) e a Sociedade Alemã de Cooperação Técnica (GTZ - *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*), na década de 1990 (FEEMA, 2006). De acordo com este diagnóstico, a contaminação do sedimento superficial com metais decresceu ao longo deste período, 2000-2005, exceto o mercúrio que apresentou um aumento nos níveis observados.

Neste trabalho foi reproduzida a malha de 38 estações de sedimento superficial utilizada no projeto de cooperação técnica FEEMA/GTZ, para avaliação do atual estado de contaminação e potencial tóxico do sedimento da Baía de Sepetiba. Para uma avaliação temporal da contaminação e melhor compreensão do que ocorreu durante as últimas décadas, com respeito à contaminação indicada pelo relatório da FEEMA, foram amostrados 9 testemunhos sedimentares, que foram fatiados em camadas de dois centímetros, para quantificação dos metais tóxicos e datação com ^{210}Pb .

Existem diversos métodos analíticos capazes de determinar o potencial tóxico de determinada região. Os dados absolutos das concentrações dos metais não são suficientes para afirmar ou descartar a toxicidade de determinada região, os valores obtidos devem ser comparados com outros parâmetros, como matéria orgânica ou teor de sulfetos voláteis. Além disso, órgãos ambientais como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA) e, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), utilizam Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos de Ambientes Aquáticos (VGQS), que foram derivados

de forma empírica e apontam com boa precisão para o potencial tóxico de determinado contaminante em sedimento aquático.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a contaminação atual do sedimento de fundo da Baía de Sepetiba por metais potencialmente tóxicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Estudar a correlação existente entre metais e outros parâmetros indicativos de qualidade do sedimento (granulometria, carbono orgânico total, sulfetos, nitrogênio total).

Avaliar o potencial tóxico de Zn, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni e Hg nos sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba.

Levantar o histórico da contaminação através de testemunhos sedimentares datados com ^{210}Pb .

Avaliar a variação nas taxas de sedimentação em diferentes setores da Baía de Sepetiba nas últimas décadas.

Com base nos resultados obtidos, avaliar a abrangência dos programas de monitoramento ambiental.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Área de Estudo – Baía de Sepetiba

A baía de Sepetiba possui aproximadamente 305 km² de área, encontra-se limitada a nordeste pela Serra do Mar, a norte pela serra de Madureira, a sudeste pelo maciço da Pedra Branca e a sul pela restinga da Marambaia.

É um corpo de águas salinas e salobras, comunicando-se com o oceano Atlântico por meio de duas passagens, na parte oeste, entre os cordões de ilhas que limitam com a ponta da restinga e, na porção leste, pelo canal que deságua na Barra de Guaratiba, o que lhe confere uma configuração quase elíptica. Seu perímetro é de aproximadamente 130 km.

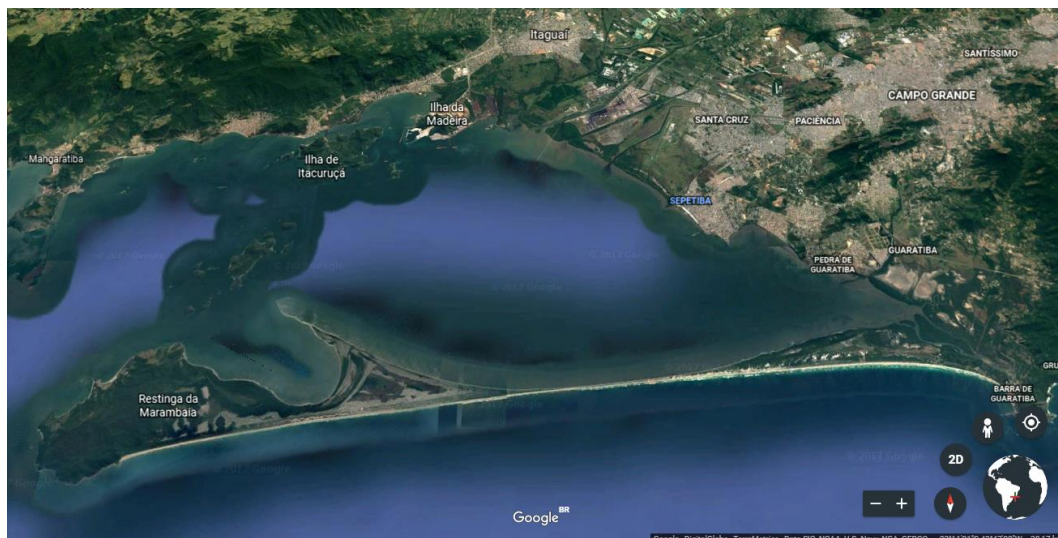


Figura 1: Imagem de satélite da baía de Sepetiba, Google Earth

A baía de Sepetiba, com suas áreas de mangue e zonas estuarinas é um criadouro natural para diversas espécies de camarões, crustáceos e peixes, sendo a atividade pesqueira uma das principais atividades econômicas para a população que vive em seu entorno (FEEMA, 2006).

A região tem como áreas típicas de turismo as ilhas da Madeira, Martins, Jaguanum e Itacuruçá, além de três cachoeiras, Mazomba, Itimirim e Bicão. Os

municípios de Itaguaí, Mangaratiba, Sepetiba e o distrito de Itacuruçá, localizados no entorno da baía possuem praias e pequenas ilhas de grande beleza, e grande potencial para o turismo e lazer.

A sul da baía destaca-se a restinga da Marambaia, que se constitui como uma imensa barragem de areia, que, embora, possua poucos metros acima do nível do mar, funciona como um dique, isolando as águas da baía de Sepetiba e do Oceano Atlântico. A restinga possui aproximadamente 79 km², estende-se de Barra de Guaratiba, a leste, até a ilha da Marambaia, a oeste, chegando a distar aproximadamente 18 km do bordo continental (FEEMA, 2006).

2.2

Características ambientais de um estuário

Estuário é um ambiente transicional localizado entre o continente e o oceano. Existem várias definições para um estuário, conforme descrito por Perillo (1995). Na oceanografia, a proposta de Pritchard (1967), embora muito antiga, ainda é uma das mais adotadas e diz que: “Estuário é um corpo d’água costeiro semifechado, com livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Presentes em todo o mundo, os estuários são frequentemente encontrados em planícies costeiras das médias latitudes, constituindo ambientes com idades inferiores a 5.000 anos, originados por variações do nível do mar de naturezas eustáticas e isostáticas, bem como por processos de origem tectônica que ocorreram em épocas geológicas recentes. Estes ambientes apresentam tempo de vida relativamente curto, visto que tendem a ser colmatados por sedimentos oriundos da drenagem continental, segundo Fonseca e Guerra (2011).

2.3

Circulação das águas na Baía de Sepetiba

Os fatores determinantes do padrão de circulação de águas existente na baía de Sepetiba são a amplitude da maré, morfologia costeira, batimetria, regime dos

ventos e o aporte de água doce proveniente das bacias hidrográficas (FEEMA, 2006).

Tem sido demonstrado que há um semi-confinamento da porção leste da baía e já é destacado de forma bem relevante a baixa movimentação de fundo da baía e a diminuição gradual de seu espelho d'água. Sendo assim, pode-se inferir que vem acontecendo um processo gradativo de assoreamento, em função da significativa contribuição do aporte fluvial/terrígeno (Borges e Nitttrouer, 2016). Esse fenômeno é natural e ocorre de forma contínua, como já descrito por Fonseca e Guerra (2011) para ambientes estuarinos.

Essa contribuição fluvial é confirmada pelas imagens de satélite, que mostram claramente a movimentação de sedimentos oriundos dos rios da Guarda e Piraquê. Destaca-se também o canal de São Francisco que forma uma extensa pluma de material em suspensão (Figura 2), que se dirige com notável inflexão para sudeste, ao fundo da baía, auxiliada ainda pela corrente de fundo, que atua lateralmente à linha costeira, no sentido leste.

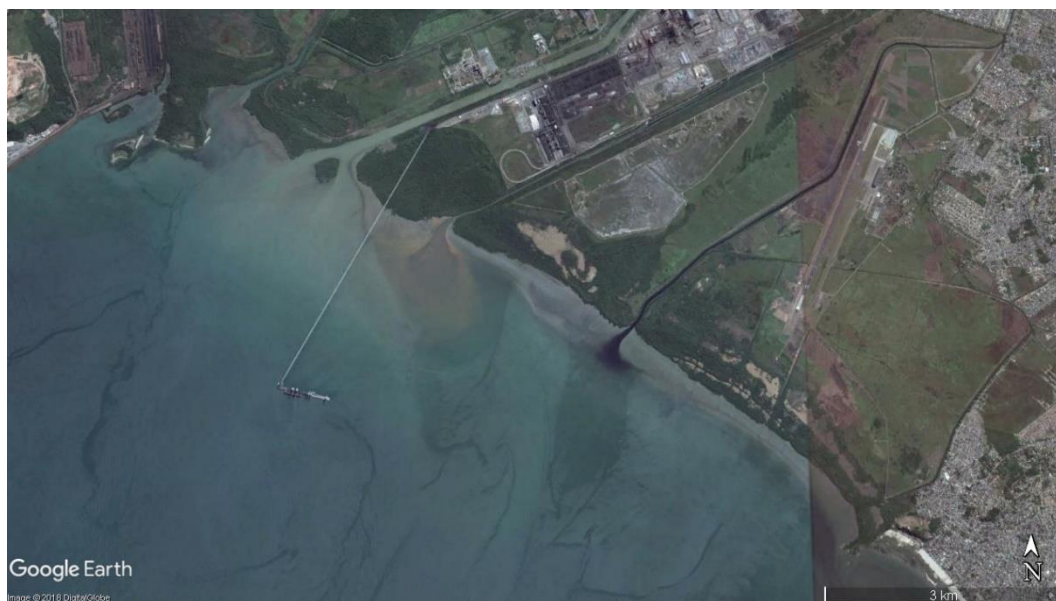


Figura 2: Pluma formada pelo aporte de sedimentos finos na Baía de Sepetiba oriunda da bacia hidrográfica do entorno

Outra peculiaridade da baía de Sepetiba é o estreitamento de sua largura nas proximidades da ilha da Guaíba, causando assim uma diminuição na área de passagem das águas. Esta situação promove um aumento de velocidade nas correntes até a área próxima à ilha de Jaguanum, havendo uma gradual diminuição

das correntes, que se tornam fracas a partir deste ponto, em direção ao fundo da baía (FEEMA, 2006).

Segundo Cunha *et al.* (2006), o escoamento da baía é praticamente todo induzido para a parte central, onde há um canal natural de maior batimetria, gerando nesta região, correntes mais intensas. Na parte mais interna da baía há uma perda progressiva de carga na circulação acarretando uma mistura das águas oceânicas e interiores.

2.4

A natureza do problema da Baía de Sepetiba

A baía de Sepetiba caracterizava-se pela pesca e turismo até início dos anos 60, quando começou a sofrer as consequências da expansão da região metropolitana do Rio de Janeiro, resultando em grandes modificações em suas estruturas espaciais, socioeconômicas e ecológicas.

O desenvolvimento da região com o processo de industrialização tornou-se uma fonte de renda, gerando ciclos migracionais e potenciais riscos de poluição, na medida em que a atividade industrial foi responsável pelo lançamento de vários resíduos potencialmente tóxicos para a baía, com destaque especial para os metais (FEEMA, 2006)

O órgão competente pela fiscalização e regulação da atividade industrial era a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), criado em março de 1975, quase duas décadas após o início da industrialização da região. Este órgão era responsável pelo exercício de ações efetivas de controle industrial, visando manter as atividades dentro do que era estabelecido pela legislação vigente, a NT 202, que foi publicada no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro somente em 1986.

Em janeiro de 2009 foi criado o Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Este unificou as ações da FEEMA, da Superintendência Estadual de Rios e Lagos (SERLA) e do Instituto Estadual de Florestas (IEF). Atualmente, o INEA monitora as atividades industriais, no contexto ambiental, seguindo os padrões recomendados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011.

Por outro lado, e de modo geral, nos últimos 30 anos os serviços de infraestrutura de saneamento e drenagem não acompanharam o crescimento e adensamento populacional nas bacias hidrográficas do Rio de Janeiro. O desenvolvimento da região do entorno da Baía de Sepetiba aumentou a migração populacional, resultando em questões de ordem física, como a destruição de ecossistemas, aterros e uso desordenado do solo, causando efeitos impactantes em termos de assoreamento de corpos d'água e aumento das taxas de sedimentação.

Sérios problemas de saúde pública assolam a região, devido à presença de esgotos sanitários sem tratamento adequado e diversos resíduos sólidos urbanos que são lançados diretamente nos rios e canais da região (PACS, 2015)

2.5

Principais empreendimentos no entorno da Baía de Sepetiba

2.5.1

Porto de Itaguaí

O Porto de Itaguaí (Figura 3), anteriormente denominado Porto de Sepetiba, é um porto localizado na cidade de Itaguaí, a 80 quilômetros da capital fluminense. Foi inaugurado em 7 de maio de 1982, e sua operação, à época, era dedicada à descarga de carvão para a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e alumina para a Valesul (SINDARIO, 2018).



Figura 3: Porto de Itaguaí

Os estudos para a implantação do porto foram realizados no ano de 1973, objetivando atender principalmente ao complexo industrial de Santa Cruz, situado na zona oeste do Rio de Janeiro. Em 1976, foram iniciadas as obras de acesso e o píer de Carvão, em paralelo, começaram as atividades de dragagem do canal de acesso com cerca de 22 km de extensão, 200 m de largura e profundidade oficial de 17,10 m. A barra do canal localiza-se entre a Ponta dos Castelhanos, na ilha Grande, e a Ponta Grossa da Restinga da Marambaia, oferecendo 12 km de largura e profundidade de 19 m.

Atualmente, o porto é administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ) e é um dos maiores e mais modernos portos da América Latina. O cais de uso público está dividido em trechos arrendados: cais de carga geral, píer de carvão, píer de minérios, terminal de alumina com dois silos para estocagem de até 30 t, cinco pátios de carvão com capacidade de estocagem total de 750.000 t, 4 pátios de minério que comportam até 1.500.000 t, o pátio de carga geral que é uma área pavimentada com 200.000 m² e armazéns cobertos para consolidação de carga e produtos de siderurgia.

Arrendam atualmente os terminais de carvão a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), o terminal de contêineres é administrado pela SEPETIBA TECON, o terminal de minérios é arrendado pela Companhia Portuária Baía de Sepetiba S/A (CPBS) e o terminal de Alumina é controlado pela VALESUL Alumínio S/A.

2.5.2 Porto Sudeste

A construção da Porto Sudeste foi iniciada em junho de 2010, com a escavação de um túnel que faz a ligação entre a estrutura principal e as estruturas marítimas do empreendimento. As operações foram iniciadas em setembro de 2015 e, em fevereiro do ano seguinte, foram atracados ao píer dois grandes navios cargueiros.



Figura 4: Píer do Porto Sudeste

O píer da Porto Sudeste (Figura 4) possui 765 m de extensão e é ligado ao continente através de uma ponte de acesso com 647 m de comprimento. Para a conclusão de todo projeto, foi necessária a cravação de 635 estacas de concreto de 90 cm cada. (“Grupo ARG | Porto Sudeste”). O porto possui uma profundidade de 21 m para receber navios Capesize para embarque de minério de ferro. Para a manutenção desta profundidade no porto e no canal de navegação são realizadas dragagens anuais destes locais e o sedimento retirado é lançado fora da Baía de Sepetiba.

A capacidade de armazenagem de minério é de $2,5 \cdot 10^6$ t, as esteiras e berços para o transporte do minério até o porão dos navios são capazes de escoar 12 mil granéis sólidos por hora. No primeiro ano de operação, a movimentação do terminal foi de 6,31 milhões de toneladas e em 2017 a movimentação já era de 9,45 milhões de toneladas, segundo o Sistema Público de Informações Gerenciais da Agencia Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAG), consultado em 08 de outubro de 2018.

2.5.3 Base Militar para Construção de Submarinos

Segundo o Ministério da Defesa, a base submarina do “PROSUB” (programa de construção de submarinos da Marinha do Brasil) está sendo construída em parceria com o governo francês e o contrato prevê transferência de tecnologia entre

os dois países. As obras para a construção do estaleiro e da base naval foram iniciadas em 2010.

A base naval é dividida em duas áreas, norte e sul, interligadas por um túnel com 703 metros de comprimento e 14 metros de diâmetro. Na área sul estão localizados dois grandes estaleiros e o complexo radiológico, são 487 mil m² que, no final da construção, contarão com dois píeres e duas docas, todos com 140 m, além de oficinas, 13 cais e um elevador de submarinos com capacidade de até 8 mil toneladas.

O complexo radiológico, onde serão feitas as trocas do combustível nuclear, possui altura de um prédio de 16 andares e possuirá uma unidade móvel, feita em estrutura metálica e totalmente blindada, para acesso ao reator instalado dentro do submarino.

O cronograma já sofreu vários adiamentos, na última atualização, em 2017, a Marinha informou que o lançamento do primeiro submarino convencional está previsto para dezembro de 2018 e mais outros 3 submarinos serão lançados ao mar entre 2020 e 2022. Não há previsão para o lançamento do submarino nuclear.

2.5.4 Companhia Mercantil Industrial Ingá

A companhia Mercantil e Industrial Ingá era beneficiadora de minério de zinco para exportação, instalou-se na Ilha da Madeira em 1962 e encerrou as atividades no final dos anos 1990, quando entrou em processo de falência (Ferreira, 2010). Durante os anos de operação, a Ingá gerou um enorme passivo ambiental para a localidade e seu entorno, pois o processo de produção de zinco usava como matéria prima o minério Calamina ($Zn_2SiO_3(OH)_2$) proveniente de Minas Gerais (Barcellos, 1995) ou Willemita (Zn_2SiO_4) (Magalhães & Pfeiffer, 1995), e gera como subprodutos o próprio zinco, além de cádmio principalmente.

Os efluentes líquidos eram lançados diretamente na Baía de Sepetiba, numa área de manguezal próximo ao Saco do Engenho. Os resíduos sólidos eram acumulados no pátio da empresa, formando montanhas de material tóxico a céu aberto. Em 1984 a empresa construiu um dique argiloso no perímetro da área de

deposição dos resíduos, e, para a contenção dos resíduos sólidos e líquidos, a empresa instalou tanques de acumulação de águas e uma estação de tratamento de resíduos e águas residuárias e outros sistemas de controle (Bredariol, 2004).

Tais medidas deveriam minimizar o despejo de resíduos tóxicos na baía, mas sondagens geotécnicas realizadas no local revelaram que a construção do dique havia sido malfeita, ficando muito próxima ao mar e num terreno baixo, deixando-o vulnerável a rompimentos (Viégas, 2006).

Em 1996, a Cia. Ingá Mercantil era uma das três maiores produtoras de zinco do Brasil, sua capacidade total instalada representava, naquela época, 30 % do mercado brasileiro. Em fevereiro deste mesmo ano, em decorrência das fortes chuvas, o dique de contenção se rompeu, causando um dos maiores desastres ambientais do Rio de Janeiro, contaminando a Baía de Sepetiba com metais tóxicos (Pinto, 2005).

Após a falência da Companhia Mercantil e Industrial Ingá em 1998, 390 mil m³ de efluentes foram abandonados formando uma pilha de aproximadamente 45 m de altura (Figura 5), composta principalmente por rejeitos metalúrgicos ricos em Zn e Cd, além de outros metais tóxicos, classificados como rejeitos de Classe 1, como As, Pb, Cu, Ni, Co, Fe e Mn. (Barcellos *et al.*, 1991; Lacerda & Molisani, 2006; Ferreira; 2010).



Figura 5: Rejeitos de metalurgia abandonados pela Ingá Mercantil

Em 2002 parte deste material vazou para a Baía de Sepetiba, nada foi feito para a recuperação do dique e um novo vazamento ocorreu em 2003, repetindo o desastre ecológico de 1996, quando cerca de 6000 m² de manguezal foram soterrados (Viégas, 2006).

Em junho de 2008, o terreno foi arrematado, em leilão, pela Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. (USIMINAS) com a promessa de descontaminação do terreno (USIMINAS, 2011) e recuperação total da área contaminada.

2.5.5 Ternium Brasil

A Ternium Brasil, inicialmente conhecida como Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), é uma das maiores siderúrgicas do Brasil e da América Latina. O conglomerado industrial, siderúrgico e portuário era uma *Joint Venture* formada pela Vale (27%) e Thyssen Krupp (73%) e contou com amplo apoio dos governos municipal, estadual e federal por meio de financiamento direto de quase R\$1,5 bilhão do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e importantes isenções fiscais (PACS, 2012).

O conglomerado é composto pela usina siderúrgica, com capacidade para produção de 10 milhões de toneladas por ano; usina termoelétrica, para a geração de 490 MW de energia elétrica alimentada por 4 milhões de toneladas de carvão mineral proveniente da Colômbia; e um porto com dois terminais compostos por um píer de 700 m e uma ponte de acesso de 4 km que atravessa uma área de manguezal. (ECOLOGUS, 2005)

O lançamento da pedra fundamental da siderúrgica foi em 29 de setembro de 2006, neste mesmo ano se iniciaram as obras para implantação do polo, com a dragagem para ampliação do Canal de São Francisco.

Segundo publicação do Instituto Políticas Alternativas para o Cone Sul - PACS (2012), a empresa retirou cerca de 21.810.000 m³ de lama do fundo da Baía e do Canal São Francisco com o objetivo de aumentar a sua profundidade e permitir o acesso aos navios. Parte deste material está no canteiro de obras da empresa para o aterro do terreno onde se ergueu a usina. Estas obras sempre foram cercadas de

denúncias de irregularidades, falhas no licenciamento e descaso com o meio ambiente.

A planta entrou em operação em 18 de junho de 2010 com o acionamento do primeiro alto-forno. Nos dias subsequentes, a incapacidade da CSA de garantir as condições operacionais adequadas desencadeou uma série de eventos de poluição atmosférica aguda, que ficou conhecida pela população como “chuva de prata”, desencadeando problemas respiratórios e dermatológicos que afetaram principalmente os idosos e as crianças, segundo a organização não governamental PareTKCSA (2018)

Os efluentes líquidos da siderúrgica são resultantes do sistema de resfriamento e de tratamento dos gases da fabricação do coque e apresentam níveis elevados de amônia, benzeno e outros. O tratamento deste material requereu a construção de estações de tratamento dos efluentes líquidos, reservando grande cautela para o destino do lodo dessas estações, que possuem altas concentrações de metais tóxicos. Utiliza-se água do canal de São Francisco para o resfriamento, esta é filtrada e bombeada para o sistema e após a troca de calor é dispensada no rio Guandu (PACS, 2015).

Depois de uma série de embargos na construção, inúmeras multas pelos órgãos ambientais, várias ações em diferentes esferas jurídicas e uma dívida de 300 milhões de Euros com o BNDES, associado à desvalorização do Real frente ao Dólar e uma forte queda do preço do aço no mercado internacional, a CSA começou a operar de forma deficitária. A ThyssenKrupp então resolve mudar a estratégia internacional e anuncia a venda da siderúrgica, que demorou cinco anos para se concretizar.

No dia 7 de setembro de 2017, a Ternium anunciou em seu site a aquisição por 1,4 bilhão de Euros da Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), que passou a ser Ternium Brasil. A usina agora é integrada ao sistema industrial e à cadeia de abastecimento da Ternium, que produz 12,4 milhões de toneladas de aço por ano e conta com 20 mil funcionários (Cavalcanti, 2017).

2.6

Técnicas Analíticas Utilizadas

2.6.1

Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)

A espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) é amplamente utilizada para determinar a concentração e composição isotópica de grande parte dos elementos da tabela periódica. Embora seja possível trabalhar-se com amostras sólidas, através da técnica de ablação a laser, bastante empregada na geologia, pode-se dizer que, na análise de amostras ambientais, faz-se necessária uma etapa prévia de solubilização do material. As amostras devem ser apresentadas ao equipamento como uma solução líquida, sem material em suspensão, sendo imprescindível o preparo de qualquer outro tipo de amostra que não tenha esta característica (Giné-Rosias, 1999). A solução passa por processo de nebulização, atomização e ionização ao longo de seu tempo de residência no plasma de argônio de alta temperatura, e a fração dos íons que penetram no espectrômetro de massa são então separados e quantificados. Como existe uma relação entre a quantidade de analito em soluções padrão e o sinal produzido, uma função de calibração pode ser estabelecida e a quantificação destes analitos pode ser realizada nas amostras com exatidão (Thomas, 2001).

Na Figura 6 observa-se a estrutura de um ICP-MS. Este equipamento possui um sistema de introdução de amostra (Figura 6-1), responsável pela admissão de uma quantidade suficiente de solução e formação da névoa com características necessárias para a posterior atomização/ionização eficiente sem alterar as características do plasma. O plasma de argônio é iniciado com uma descarga tesla através do fluxo de argônio, esta descarga retira elétrons de alguns átomos de argônio. Um campo magnético oscilante gerado por uma bobina acoplada a um gerador de radiofrequência estabiliza os elétrons retirados, assim como os cátions de argônio, dando início a uma reação em cadeia nesta região formando o plasma, que alcança temperaturas que podem variar entre 6000 e 10000 K (Figura 6-2). Desta forma, praticamente todas as moléculas que chegam ao plasma são dissociadas e, posteriormente, os elementos são ionizados, o que torna o ICP uma

fonte de íons muito abundante e adequada para a determinação de mais de 70 % dos elementos da tabela periódica (Agilent Technologies, 2005).

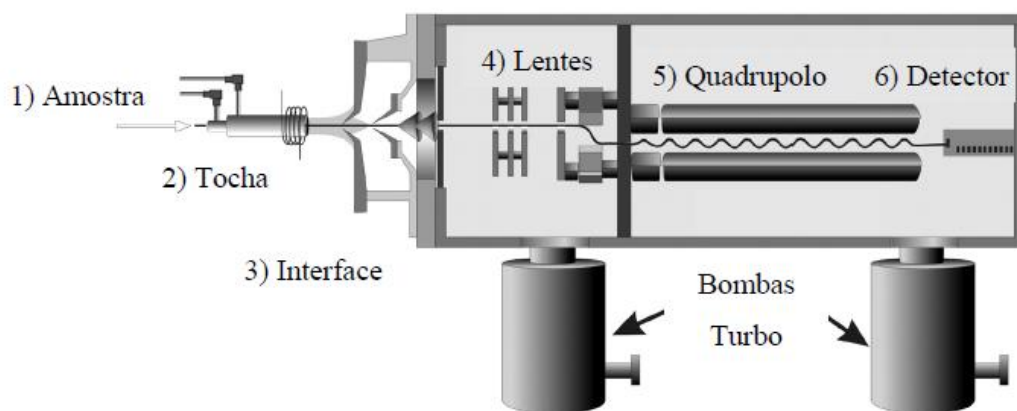


Figura 6: Esquema estrutural de um espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS)

Entre o plasma de argônio, que é a unidade geradora de íons e opera à pressão atmosférica, e o analisador de massa, que opera em alto vácuo, existe uma interface (Figura 6-3) de pressão intermediária. Essa interface é responsável pela extração dos íons do plasma e direcionamento para o espectrômetro, a diferença de pressão acelera os íons a velocidades ultrassônicas, estes serão posteriormente colimados e terão suas energias cinéticas ajustadas por um conjunto de lentes iônicas (Figura 6-4).

Segundo Giné-Rosias (1999), alguns elementos sofrem interferência de isóbaros, de íons poliatômicos, ou até mesmo de íons com carga diferente de +1 que também podem ser produzidos pelas condições de operação do plasma. No caso das interferências isobáricas ou poliatômicas, deve-se escolher um isótopo do elemento de interesse livre de interferência ou, caso não seja possível, deve-se utilizar células de reação/colisão que eliminam as espécies poliatômicas do feixe de íons a caminho do espectrômetro de massa.

O princípio de funcionamento destes sistemas consiste na passagem dos íons através de uma região que contém um gás de reação/colisão que irá atuar na dissociação destes interferentes poliatômicos ou apenas irá desestabilizar estas espécies retirando-as do feixe iônico (Agilent Technologies, 2005).

O feixe iônico é então direcionado para o analisador de massa do tipo quadrupolo (Figura 6-5), que opera variando continuamente a magnitude de um

campo elétrico e também alternando, em frequências bem definidas, a polaridade deste campo. Desta maneira, num curto intervalo de tempo, apenas íons que possuem uma razão massa/carga bem definida terão sua trajetória estabilizada e encaminhada até o detector (Figura 6-6), todas as outras espécies serão desestabilizadas e desviadas do fluxo de íons, sendo assim, em intervalos de tempo bem determinados apenas uma espécie iônica será capaz de atingir o detector, que converte a energia de colisão dos íons em sinal elétrico que é posteriormente amplificado e registrado (Agilent Technologies, 2005).

Giné-Rosias (1999) afirma que as determinações por ICP-MS são extremamente sensíveis e permitem a detecção de metais em níveis extremamente baixos (ng L^{-1}). Além da boa sensibilidade, esta técnica também apresenta como característica principal a análise multielementar em tempo extremamente reduzido, o que a torna uma ferramenta extremamente poderosa e útil na determinação da concentração total de metais em amostras ambientais.

2.6.2

Espectrometria de Absorção Atômica com Geração de Vapor Frio – Determinação de Mercúrio

A absorção de energia por átomos livres, gasosos e no estado fundamental é a base de espectrometria de absorção atômica. Quando uma radiação de um determinado comprimento de onda passa através de algum sistema que contenha vapor de átomos no estado fundamental, parte desta radiação pode ser absorvida de acordo com o processo $M + h\nu \rightarrow M^*$, onde M é o átomo no estado fundamental e M^* é o átomo no estado excitado. O que define a especificidade para a absorção de radiação por átomos diferentes é a relação entre a frequência da radiação incidente (ν) e a diferença de energia entre os estados fundamental (E) e excitado (E^*). Se $E^* - E = h\nu$, onde h é a constante de Planck, o processo de absorção pode ocorrer (Welz, 1999).

A espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (CV-AAS) é atualmente o método analítico mais utilizado para a determinação de mercúrio em concentrações muito baixas e em uma grande variedade de matrizes (Srogi, 2008). Esta técnica é específica para a quantificação de mercúrio, pois este é o único

elemento metálico, que em sua forma atômica (Hg^0) encontra-se presente na forma de vapor à temperatura ambiente.

O método baseia-se na redução do íon mercuroso Hg_2^{2+} a Hg^0 em solução aquosa pela adição de um agente fortemente redutor, sendo comumente utilizadas soluções de cloreto estanoso (SnCl_2) ou borohidreto de sódio (NaBH_4). O Hg^0 é então liberado completamente da solução por meio de forte agitação ou borbulhamento com um gás inerte, geralmente nitrogênio (N_2) ou argônio (Ar), que também serve como gás de arraste e conduz o Hg^0 até a célula de absorção, um tubo cilíndrico de vidro com janelas de quartzo, localizado no caminho ótico do equipamento de absorção atômica, de forma longitudinal. Segundo Welz (1999), essa técnica recebe o nome de “vapor frio” exatamente pelo fato de que o elemento químico em questão chega à célula de absorção já na forma atômica e sem a necessidade de aquecimento.

2.6.3 Datação por ^{210}Pb

O ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,26$ anos) é um dos radioisótopos produto do decaimento da série natural do ^{238}U .

O desequilíbrio entre o ^{210}Pb e o ^{226}Ra ($t_{1/2} = 1602$ anos) ocorre devido a presença do ^{222}Rn ($t_{1/2} = 3,82$ dias) na atmosfera. Esse ^{222}Rn formado a partir do decaimento ^{226}Ra , por ser um gás, desprende-se do solo e difunde-se pela atmosfera, onde, decai formando uma sequência de vários núclídeos de meia-vida curta, até a formação do ^{210}Pb (Figura 7) que, denomina-se $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$, por estar em excesso e em desequilíbrio com o ^{226}Ra (Mozeto *et al.*, 2006).

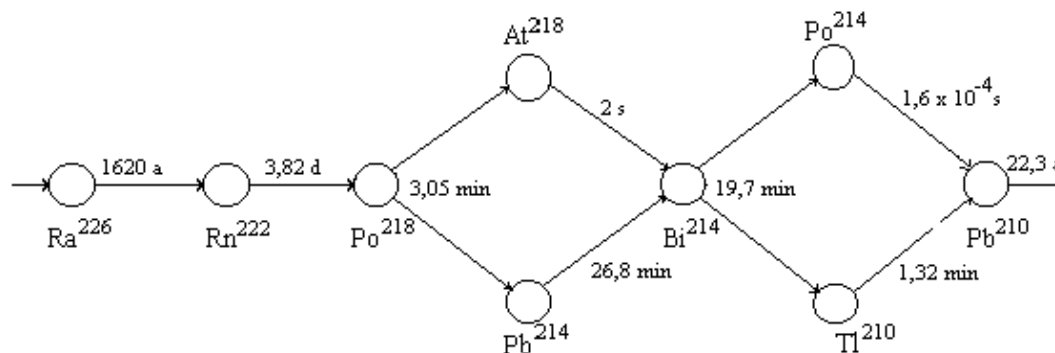


Figura 7: Série do ^{238}U : do ^{226}Ra ao ^{210}Pb . São indicadas as meias-vidas dos radionuclídeos (Argollo, 2001).

O $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ é removido da atmosfera por precipitação úmida ou seca. Esta precipitação é considerada constante por unidade de área para uma mesma região e depende de uma série de fatores relacionados com as características do solo, ventilação e índice pluviométrico (Lima, 1996; Mozeto *et al.*, 2006).

O $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ se deposita nas superfícies dos lagos e oceanos e, com o tempo, acumula-se no fundo com o sedimento. (Lima, 1996; Mozeto *et al.*, 2006).

A fração de $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ que se mantém no sedimento, em equilíbrio com o ^{222}Rn , que não emanou para a atmosfera, e que, conseqüentemente, está em equilíbrio com o ^{226}Ra , é denominada “suportada radiologicamente”; essa fração, por estar em equilíbrio com o ^{226}Ra pode ser obtida pela medida da atividade do mesmo. (Mozeto *et al.*, 2006).

O $^{210}\text{Pb}_{\text{Total}}$ presente no sedimento é uma soma das frações de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ (não suportado radiologicamente) e do $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ (Figura 8) que está em equilíbrio com o ^{226}Ra (Mozeto *et al.*, 2006).

$$^{210}\text{Pb}_{\text{Total}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{sup}} + ^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$$

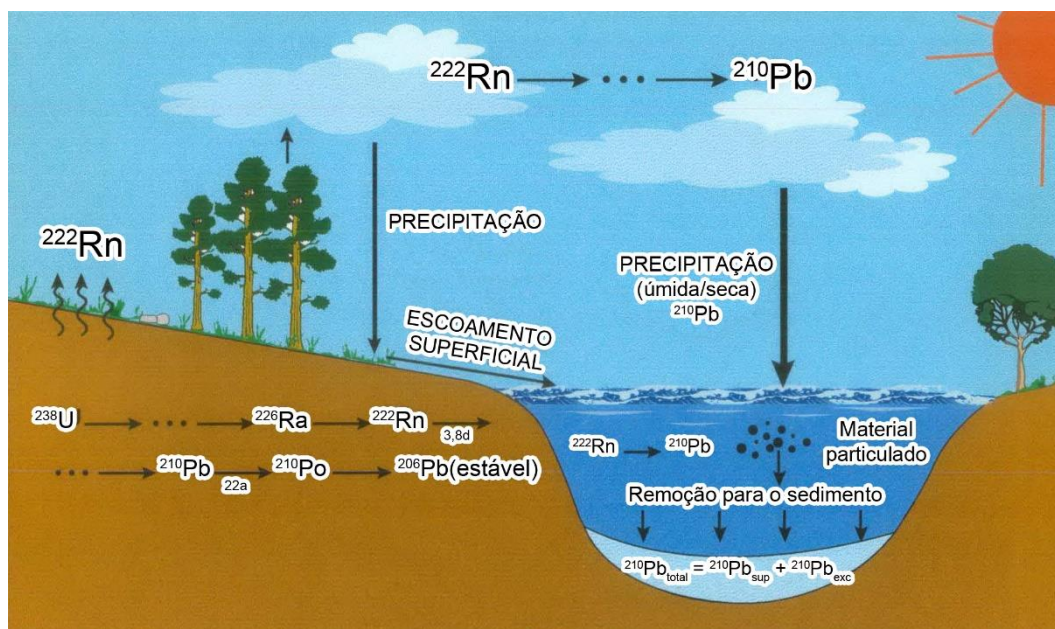


Figura 8: Dinâmica do ^{210}Pb no meio ambiente (Lima, 1996).

A correção da concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ é garantida a partir da concentração

de $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ encontrada nas camadas sedimentares mais profundas. Sabe-se que, com o aumento da profundidade, a concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ tende a zero, alcançando-se, assim, um valor constante para $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, visto que este seria a própria concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$. Este seria subtraído da concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ das demais camadas acima da referencial. Isto corrigiria a concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$, que é utilizada para avaliação da taxa de sedimentação (Mozeto *et al.*, 2006).

Segundo Godoy *et al.* (1998), em áreas costeiras, onde as taxas de sedimentação são elevadas ($> 1 \text{ cm ano}^{-1}$), a determinação radiométrica de ^{210}Pb apresenta-se como a técnica mais indicada devido ao período de aplicação (até 100 anos).

Segundo Wanderley (1995), existem dois modelos matemáticos que se aplicam à interpretação dos perfis sedimentares, o modelo CF:CR (Constant Flux : Constant Rate) e o modelo CRS (Constant Rate of Supply).

– Modelo CF:CR (Constant Flux : Constant Rate)

Neste modelo, supõe-se que a área estudada é estável, sem mudanças na taxa de sedimentação e a incorporação de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$, ocorre a um fluxo constante, portanto, a concentração inicial de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ é considerada constante.

A concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ irá apresentar um decaimento exponencial em relação à profundidade representada pela massa acumulada de sedimento (g cm^{-2}). O gráfico da concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus a massa acumulada irá apresentar uma variação que segue a equação da lei do decaimento radiotivo:

$$C(x) = C_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

ou

$$C(x) = C_0 \cdot e^{-\lambda \cdot \frac{x}{w}}$$

Onde:

$C(x)$ = atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ (mBq g^{-1}) a uma profundidade x

C_0 = atividade inicial do $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ (mBq g^{-1})

λ = constante de decaimento do ^{210}Pb ($0,03114 \text{ ano}^{-1}$)

t = idade da camada de sedimento (anos)

x = profundidade expressa pela massa acumulada (g cm^{-2})

w = taxa de sedimentação ($\text{g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)

– Modelo CRS (Constant Rate of Supply)

Este modelo é aplicado quando o fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ é uma constante, mas a taxa de sedimentação não é constante (Wanderley, 1995).

A diferença entre esses modelos é que o primeiro assume que as velocidades de sedimentação são constantes durante o período em que se é possível mensurar o $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$, enquanto o segundo modelo considera qualquer variação na velocidade (Shukla e Joshi, 1989 *apud* Wanderley, 1995).

Para regiões que sofrem grandes modificações antropogênicas, o modelo CRS mostra-se mais adequado devido à grande variação na velocidade de sedimentação (Wanderley, 1995).

A partir dos valores da atividade de ^{210}Pb em cada fatia do sedimento, é possível calcular a idade dessas fatias aplicando-se a integração dos valores das atividades de acordo com a seguinte equação:

$$t = \lambda^{-1} \cdot \ln [A_{\infty}/A_x]$$

onde:

t = Idade (anos) de uma determinada fatia

λ = Constante de decaimento do $^{210}\text{Pb} = 0,0311 \text{ ano}^{-1}$

$A_{\infty} = \sum A_{0 \rightarrow \infty}$ Atividade integrada (mBq cm^{-2}) da superfície até $A = 0$

$A_x = \sum A_{0 \rightarrow x}$ Atividade integrada (mBq cm^{-2}) até a seção em questão

2.6.4 Granulometria dos sedimentos

A descrição quantitativa da textura de solo ou sedimento marinho é realizada por meio de uma análise granulométrica, um ensaio em que se obtém informações a respeito das dimensões dos grãos e da distribuição percentual, em peso, em intervalos de dimensões arbitradas por métodos de classificação de solos e sedimentos. Esses intervalos são também conhecidos como frações do solo ou sedimento e recebem designações específicas, para permitir a descrição do material segundo, exclusivamente, a sua granulometria (Folk, 1966).

A análise granulométrica pode ser realizada por peneiramento do material seco, por sedimentação, por difração de laser ou por análise de imagem fotográfica com o auxílio de *softwares* específicos para tal finalidade (Rzasa & Owczarzak, 2013)

No Brasil, segundo a ABNT NBR 6502 (1995), é adotada a seguinte classificação granulométrica:

Tabela 1: Classificação Granulométrica, adaptada de ABNT NBR 6502/95

Classificação	Diâmetro dos Grãos (\varnothing , mm)
Bloco de Rocha	$\varnothing > 1000$
Matacão	$200 < \varnothing \leq 1000$
Seixo	$60 < \varnothing \leq 200$
Grânulo	$2 < \varnothing \leq 60$
Areia Grossa	$0,6 < \varnothing \leq 2$
Areia Média	$0,2 < \varnothing \leq 0,6$
Areia Fina	$0,06 < \varnothing \leq 0,2$
Silte	$0,002 < \varnothing \leq 0,06$
Argila	$\varnothing \leq 0,002$

O cascalho (bloco de rocha, matacão, seixo e grânulo) é o sedimento mais grosso e consiste de uma acumulação não consolidada de fragmentos arredondados de minerais e/ou rochas de granulação maior que areia.

A areia (grossa, média e fina) é um sedimento sem coesão em que os grãos são constituídos predominantemente de quartzo, que é formado por sílica (SiO_2) em estado cristalino. As partículas mais finas englobam os siltes e as argilas. Acredita-se que mais de 50% dos minerais em rochas sedimentares são constituídos por minerais de argila que são bons captadores de metais (Suguio, 1980).

Em amostras de sedimento marinho o conhecimento da distribuição granulométrica permite uma melhor interpretação dos dados obtidos, principalmente no que diz respeito à disponibilidade e mobilidade dos metais. É sabido que a presença de metais em sedimento depende fortemente do tamanho das partículas e do teor de matéria orgânica (Fernandes *et al.*, 2011).

No ambiente aquático, as espécies metálicas podem se concentrar na água, nos sedimentos e na biota. Como os sedimentos constituem uma mistura

heterogênea de partículas (quartzo, minerais argilosos, carbonatos e sólidos orgânicos), predominantemente, a distribuição dos contaminantes, sejam íons metálicos ou contaminantes apolares, dá-se na superfície das partículas da fase sólida, sejam eles particulados suspensos, em deposição ou já depositados no fundo do ambiente aquático (Silvério *et al.*, 2005). Segundo Moore *et al.* (1989), isto ocorre pois as partículas orgânicas são mais finas e apresentam elevada área superficial que favorece a retenção dos metais.

Conforme descrito por McBride (1989) os metais encontram-se associados às partículas dos sedimentos sob diversos mecanismos de ligação:

- ✓ Adsorvidos em sítios de trocas catiônicas;
- ✓ Co-precipitados com oxi-hidróxidos de ferro-manganês, carbonatos e sulfetos;
- ✓ Complexados com matéria orgânica e
- ✓ Incorporados à rede cristalina de minerais detríticos.

Mestrinho (1998) estudou o comportamento de metais em uma região estuarina e afirma que estes depositam-se em função da predisposição na adsorção e modificação dos mesmos no material sedimentar particulado. O tempo de residência dos metais nos sedimentos dependerá de vários processos no meio aquático, além da adsorção, coprecipitação/floculação e complexação, verifica-se que modificação de pH e a salinidade poderão promover a fixação ou a dessorção parcial ou liberação total das frações metálicas, associadas aos substratos sedimentares.

A capacidade de troca ou habilidade de adsorver íons, varia amplamente de acordo com o tamanho do grão e a natureza das partículas envolvidas. Botelho *et al.* (1999) mostraram que a adsorção é importante na fração de tamanho reduzido, pois o grão fino apresenta elevada área específica. As argilas apresentam a tendência de se associar à matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês e possuem uma alta capacidade de troca catiônica (CTC), ou seja, facilidade em adsorver cátions metálicos.

2.6.5

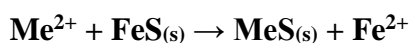
Sulfetos volatilizados por acidificação / Metais extraídos simultaneamente

Por definição, os sulfetos volatilizados por acidificação (*acid volatile sulfides*, AVS) são aqueles sulfetos capazes de se transformar em ácido sulfídrico (H₂S) e serem liberados do sedimento na forma gasosa, mediante acidificação a frio com ácido clorídrico (HCl) 1 mol L⁻¹, sob agitação leve e purga de gás inerte (Allen *et al.*, 1993). Para este mesmo autor, na fase líquida desta extração estão os metais extraídos simultaneamente (*simultaneously extracted metals*, SEM), acredita-se que os metais ligados aos sulfetos, assim como os adsorvidos em óxido de ferro ou em carbono orgânico particulado são completamente extraídos durante a acidificação. (Allen *et al.* (1993); Ankley *et al.* (1993); Di Toro *et al.* (1996)).

Larner *et al.* (2008) afirma que essa extração mais branda não é capaz de recuperar os metais ligados às estruturas de silício e às formas geoquímicas ou minerais mais recalcitrantes da matriz, por isso pode ser considerada uma boa indicação da biodisponibilidade destes metais às populações bentônicas.

Diversos estudos têm mostrado que o AVS é a principal fase controladora da partição de alguns cátions metálicos bivalentes nos sedimentos, principalmente em sedimentos anóxicos, controlando desta forma a biodisponibilidade e toxicidade destes cátions. Metais como chumbo, cádmio, cobre, níquel e zinco são tóxicos a várias formas de vida, principalmente, quando estes se encontram dissolvidos em água, em sua forma iônica. Estes metais são normalmente encontrados em águas superficiais como resultados de processos naturais, como o intemperismo que pode afetar rochas que contêm estes metais ou, principalmente, devido à atividade humana, como mineração, fundição ou outros processos industriais que gerem resíduos tóxicos.

Em ambientes marinhos não contaminados o AVS é composto basicamente de sulfetos amorfos de ferro. Na presença de cátions metálicos bivalentes, como Pb²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺, que formam sulfetos menos solúveis que o sulfeto ferroso, ocorre o deslocamento do ferro no FeS_(s), conforme a reação:



Desta mesma forma, um íon metálico mais solúvel será preferencialmente substituído por outro íon que forme um sulfeto menos solúvel.

A partir de década de 1990, muitos estudos começaram a ser conduzidos, tendo como objetivo a avaliação da toxicidade de substâncias orgânicas não iônicas nos sedimentos (Di Toro *et al.*, 1990), além da função dos sulfetos na imobilização ou biodisponibilização de metais tóxicos neste mesmo compartimento (Di Toro *et al.*, 1991; Ankley *et al.*, 1993). Estes estudos demonstraram que a toxicidade dos íons metálicos supracitados não é manifestada quando a concentração molar de AVS excede a soma molar da concentração iônica.

2.6.6

Determinação Elementar e Isotópica de carbono e nitrogênio

A composição elementar e isotópica de sedimentos costeiros tem potencial para permitir identificação das fontes de matéria orgânica neste ambiente, possibilitando uma avaliação da influência fluvio-marinha a que o ambiente estuarino está sujeito.

A razão isotópica de carbono permite distinguir entre fontes marinhas e continentais de matéria orgânica, bem como identificar diferentes tipos de plantas, dado que estas podem ter diferentes processos bioquímicos de incorporação do carbono, segundo Jorge e Portela (2013). A maioria das plantas fotossintéticas utiliza o mecanismo de Calvin (C3), mecanismo este que produz um composto com 3 átomos de carbono após a reação de fixação do dióxido de carbono. Por outro lado, as plantas C4 favorecem o mecanismo de Slack, que produz ácido málico ou aspartato, compostos com 4 átomos de carbono.

Meyers (1994) determinou os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para plantas C3, obtendo valores na ordem de -27 ‰ enquanto para as plantas C4, o valor obtido estava em torno de -14 ‰. Nos dois casos, a fonte de CO_2 é a atmosfera, onde o valor $\delta^{13}\text{C}$ fica em torno de -7 ‰. Segundo Meyers (1994) as algas marinhas possuem uma assinatura isotópica distinta das de água doce, permitindo a sua diferenciação por meio da determinação do $\delta^{13}\text{C}$ em sedimentos marinhos. As algas marinhas apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre 20-23 ‰, enquanto as algas de água doce apresentam valores entre 27-29 ‰. Essa diferença ocorre, pois, as algas de água

doce utilizam em seu metabolismo CO_2 dissolvido, que normalmente está em equilíbrio isotópico com o CO_2 atmosférico, enquanto a fonte de carbono inorgânico para as algas marinhas é o bicarbonato dissolvido, que apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a 0 ‰.

Quando determinada a composição isotópica de um sedimento que acumula matéria orgânica de diversas fontes, esta irá sempre refletir uma mistura dessas fontes, sendo necessário analisar vários parâmetros para uma melhor diferenciação. O cálculo da razão entre a composição elementar em carbono e nitrogênio (C/N) e a sua correlação com os correspondentes valores de $\delta^{13}\text{C}$ melhora a identificação das fontes com maior influência no fornecimento da matéria orgânica (Meyers, 1994).

Rezende *et al.* (2010) determinaram a razão C/N e $\delta^{13}\text{C}$ e concluíram que o sedimento da Baía de Sepetiba apresenta uma mistura equilibrada de matéria orgânica oriunda de plantas superiores (48 %) e de material planctônico (46 %), com uma pequena contribuição de vegetação do tipo gramínea (6 %), com valor médio para a razão C/N de 7,48 (11,1 a 15,3) e de -23,9 ‰ (-21,8 a 25,2 ‰) para $\delta^{13}\text{C}$.

Assim como os valores de $\delta^{13}\text{C}$, também os valores de $\delta^{15}\text{N}$ têm sido empregados em regiões estuarinas, como uma ferramenta auxiliar na determinação da origem da matéria orgânica. Matéria orgânica de origem marinha possui $\delta^{15}\text{N}$ entre 3-12‰, com uma média de 5-7‰ para fito plâncton que usam nitrato dissolvido. A matéria orgânica de plantas terrestres fixadoras de nitrogênio tem $\delta^{15}\text{N}$ próximo de zero, enquanto aquelas que usam fertilizantes minerais apresentam $\delta^{15}\text{N}$ positivo. Adicionalmente, nitrogênio derivado de esgoto é bastante enriquecido em ^{15}N , apresentando $\delta^{15}\text{N}$ entre 10-22‰ (Gao *et al.*, 2012).

É importante, também ressaltar que as características do $\delta^{15}\text{N}$ em sedimentos podem ser modificadas tendendo refletir mais a diagênese da matéria orgânica do que a sua origem em si (Thornton e McManus, 1994; Xu *et al.*, 2017).

2.7

Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos de Ambientes Aquáticos (VGQS)

A avaliação da qualidade de sedimentos foi, por muito tempo, realizada somente por meio da determinação das concentrações das espécies químicas individuais. Muitas vezes, esses valores eram comparados apenas com referências, que geralmente eram valores de “background” e que não permitiam, evidentemente, um estudo aprofundado sobre o verdadeiro impacto dos contaminantes no meio ambiente. Nas últimas décadas, conforme apontado por Burton (2002), tem sido desenvolvido um grande número de guias de qualidade de sedimentos para avaliação e manejo de sedimentos contaminados.

Das várias abordagens que aparecem na literatura especializada empregadas na avaliação da qualidade e manejo de sedimentos contaminados, muitas fazem uso de valores e critérios, mais apropriadamente falando, de guias numéricos de qualidade para diversas espécies químicas. Estes guias são referidos como valores-guia de qualidade de sedimento, ou apenas VGQS. (Mozeto *et al.*, 2006).

2.7.1

VGQS de Partição

Os VGQS de partição, também descritos como VGQS do AVS ou VGQS da fase sólida, apoiam-se, teoricamente, no equilíbrio de partição de contaminantes para metais e sulfetos volatilizáveis por acidificação. Este valor é calculado a partir da diferença entre o $\sum[\text{SEM}]$ e $[\text{AVS}]$, onde $\sum[\text{SEM}]$ é igual ao somatório da concentração molar de metais extraídos simultaneamente (Pb, Cd, Cu, Ni e Zn) e $[\text{AVS}]$ é a concentração molar de sulfetos volatilizáveis por acidificação nos sedimentos (Ankley *et al.*, 1996; Simpson *et al.*, 2005; Di Toro *et al.*, 1990)

Se o resultado da diferença $\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]$ for menor ou igual a zero, ou seja, não há excesso de SEM em relação ao AVS, a concentração da mistura destes metais não deve causar impactos sobre organismos bentônicos, conforme descrito por Mozeto *et al.* (2006). Porém é importante ressaltar que este VGQS apenas prevê a não toxicidade dos sedimentos para estes parâmetros, quando o valor da diferença $\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]$ for maior do que zero, os sedimentos não necessariamente

apresentarão toxicidade, uma vez que pode haver o controle da biodisponibilidade e toxicidade por outra fase que não o sulfeto, como por exemplo, o carbono orgânico total (COT) dos sedimentos. (Ankley *et al.*, 1996; USEPA, 2000).

Para Fagnani *et al.* (2011), expressar a relação entre SEM e AVS apresenta duas desvantagens, a primeira diz respeito ao fato de que quando valores muito baixos de sulfeto são comparados com valores relativamente altos de metais, o número resultante é extremamente alto e não se pode afirmar nada sobre a quantidade de metais que estaria biodisponível. Em segundo lugar, refinamentos do cálculo levando em conta outras fases ligantes são difíceis de serem realizados.

Quando o somatório das concentrações molares dos metais for maior do que a concentração molar de sulfeto, os metais poderão apresentar riscos significativos para a biota caso não exista outra fase ligante controlando a biodisponibilidade destes. Fagnani *et al.* (2011) acrescenta que os óxidos e hidróxidos de ferro e manganês dificilmente existem em ambientes anaeróbicos e sulfídricos, limitando a importância destas espécies químicas às primeiras camadas do sedimento. Neste contexto, a matéria orgânica passa a ter alta relevância, já que ela é a principal fase ligante de metais depois dos sulfetos, estando presente mesmo em ambientes anaeróbicos.

Por esta razão, nos casos em que $\sum[\text{SEM}] > [\text{AVS}]$, adiciona-se uma variável à expressão, tornado-a:

$$\frac{\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]}{f_{\text{oc}}}$$

Sendo f_{oc} a fração em massa de carbono orgânico presente no sedimento.

Baseada neste conceito, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA), utilizando um banco de dados com aproximadamente quatrocentos resultados de diversos estudos de toxicidade à biota, derivou quatro faixas de valores-guia de qualidade do sedimento com base nos resultados de AVS, SEM e f_{oc} (Hansen *et al.*, 2005). Resumidamente, encontram-se a seguir as faixas com os VGQS.

$$1 - (\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]) / f_{\text{oc}} < 130 \mu\text{mol g}_{\text{oc}}^{-1}$$

Baixo risco de efeitos biológicos adversos devido ao Cd, Cu, Pb, Ni e Zn.

$$2 - 130 \mu\text{mol g}_{\text{oc}}^{-1} < (\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]) / f_{\text{oc}} < 3000 \mu\text{mol g}_{\text{oc}}^{-1}$$

Podem haver efeitos biológicos adversos devido ao Cd, Cu, Pb, Ni e Zn.

$$3 - (\sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}]) / f_{\text{oc}} > 3000 \mu\text{mol g}_{\text{oc}}^{-1}$$

São esperados efeitos biológicos adversos devido ao Cd, Cu, Pb, Ni e Zn.

$$4 - \sum[\text{SEM}] - [\text{AVS}] \leq 0$$

Não são esperados efeitos biológicos adversos devido ao Cd, Cu, Pb, Ni e Zn.

2.7.2

VGQS Empíricos

Os VGQS empíricos são aqueles que se apoiam, empiricamente, em dados emparelhados de concentração química dos contaminantes individuais e efeitos biológicos observados, ou seja, aqueles derivados de informações da comunidade bentônica ou de testes de toxicidade realizados em laboratório com sedimentos fortificados ou não (Mozeto *et al.*, 2006).

Diferente do VGQS de partição, que possuem faixas bem definidas e utilizadas amplamente pela comunidade científica, Burton (2002) aponta a existência de numerosos modelos para os VGQS empíricos, todos derivados de maneira bastante similar e que, em alguns casos, apresentam valores próximos, mas possuem denominações diferentes, como por exemplo:

- a) ‘TEL’ e ‘PEL’, do inglês *Threshold Effect Level* e *Probable Effect Level*, ou seja, nível limiar de efeitos e nível provável de efeitos (Long & Morgan, 1990)
- b) ‘ERL’ e ‘ERM’, do inglês *Effect Range-Low* e *Effect Range-Median*, intervalo de efeito baixo e intervalo de efeito médio, respectivamente. (Macdonald *et al.*, 1996)
- c) ‘TEC’, ‘MEC’ e ‘EEC’, do inglês *Threshold Effect Concentration*, *Medium Effect Concentration* e *Extreme Effect Concentration*, ou seja, concentração limiar de efeito, concentração de médio efeito e concentração de efeitos extremos. (Swartz, 1999)

Estes VGQS foram derivados a partir de um amplo banco de dados, no qual o peso estatístico é bastante significativo para a definição dos valores numéricos em questão, válidos para contaminantes individuais. Segundo o modelo da curva de resposta biológica apresentada por vários organismos bentônicos, VGQS do tipo limiar de efeitos preveem toxicidade para menos de 5 % da fauna e os VGQS de efeitos prováveis preveem toxicidade para quantidades iguais ou maiores do que 50 % da fauna dos sedimentos (Mozeto *et al.*, 2006). Evidentemente, entre os níveis inferiores e superiores há uma zona de transição, em que a toxicidade varia significativamente à medida que a concentração do contaminante aumenta.

Para Burton (2002), esses VGQS apontam para uma situação de contaminação, ou não, do sedimento marinho, mas não consideram a variação da biodisponibilidade dos contaminantes nos sedimentos, razão pela qual não são capazes de prever inequivocamente a toxicidade dos sedimentos. Os contaminantes dos sedimentos não agem individualmente sobre os organismos, efeitos tóxicos são causados por misturas complexas de contaminantes, além disso, os diferentes organismos bentônicos não respondem da mesma forma, quando expostos aos contaminantes. Burton (2002) cita ainda que, apesar do amplo banco de dados a disposição da comunidade científica para a derivação de VGQS, há de se considerar a natureza altamente dinâmica dos sedimentos nos ambientes aquáticos, por isso se faz necessário uma abordagem integrada para a avaliação da qualidade e manejo de sedimentos marinhos.

2.7.3 Valores-Guia adotados no Brasil

No Brasil não há uma legislação vigente em todo território nacional que utilize os VGQS empíricos como referência, sendo adotados os valores de ‘TEL’ e ‘PEL’ para águas doces e os valores de ‘ERL’ e ‘ERM’ para águas salinas e salobras.

No âmbito federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é um órgão colegiado ligado ao Ministério do Meio Ambiente, é competente para o estabelecimento de normas e critérios para o licenciamento ambiental, como

também, para o estabelecimento de padrões de controle da poluição ambiental, atribuições que são exercidas por meio de atos administrativos normativos chamados de resoluções.

No que diz respeito aos sedimentos, pode-se citar a resolução CONAMA 454 (2012) que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. A Tabela 2 apresenta os níveis de classificação apontados pela resolução, estão contemplados nesta tabela apenas os metais determinados neste estudo.

Na ausência de uma resolução específica sobre qualidade de sedimentos, a resolução CONAMA 454 (2012) tem sido amplamente utilizada, em particular, pelo fato dos valores guia adotados terem sido originados das normas canadense e americana de qualidade de sedimentos.

Tabela 2: Níveis de classificação de metais em sedimentos, CONAMA 454/12

Metais	Níveis de Classificação em	
	Unidade de Material Seco (mg kg ⁻¹)	
	Nível 1 (ERL)	Nível 2 (ERM)
cádmio (Cd)	1,2	7,2
chumbo (Pb)	46,7	218
cobre (Cu)	34	270
cromo (Cr)	81	370
mercúrio (Hg)	0,3	1,0
níquel (Ni)	20,9	51,6
zinco (Zn)	150	410

3

Materiais e Métodos

3.1

Coleta de amostras

3.1.1

Amostragem de sedimento superficial

Foram coletados sedimentos em 38 estações ao longo da Baía de Sepetiba, entre julho e outubro de 2016, e o critério adotado para selecionar esses pontos de amostragem foi o estudo realizado pelo INEA na década de 1990 dentro do projeto de cooperação técnica FEEMA/GTZ, no qual as mesmas estações foram amostradas e avaliadas. A distribuição das estações na região da baía pode ser vista na Figura 9 e as coordenadas encontram-se na Tabela 3.

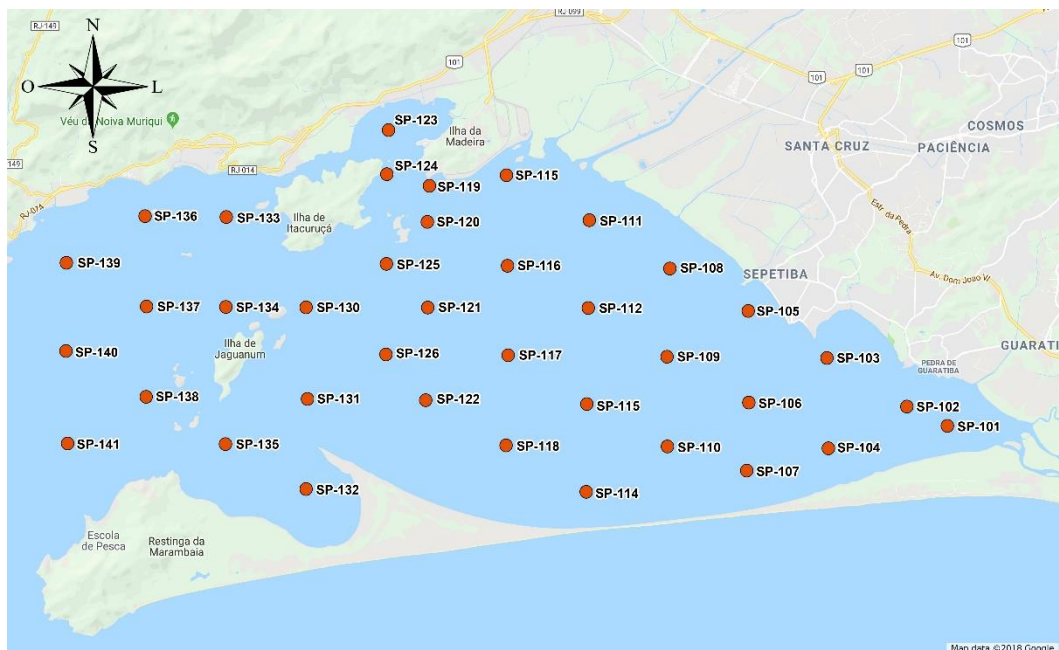


Figura 9: Distribuição geográfica dos pontos de amostragem de sedimento superficial ao longo da Baía de Sepetiba.

Tabela 3: Coordenadas geográficas das estações de amostragem de sedimentos superficiais.

Estações de amostragem	Coordenadas Geográficas (GMS)		UTM-23S / Datum WGS 84	
	Latitude	Longitude	X	Y
SP-101	23°01'26.35"S	43°38'04.66"O	639910	7453173
SP-102	23°01'00.36"S	43°39'04.85"O	638204	7453988
SP-103	22°59'55.18"S	43°41'03.92"O	634832	7456023
SP-104	23°01'56.49"S	43°41'01.72"O	634854	7452292
SP-105	22°58'52.17"S	43°43'00.98"O	631516	7457991
SP-106	23°00'55.13"S	43°42'59.96"O	631512	7454209
SP-107	23°02'26.30"S	43°43'02.92"O	631403	7451406
SP-108	22°57'55.39"S	43°44'57.29"O	628219	7459766
SP-109	22°59'53.45"S	43°45'01.61"O	628065	7456136
SP-110	23°01'53.98"S	43°45'01.02"O	628050	7452429
SP-111	22°56'50.34"S	43°46'57.29"O	624818	7461795
SP-112	22°58'48.16"S	43°46'58.94"O	624741	7458172
SP-113	23°00'57.10"S	43°47'00.87"O	624653	7454207
SP-114	23°02'54.68"S	43°47'01.78"O	624597	7450591
SP-115	22°55'50.05"S	43°49'00.66"O	621319	7463678
SP-116	22°57'51.62"S	43°48'59.14"O	621332	7459939
SP-117	22°59'51.59"S	43°48'58.20"O	621329	7456249
SP-118	23°01'52.51"S	43°49'01.23"O	621213	7452531
SP-119	22°56'04.39"S	43°50'55.23"O	618052	7463263
SP-120	22°56'52.63"S	43°50'58.33"O	617952	7461780
SP-121	22°58'47.54"S	43°50'57.57"O	617946	7458246
SP-122	23°00'52.03"S	43°51'00.62"O	617829	7454418
SP-123	22°54'49.45"S	43°51'55.99"O	616339	7465581
SP-124	22°55'48.52"S	43°51'58.48"O	616254	7463765
SP-125	22°57'49.11"S	43°51'59.07"O	616279	7460056
SP-126	22°59'50.55"S	43°51'59.66"O	616163	7456322
SP-130	22°58'47.33"S	43°53'58.61"O	612791	7458292
SP-131	23°00'50.23"S	43°53'56.66"O	612818	7454512
SP-132	23°02'51.17"S	43°53'58.63"O	612734	7450793
SP-133	22°56'46.24"S	43°55'57.41"O	609435	7462041
SP-134	22°58'46.62"S	43°55'57.91"O	609394	7458339
SP-135	23°01'50.83"S	43°55'58.71"O	609330	7452674
SP-136	22°56'44.96"S	43°57'58.13"O	605997	7462105
SP-137	22°58'46.23"S	43°57'56.12"O	606028	7458375
SP-138	23°00'47.33"S	43°57'56.74"O	605984	7454651
SP-139	22°57'47.46"S	43°59'55.33"O	602646	7460206
SP-140	22°59'46.05"S	43°59'55.82"O	602607	7456559
SP-141	23°01'49.99"S	43°59'53.36"O	602651	7452747

Os sedimentos superficiais foram coletados com o auxílio de uma draga Petersen (Figura 10) e, em seguida, 3 alíquotas das amostras foram separadas e acondicionadas em recipientes e temperatura adequados para a preservação necessária a cada ensaio que viria a ser realizado no laboratório.

Para a determinação de sulfetos ácidos voláteis e metais simultaneamente extraídos utilizou-se frascos de vidro limpos e descontaminados por meio de imersão em solução de HNO_3 10 % m/v por, pelo menos 24 h, seguido por uma lavagem com água ultrapura (Master System MS2000, GEHAKA, Brasil).

Os recipientes foram preenchidos completamente para prevenir as perdas de sulfeto por volatilização ou por oxidação, que seria causada por exposição ao ar (Fagnani *et al.*, 2011). Os frascos foram imediatamente refrigerados a, pelo menos, 4 °C para prevenir a ação biológica neste material até o momento das análises, que foram realizadas o mais rápido possível, dentro do prazo máximo de 2 semanas, conforme recomendado por Allen *et al.* (1991). Estes frascos receberam, além da identificação do ponto amostral, a letra “S”.

Para a determinação de mercúrio (Hg) as amostras foram acondicionadas em tubos tipo falcon de 50 mL (Sarstedt AG & Co, Germany), identificados com “Hg”, congeladas imediatamente e mantidas desta forma até a extração do Hg total e determinação instrumental.

Uma terceira alíquota da mesma amostra, utilizada para os demais ensaios, foi acondicionada em frascos plásticos de polietileno novos e mantidas sob refrigeração a pelo menos 4 °C, estes recipientes receberam a letra “M” como identificação adicional.



Figura 10: Draga Petersen utilizada na coleta dos sedimentos

3.1.2

Amostragem de testemunhos sedimentares

Foram coletados 9 testemunhos sedimentares em diferentes regiões da Baía de Sepetiba. Para a escolha dos pontos de amostragem foram definidos como critérios, a distância dos mesmos com relação aos principais rios e canais que desagüam na baía; e o sentido de circulação das águas na maré enchente, uma vez que o sedimento oriundo dos rios e canais é naturalmente conduzido para a parte leste da baía, conforme descrito por Fonseca (2011). A distribuição dos pontos de amostragem pode ser observada na Figura 11 e as coordenadas geográficas encontram-se na Tabela 4.

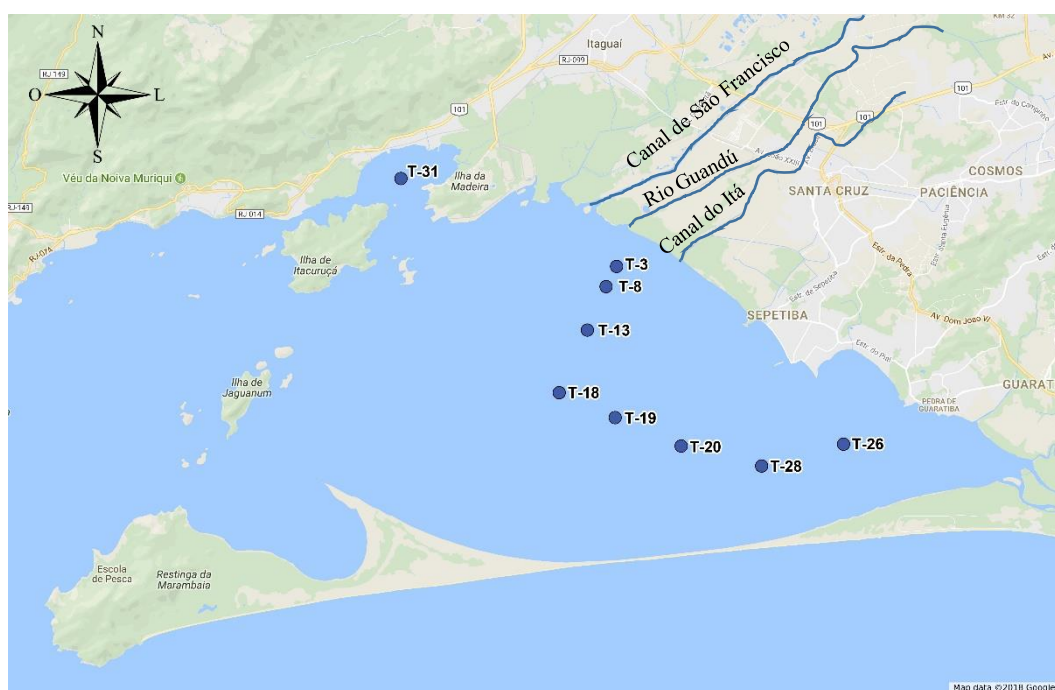


Figura 11: Distribuição dos pontos de amostragem de testemunhos sedimentares ao longo da Baía de Sepetiba.

Tabela 4: Coordenadas geográficas das estações de amostragem de testemunhos sedimentares

Estações de amostragem	Coordenadas Geográficas (GMS)		UTM-23S / Datum WGS 84	
	Latitude	Longitude	X	Y
T-3	22°56'55.5"S	43°46'22.2"O	625816	7461627
T-8	22°57'23.4"S	43°46'37.9"O	625363	7460773
T-13	22°58'23.4"S	43°47'05.8"O	624551	7458935
T-18	22°59'50.0"S	43°47'48.2"O	623323	7456283
T-19	23°00'24.3"S	43°46'24.2"O	625707	7455208
T-20	23°01'03.6"S	43°44'45.0"O	628519	7453976
T-26	23°01'01.1"S	43°40'41.3"O	635458	7453991
T-28	23°01'31.1"S	43°42'44.2"O	631950	7453100
T-31	22°54'53.9"S	43°51'46.0"O	616624	7465442

A amostragem foi realizada com o auxílio de um amostrador gravitacional de testemunhos (Figura 12) equipado com tubos de PVC de 120 cm e diâmetro de 6 cm, fornecido pela empresa austríaca Uwitec.

Os testemunhos amostrados foram subdivididos imediatamente após a coleta em camadas de 2 cm que foram pesadas e refrigeradas a pelo menos 4 °C para posterior tratamento laboratorial.



Figura 12: Amostrador gravitacional de testemunhos e acessório para subdivisão das camadas

3.2 Teor de Umidade no Sedimento

A determinação de umidade dos sedimentos é necessária para a normalização dos dados e comparação com normas vigentes para cada tipo de sedimento.

Os ensaios foram realizados logo após a coleta, de modo a minimizar ao máximo a perda por evaporação.

Para a determinação do teor de umidade nas amostras de sedimento superficial foram pesados cerca de 100 g de amostra em recipientes de vidro limpos, que foram levados a estufa por 48 h a aproximadamente 110 °C, e após este tempo de secagem as amostras foram resfriadas em dessecador e pesadas. O processo de secagem foi então repetido por mais 12 h e as amostras foram pesadas novamente, observando-se a massa constante, indicativo de que toda a água havia sido retirada

do sedimento. O teor de umidade foi determinado pela diferença entre as massas úmida e seca de cada amostra.

Para a determinação do teor de umidade nas camadas obtidas pelo fatiamento dos testemunhos seguiu-se o mesmo procedimento de secagem utilizado nos sedimentos superficiais, mas nesse caso a massa inicial úmida era correspondente a massa de toda camada.

3.3 Determinação de Metais

A metodologia utilizada para a determinação dos metais em sedimento total foi adaptada de USEPA 3050B (1996). Em um primeiro momento, foram pesados, em tubos novos, tipo falcon, de 50 mL (Sarstedt AG & Co, Germany), cerca de 0,2 g dos sedimentos previamente secos e pulverizados em moinho de almofariz de ágata, modelo RM-200 (Retsh GmbH, Germany); cada um destes foi pesado em triplicata de modo a garantir a reprodutibilidade do método. Em seguida, às amostras, foi acrescentado 10 mL de HNO₃ ultrapuro (Merck KGaA, Germany) e deixadas em repouso por 12 horas.

Posteriormente, procedeu-se ao aquecimento a 80 °C em bloco digestor modelo *DigiPrep* (SCP Science, Canadá), por 5 horas. Após a digestão ácida, foi adicionado 1 mL de H₂O₂ (Merck KGaA, Germany) e as amostras foram deixadas em repouso por 1 hora. Após esse período, as mesmas foram levadas a um banho de ultrassom Ultra Cleaner USC-3300 (Unique, Brasil), por 1 hora, e, então, aquecidas novamente a 80 °C, por igual tempo e, em seguida, deixadas em repouso por 12 horas. Após este período, as amostras foram centrifugadas por 3 minutos, a 3.000 rpm e o sobrenadante separado em um segundo tubo tipo falcon de 50 mL. Ao resíduo, foi acrescentado 10 mL de água ultrapura (Master System MS2000, Gehaka, Brasil), homogeneizada a mistura e levada novamente à centrifugação, nas mesmas condições. Ao término desta etapa o sobrenadante foi adicionado ao extrato previamente separado no tubo tipo falcon de 50 mL, e, finalmente, o extrato foi avolumado a 40 mL com água ultrapura para posterior quantificação dos metais por ICP-MS.

O preparo dos extratos e as determinações instrumentais foram acompanhadas, em paralelo, por soluções “branco” contendo todos os reagentes utilizados e também por material de referência certificado MESS-3 (*Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and other Constituents*) fornecido pelo Conselho Nacional de Pesquisa no Canadá (NRC) para garantir a qualidade dos resultados obtidos e verificação da metodologia utilizada.

Foram determinadas as concentrações de zinco, cádmio, cromo, chumbo, cobre e níquel por ICP-MS e, utilizou-se os isótopos ^{66}Zn , ^{111}Cd , ^{53}Cr , ^{206}Pb , ^{63}Cu e ^{60}Ni para as medições. Optou-se por trabalhar com o isótopo ^{53}Cr pois o isótopo mais abundante deste elemento ^{52}Cr sofre forte interferência da espécie biatômica $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}$ que se forma no plasma quando se tem carbono em solução. Esta interferência pode causar um incremento significativo no sinal de ^{52}Cr , resultando em concentrações equivocadamente elevadas deste elemento. Embora o isótopo ^{53}Cr possua abundância relativa de apenas 9,5%, as concentrações nas soluções de leitura eram suficientemente elevadas para possibilitar a quantificação de cromo.

Godoy *et al.* (2007) demonstrou que na determinação de ^{208}Pb , em soluções com concentrações de chumbo acima de $20 \mu\text{g L}^{-1}$, os resultados encontrados tendem a ser menores que os esperados devido ao efeito de tempo morto, por isso optou-se pelo ^{206}Pb para a quantificação deste elemento.

Na determinação da concentração dos metais, foram preparadas curvas de calibração em matriz que pudesse simular os reagentes utilizados, com treze pontos de concentrações variando entre 0,1 e $1000 \mu\text{g L}^{-1}$ dos respectivos analitos, além de um branco desta curva. Os extratos foram diluídos mais 100X para a determinação de Zn e 25X para a determinação de Pb, Cd, Cu, Cr e Ni, e Ródio foi utilizado como padrão interno, sendo adicionado em todos os pontos da curva de calibração e amostras na mesma concentração. A partir dos dados de preparo, teor de umidade e diluição adicional para leitura das amostras, calculou-se suas concentrações em mg kg^{-1} .

Todas as determinações foram realizadas em um ICP-MS 7500CX (Agilent Technologies, Japão), e os parâmetros pertinentes ao ensaio eram otimizados a cada dia de trabalho, precedendo o início das determinações.

3.4

Determinação de Mercúrio

Na determinação de Hg, foram pesados, em tubos tipo falcon de 50 mL (Sarstedt AG & Co, Germany), cerca de 1,0 g dos sedimentos úmidos, em duplicata, e adicionou-se 10 mL de solução sulfonítrica (0,1% m m⁻¹ de V₂O₅ em mistura de HNO₃ e H₂SO₄ 1:1) para dissolução parcial do material. Posteriormente, as amostras foram aquecidas a 90 °C, em bloco digestor modelo *DigiPrep* (SCP Science, Canadá), por 1 hora. Após resfriamento à temperatura ambiente, as amostras foram centrifugadas por 3 minutos, a 3000 rpm, e o sobrenadante separado em um segundo tubo tipo falcon de 50 mL. Ao resíduo, foi acrescentado 10 mL de água ultrapura (Master System MS2000, GEHAKA, Brasil), homogeneizada a mistura e levada novamente a centrifugação, nas mesmas condições. Ao término desta etapa o sobrenadante foi adicionado ao extrato previamente separado no tubo tipo falcon de 50 mL, e à solução resultante foi pipetado um excesso de solução de KMnO₄ (Vetec Ltda, Brasil) 5% m/v até a manutenção da sua forma oxidada indicada pela coloração violeta na solução final (Limaverde & Campos, 1999), que podem ser armazenadas por até 5 dias em freezer com temperatura abaixo de 0 °C (Campos, 1980).

Para garantir a qualidade dos resultados obtidos, todas as bateladas de preparo das amostras foram acompanhadas por uma triplicata de material de referência certificado MESS-3 (*Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and other Constituents*) e três brancos de preparo contendo todos os reagentes utilizados e seguindo o mesmo processo adotado para as amostras.

O procedimento para a determinação da concentração de Hg nas soluções foi adaptado de Campos (1980), e consiste, resumidamente, em adicionar no momento da determinação instrumental volume suficiente de uma solução de cloridrato de hidroxilamina (Vetec Ltda, Brasil) 10 % m/v apenas para a redução do excesso de KMnO₄, indicado pelo descoramento da solução; então as soluções foram avolumadas a 50 mL, homogeneizadas, e foram retiradas 3 alíquotas de 10 mL para o frasco de geração de vapor frio de mercúrio.

A redução do íon mercurioso (Hg₂²⁺) a mercúrio elementar (Hg⁰) foi realizada com a adição de 1,0 mL de solução de cloreto estanoso 20 % m/v. A vigorosa agitação da solução promoveu a liberação do vapor frio de mercúrio e a posterior

condução deste vapor para a célula de absorção com o auxílio de ar comprimido como gás de arraste, permitiu a determinação do metal

As determinações foram realizadas em um espectrômetro de absorção atômica modelo RA-915 equipado com gerador de vapor frio modelo RP-91 (LUMEX, Rússia). A análise das soluções de calibração e das amostras preparadas foi realizada em triplicata, determinando as suas concentrações em $\mu\text{g L}^{-1}$. A partir dos dados de preparo das amostras e teor de umidade nos sedimentos, calculou-se suas concentrações em $\mu\text{g kg}^{-1}$. O limite de detecção obtido foi $0,002 \mu\text{g kg}^{-1}$

3.5

Determinação de sulfetos ácidos voláteis / metais simultaneamente extraídos (AVS/SEM)

A extração ácida dos metais e volatilização dos sulfetos para a determinação do SEM e AVS, respectivamente, foi baseada na metodologia adotada pela US-EPA (Allen *et al.*, 1991). Neste procedimento os sulfetos presentes no sedimento são convertidos em sulfeto de hidrogênio (H_2S) pela acidificação da amostra com ácido clorídrico (HCl) e adsorvidos em solução de hidróxido de sódio (NaOH) para posterior quantificação. Paralelamente, são feitas quantificações gravimétricas do teor de umidade de cada amostra de modo a permitir a apresentação dos resultados em base seca.

O aparato para a geração e adsorção dos sulfetos voláteis está apresentado na Figura 13. Para a conversão dos sulfetos em H_2S utilizou-se uma solução 1 mol L^{-1} HCl (Merck KGaA, Germany), nitrogênio 3.0 (Linde Gases, Brasil) foi utilizado como gás de arraste e a adsorção do sulfeto gerado ocorreu em uma solução $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de NaOH (Merck KGaA, Germany). Todas as soluções utilizadas foram preparadas com água ultrapura (Master System MS2000, GEHAKA, Brasil) e foram desaeradas por pelo menos 20 minutos com o borbulhamento de nitrogênio numa vazão de 100 mL min^{-1} .

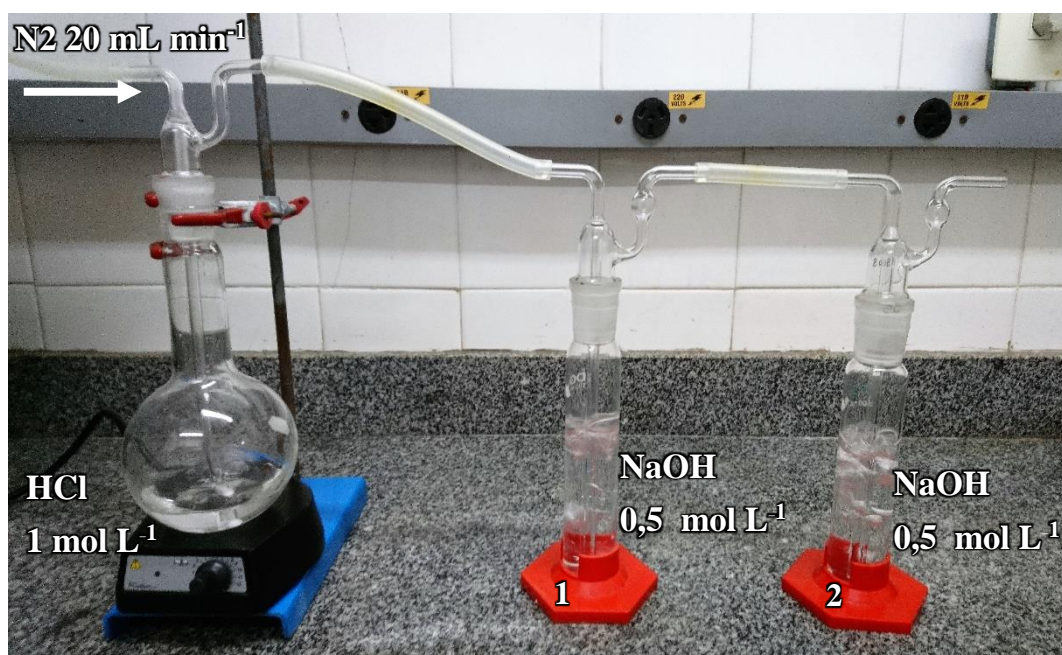


Figura 13: Aparato utilizado para a geração/adsorção do H_2S

Foram utilizados cerca de 5 g de amostra úmida para a geração de H_2S . A cada amostra foram adicionados 100 mL de água ultrapura e 20 mL de HCl 6 mol L^{-1} para a obtenção de uma solução final de 1 mol L^{-1} HCl. A solução resultante foi borbulhada com nitrogênio (20 mL min^{-1}) por uma hora e um agitador magnético foi utilizado para evitar a deposição do sedimento no fundo do frasco e contribuir para a homogeneização do sistema.

A solução de HCl com o sedimento foi filtrada em filtro com porosidade de $45 \mu\text{m}$ (Macherey-Nagel GmbH, Germany) e armazenada em tubos tipo falcon de 50 mL (Sarstedt AG & Co, Germany) sob refrigeração a 4°C para posterior determinação dos metais simultaneamente extraídos (SEM) por ICP-MS.

A quantificação do sulfeto retido na solução absorvedora foi realizada por espectrofotometria molecular na faixa do visível, no espectrofotômetro Spectroquant® Nova 60 (Merck KGaA, Germany). Este equipamento opera com kits fornecidos pela própria empresa, possui calibração interna e o procedimento para a determinação colorimétrica é análogo a USEPA 376.2 (1978) e APHA 4500- S^{2-} . Este método está baseado no princípio de que, em soluções aquosas contendo sulfetos, existe um equilíbrio dependente do pH entre sulfeto de hidrogênio (H_2S) dissolvido, íons hidrogenossulfeto (HS^-) e íons sulfeto (S^{2-}). Em pH ácido praticamente só existe o sulfeto de hidrogênio e este pode reagir com dimetil-p-

fenilenodiamina na presença de íons Fe^{3+} para produzir azul de metileno, que pode ser quantificado no comprimento de onda máximo 625 nm.

Para a determinação da concentração dos metais simultaneamente extraídos por ICP-MS, foi preparada a curva de calibração em matriz que pudesse simular os reagentes utilizados, com treze pontos de concentrações variando entre 0,1 a 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$ dos respectivos analitos, além de um branco desta curva. As soluções armazenadas foram diluídas adequadamente para a determinação de Zn, Pb, Cd, Cu e Ni, e Rh foi utilizado como padrão interno, sendo adicionado em todos os pontos da curva de calibração e amostras na mesma concentração. A partir dos dados de preparo e diluições adicionais para leitura das amostras, calculou-se suas concentrações em mg kg^{-1} .

Para garantir a qualidade dos resultados obtidos dos metais simultaneamente extraídos, todas as bateladas das amostras foram acompanhadas por uma triplicata de material de referência certificado MESS-3 (*Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and other Constituents*) e três brancos de preparo contendo todos os reagentes utilizados e seguindo o mesmo processo adotado para as amostras.

Todas as determinações foram realizadas em um ICP-MS 7500CX (Agilent Technologies, Japão), e os parâmetros pertinentes ao ensaio eram otimizados a cada dia de trabalho, precedendo o início das determinações. Os limites de detecção obtidos na determinação do SEM podem ser observados na Tabela 5, abaixo.

Tabela 5: Limites de detecção obtidos para SEM

Elemento	LOD (mg kg^{-1})
Cd	0,2
Cu	0,1
Ni	0,6
Pb	1,0
Zn	0,2

3.6

Datação das camadas sedimentares por ^{210}Pb

Para a determinação radioquímica de ^{210}Pb seguiu-se o método proposto por Godoy *et al.* (1998), no qual, inicialmente, é necessário realizar o ataque ácido das frações dos testemunhos. Para tanto, adicionou-se 40 mL de solução 0,5 mol L⁻¹ de HBr (Vetec Ltda, Brasil) a aproximadamente 3 g de cada uma das amostras secas. Essa mistura foi levada a aquecimento a 80°C por 3 horas, e ao fim, centrifugada a 3000 RPM por 2 minutos. O sobrenadante obtido após centrifugação foi reservado em um bécher e ao sólido repetiu-se o processo de lixiviação com HBr, adicionando-se à mistura 1 g de cloridrato de hidroxilamina (Vetec Ltda, Brasil). A solução obtida na segunda lixiviação foi então transferida para o bécher contendo a fração anteriormente reservada.

A lixiviação com HBr permite a formação de bromo-complexos aniônicos solúveis com o Pb em sua forma iônica $[\text{PbBr}_3]^-$, o que faz com que o íon Pb^{2+} seja retido em resina aniônica, separando-o de alguns interferentes, principalmente, ^{137}Cs , U, Th, ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Po , além de Al e Fe que são macro constituintes em amostras de sedimentos. Já o cloridrato de hidroxilamina é adicionado à solução para reduzir o Fe^{+3} a Fe^{+2} e minimizar a adsorção de ferro na coluna.

Mediu-se o volume recuperado nas duas etapas de lixiviação e adicionou-se ao extrato obtido 20 mg de uma solução padrão de Pb que é utilizado na quantificação do rendimento químico final.

Passou-se, então, à separação do Pb por meio de uma coluna contendo aproximadamente 5mL de resina Dowex 1X8, aniônica e fortemente alcalina. Essa coluna foi, primeiramente, condicionada com 50 mL da solução 0,5 mol L⁻¹ de HBr, em seguida, a alimentação é realizada a uma vazão de 1 mL min⁻¹ de forma a reter o complexo $[\text{PbBr}_3]^-$, após, a coluna foi lavada por duas vezes com 25mL de 0,5 mol L⁻¹ de HBr e 1 g de cloridrato de hidroxilamina, e, por fim, o Pb foi recuperado em solução com 100 mL de HNO_3 1 mol L⁻¹ em um bécher. A coluna foi regenerada com 20 mL de água deionizada e reservada para um novo extrato.

Evaporou-se a solução até quase a secura e adicionou-se 100 mL de água deionizada. O pH dessa solução foi ajustado com Acetato de Amônio (Vetec Ltda, Brasil), de modo a obter um valor entre 5 e 6, condição necessária para a formação do precipitado. Passada essa etapa, pipetou-se 2 mL de K_2CrO_4 a 5 % m/v (Vetec

Ltda, Brasil) à solução promovendo a precipitação do PbCrO_4 , a data e hora da precipitação foram anotadas para posteriormente serem utilizadas nos cálculos. A solução foi aquecida novamente com o objetivo de se obter um precipitado de separação mais fácil para a filtração.

Pesou-se um papel de filtro (faixa branca com 2,5 cm de diâmetro) e filtrou-se o precipitado utilizando um sistema de filtração tipo Milipore apropriado. O precipitado foi lavado com Etanol 80% v/v (Vetec Ltda, Brasil), e posteriormente seco em estufa até obtenção de peso constante, para, por fim, ser embalado, identificado e armazenado adequadamente até o dia da determinação da atividade.

Após 10 dias, determina-se a atividade beta em contador proporcional de baixa contagem de fundo, modelo LB-770 (Berthold Technologies GmbH & Co). Esta contagem refere-se à radiação do ^{210}Bi ($t_{1/2} = 5$ dias) que é de 1,17 MeV e, que corresponde a uma medida indireta do ^{210}Pb , possibilitando a datação das frações dos testemunhos.

A atividade do ^{210}Pb em cada fatia é calculada pela equação:

$$A_{\text{Pb}}^{210} = \frac{C_{\text{am}} - C_{\text{b}}}{RQ \cdot m \cdot E_{\beta} \cdot (1 - e^{-\lambda(\text{Bi}^{210}) \cdot t})} \quad (\text{Bq kg}^{-1})$$

Onde:

A_{Pb}^{210} = Atividade radiométrica do ^{210}Pb (Bq kg^{-1});

C_{am} = Contagem da amostra (Bq);

C_{b} = Contagem do *background* (Bq);

RQ = Rendimento químico, obtido a partir de análises químicas de Pb;

m = Massa da amostra (kg)

E_{β} = Eficiência final de contagem beta do ^{210}Bi ;

$\lambda (^{210}\text{Bi})$ = Constante de desintegração do $^{210}\text{Bi} = 0,1383 \text{ d}^{-1}$;

t = Tempo, em dias, transcorrido entre a precipitação do PbCrO_4 e a contagem.

3.7

Determinação granulométrica

A granulometria foi realizada em colaboração com Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, empregando-se o analisador de partículas *Cilas 1190 Particle Size Analyzer* (Figura 14). Este equipamento é configurado com três lasers e detector do tipo dispositivo de carga acoplada (CCD) que, combinados, permitem de uma só vez a medida de partículas com tamanhos que variam entre 0,04 e 2500 μm . As partículas mais finas são medidas pelo padrão de difração usando a teoria de Fraunhofer e as maiores são obtidas usando transformada de Fourier em tempo real da imagem obtida pelo CCD.



Figura 14: Cilas Particle Size Analyzer 1190

As amostras secas foram previamente peneiradas (2 mm), de modo a retirar a fração de cascalho, e em seguida foram analisadas no equipamento seguindo a metodologia descrita pelo fabricante para este tipo de material.

3.8

Determinação elementar e isotópica de carbono e nitrogênio

Os ensaios foram realizados em parceria com o Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), empregando-se um analisador elementar hifenado a um espectrômetro de massa.

Preparo das amostras para determinação de carbono e nitrogênio totais (C_T e N_T):

Aproximadamente 8 mg do sedimento previamente seco e homogeneizado foram pesados em cápsulas de estanho para determinação de C_T e N_T , além da composição isotópica de nitrogênio.

Preparo das amostras para determinação de carbono orgânico (C_O):

Aproximadamente 8 mg do mesmo material foram acondicionados em cápsulas de prata e foram adicionados lentamente três porções de 25 μ L de HCl 2,0 mol L^{-1} , até o fim da reação de eliminação do carbono inorgânico, caracterizada pelo término da evolução de gases da mistura. Após, as cápsulas foram secas em estufa a 110 °C (temperatura de ebulição) por 24 horas e as mesmas foram utilizadas na determinação da quantidade de C_O e sua composição isotópica.

Determinação instrumental:

As amostras contidas nas cápsulas foram queimadas em um Analisador Elementar com fluxo contínuo (Flash 2000 Organic Elemental Analyzer), que determinou as concentrações elementares de carbono e nitrogênio; acoplado a um espectrômetro de massa (IRMS Delta V Advantage Thermo Scientific, Alemanha), no qual foi determinada a composição isotópica de carbono e nitrogênio.

Pee Dee Belemnite (PDB) e nitrogênio atmosférico foram utilizados como padrões para as análises de carbono e nitrogênio, respectivamente. A incerteza foi de $\pm 0,1$ ‰ para $\delta^{13}C$ e $\pm 0,2$ ‰ para $\delta^{15}N$ e a exatidão para as composições isotópicas e elementares foi comprovada pelas determinações destes parâmetros em material de referência certificado (Protein OAS/Isotope Cert. 114859; Elemental Microanalises).

4 Resultados e Discussão

4.1 Sedimentos Superficiais

4.1.1 Determinação de Umidade

Os valores de umidade variaram de 15 a 81 %, com um valor mediano de 62 %. Essa variação já era esperada uma vez que algumas estações estão localizadas em áreas onde o sedimento era muito arenoso, com baixa umidade, e outras onde os sedimentos eram mais finos, com alta predominância de silte e argila, e alta umidade. Os resultados encontram-se no Anexo A, Tabela 11.

Pode-se observar na Figura 15 que os pontos onde o teor de umidade está mais baixo localizam-se na parte externa da baía, enquanto que os pontos na parte interna da baía apresentaram valores acima de 40 % de umidade, com exceção para os pontos SP-125 e SP-130, pois estes estão localizados próximo ao canal central de entrada e escoamento de água da Baía de Sepetiba, onde a profundidade e as velocidades das correntes são mais elevadas, como consequência disso há um grande arraste de material mais fino e o teor de umidade do sedimento é menor.

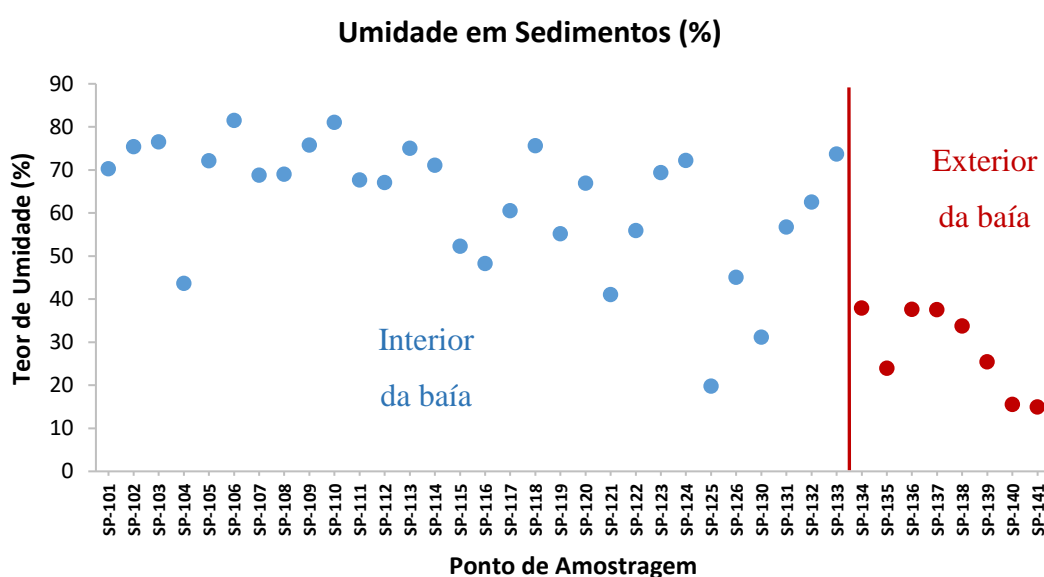


Figura 15: Teores de umidade nos pontos de amostragem de sedimento superficial

4.1.2 Análise Granulométrica

Os resultados da determinação granulométrica do sedimento superficial da baía de Sepetiba encontram-se no Anexo B, Tabela 13 a 50.

Os resultados foram organizados em 3 grupos, de acordo com o tamanho do grão: argila ($\emptyset \leq 0,02$ mm), silte ($0,02 < \emptyset \leq 0,06$ mm) e areia + cascalho ($\emptyset \geq 0,06$ mm). A relação percentual destas faixas pode ser observada na Figura 16.

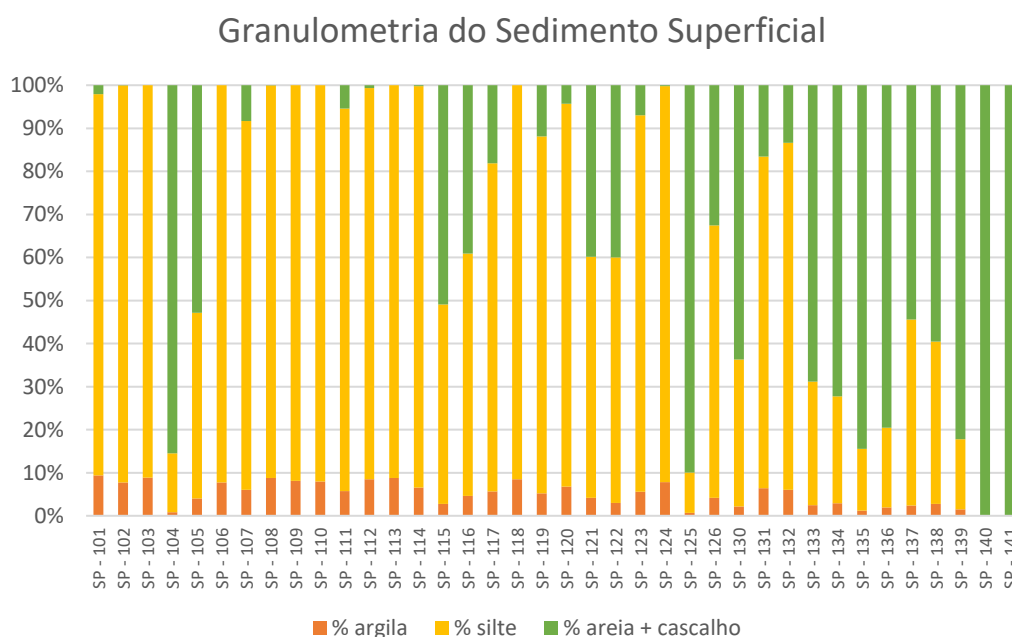


Figura 16: Características granulométricas % de Argila, Silte e Areia na Baía de Sepetiba

As regiões com menores frações de material mais fino estão localizadas na parte externa da baía, que compreendem os pontos SP-133 a SP-141; os pontos SP-125 e SP-130 estão localizados próximo ao canal de navegação, na região central de entrada de água na baía, consequentemente onde se encontram correntes marinhas com maiores velocidades; e os pontos SP-104 e SP-115 estão localizados em áreas rasas, com pouca influência das correntes.

Considerando que os metais estão preferencialmente ligados às frações mais finas de sedimentos, argila e silte, pode-se somar as respectivas frações destes grupos granulométricos e, desta forma, com o auxílio do *software* Ocean Data View, versão 4.7.8, construir uma superfície de resposta (Figura 17) com a composição percentual deste grupo combinado, com $\emptyset \leq 0,06$ mm.

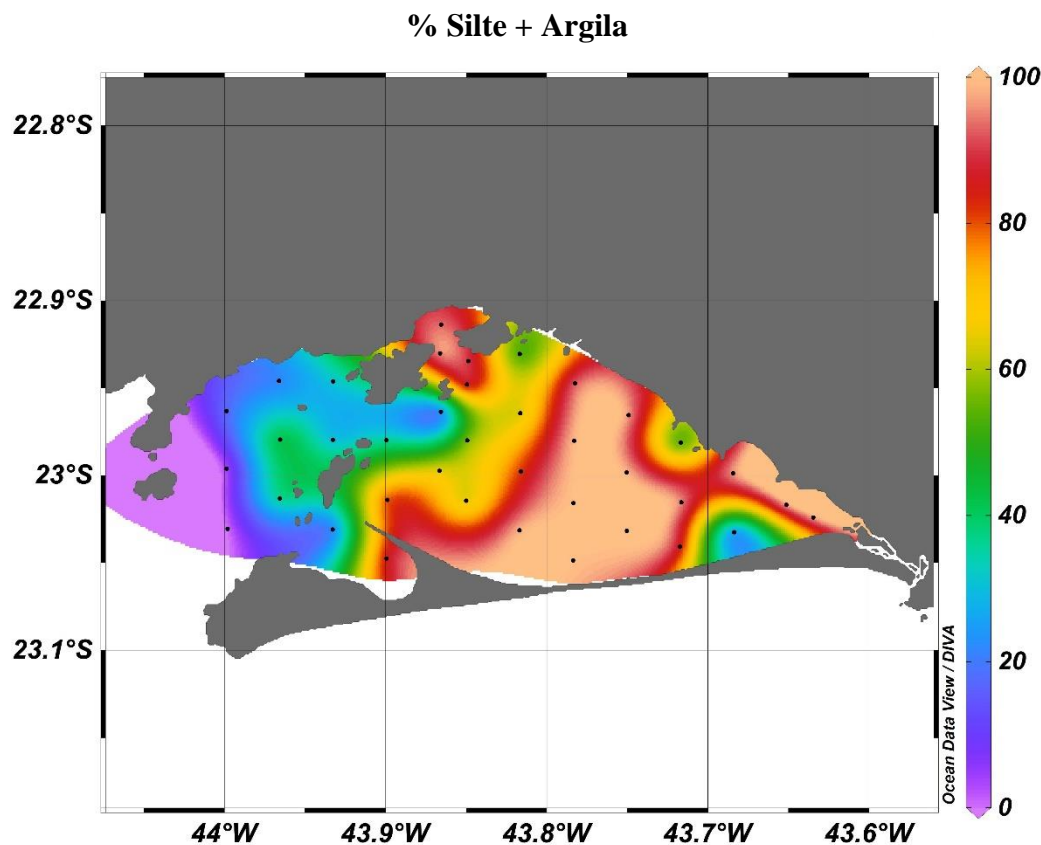


Figura 17: Superfície de resposta para a composição granulométrica % de silte+argila

Fica evidenciado na superfície apresentada na Figura 17, que a região central da baía e uma parte da porção leste, próxima à região de Pedra de Guaratiba, apresentam praticamente 100 % de sedimento superficial fino, enquanto a parte externa da baía e a entrada do canal de navegação possui, em média, menos de 20% de material com granulometria abaixo de 0,06 mm.

4.1.3

Determinação de carbono orgânico, carbono e nitrogênio totais e suas composições isotópicas

Todos os resultados obtidos nas respectivas determinações estão tabelados no Anexo C, Tabela 51.

A partir da análise da superfície de resposta obtida para o carbono orgânico na Figura 18, observa-se a presença de dois pontos principais com elevadas concentrações de carbono orgânico, o primeiro localiza-se entre o continente e a Ilha de Itacuruçá, região com alta densidade de casas de veraneio, o que pode

influenciar diretamente nos dados encontrados; o segundo ponto com concentração de carbono orgânico também elevada é a praia de Sepetiba, reconhecida por ser imprópria para banho por causa do despejo direto de esgoto não tratado da comunidade de Sepetiba.

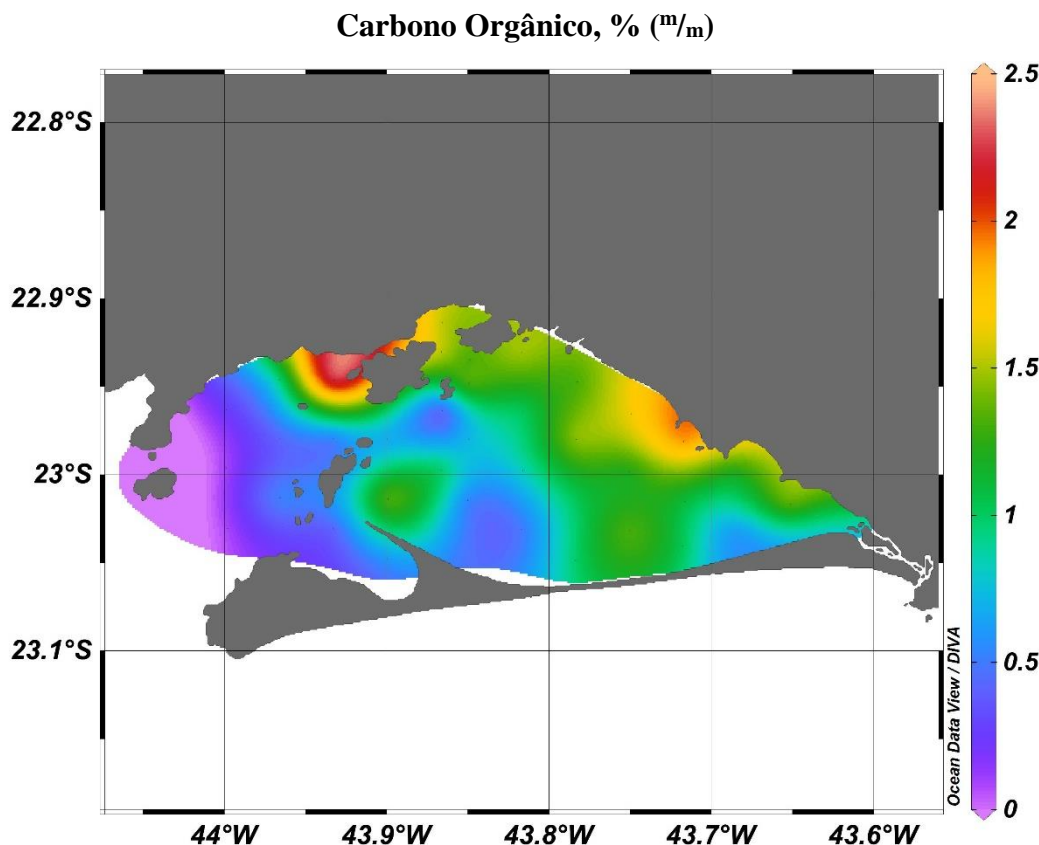


Figura 18: Teor de carbono orgânico (%) em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba

Esta região também foi estudada por Rezende *et al.* (2010) que apresentaram resultados de matéria orgânica semelhantes aos encontrados neste trabalho. De acordo com esse mesmo autor, os constituintes da matéria orgânica eram basicamente folhas e plâncton, com aproximadamente 50% de cada um. Como há uma diferença maior na razão C/N do que no valor δ (^{13}C) para os marcadores de folhas e plâncton, a contribuição deles para o carbono orgânico na Baía de Sepetiba foi calculada utilizando a razão C/N e a contribuição planctônica variou entre 75% e 100%, observando-se uma menor contribuição ao longo da linha costeira entre os pontos 123 e 103, onde estão presentes manguezais e foz dos rios afluentes.

O teor percentual de matéria orgânica foi calculado segundo a equação apresentada abaixo e os resultados podem ser observados na Tabela 51, Anexo C.

$$\%MO_{\text{terrestre}} = \frac{(C/N)_{\text{folhas}} - (C/N)_{\text{amostra}}}{(C/N)_{\text{folhas}} - (C/N)_{\text{plancton}}} \times 100 = \frac{28,1 - (C/N)_{\text{amostra}}}{20,4} \times 100$$

As Figura 19 a-d apresentam a variação de carbono orgânico total (COT), $\delta^{13}\text{C}$, razão C/N, e $\delta^{15}\text{N}$ em função do ponto de amostragem, destacando as regiões interna, em preto, e externa, em vermelho, da Baía de Sepetiba.

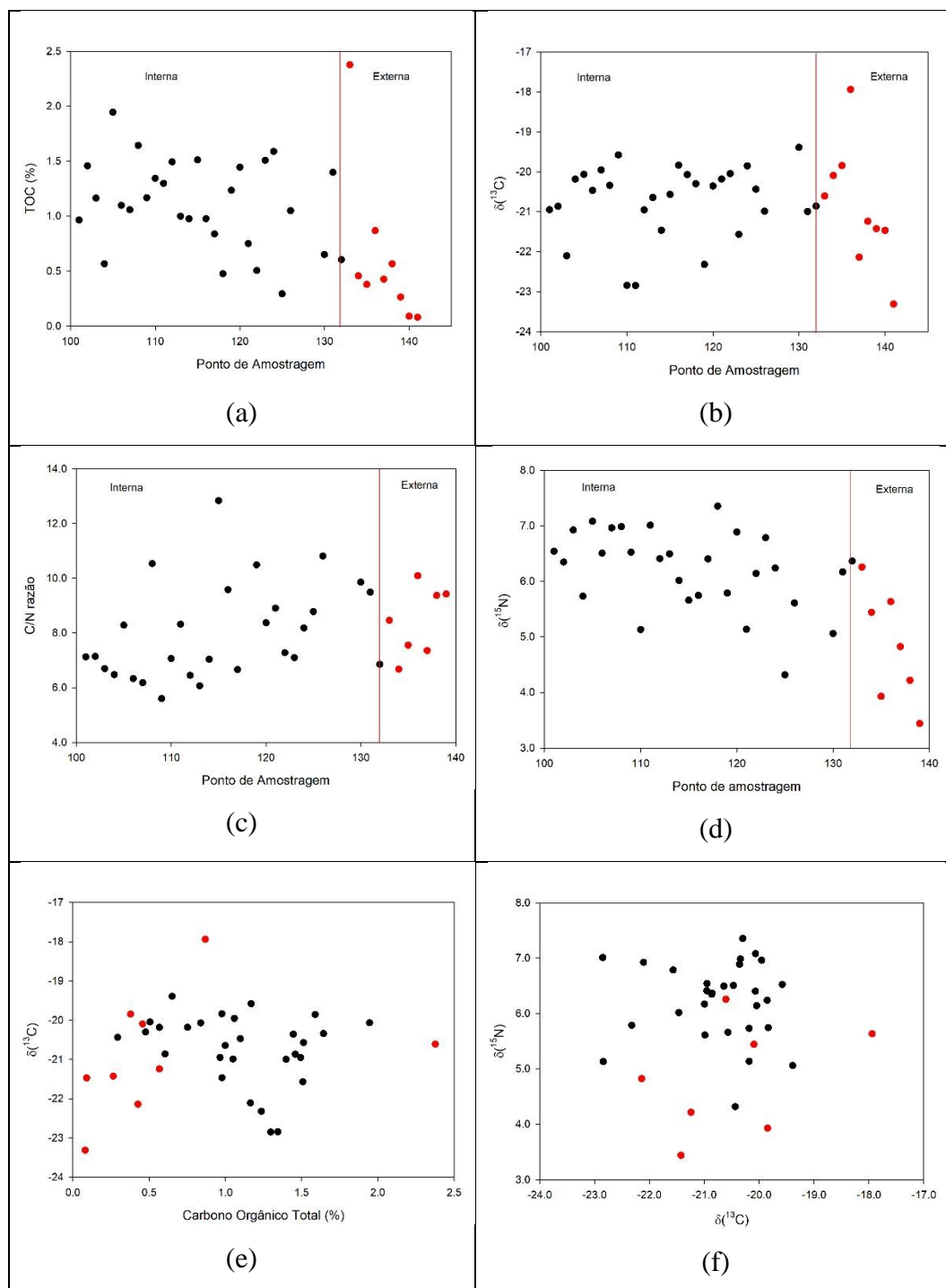


Figura 19: COT, $\delta^{13}\text{C}$, razão C/N, e $\delta^{15}\text{N}$ em função do ponto de amostragem.

A Figura 19a espelha o já observado na Figura 18, na Figura 19b chama a atenção o $\delta^{13}\text{C}$ relacionado ao ponto 136, o qual mostra uma certa influência de planta C3.

Na Figura 19c é possível observar que o ponto 115 apresentou a maior razão C/N entre os pontos da região interna da baía, este valor pode estar diretamente relacionado com a foz do canal de São Francisco e com o rio Guandú.

Assim como relatado por Xu *et al.* (2017), a tendência observada para $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 19) é inversa a esperada, com matéria orgânica de origem terrestre com um menor $\delta^{15}\text{N}$ e o componente marinho com um maior $\delta^{15}\text{N}$, sendo essa tendência inversa fruto de uma transformação da matéria orgânica.

As Figura 19e-f mostram a relação do $\delta^{13}\text{C}$ com o COT e com o $\delta^{15}\text{N}$, não sendo possível observar qualquer tendência entre eles.

4.1.4

Sulfetos ácidos voláteis / metais simultaneamente extraídos (AVS/SEM)

Foram detectados sulfetos volatilizáveis por acidificação (AVS) em 36 das 38 estações de trabalho e as concentrações variaram de 0,01 a 30,4 $\mu\text{mol g}^{-1}$ com os valores mais altos localizados ao longo da linha costeira entre os pontos SP-115 e SP-102 (Figura 20), e os menores valores localizados na parte externa da baía e em estações próximas ao canal de navegação onde há a predominância de sedimentos mais arenosos e com menores teores de matéria orgânica.

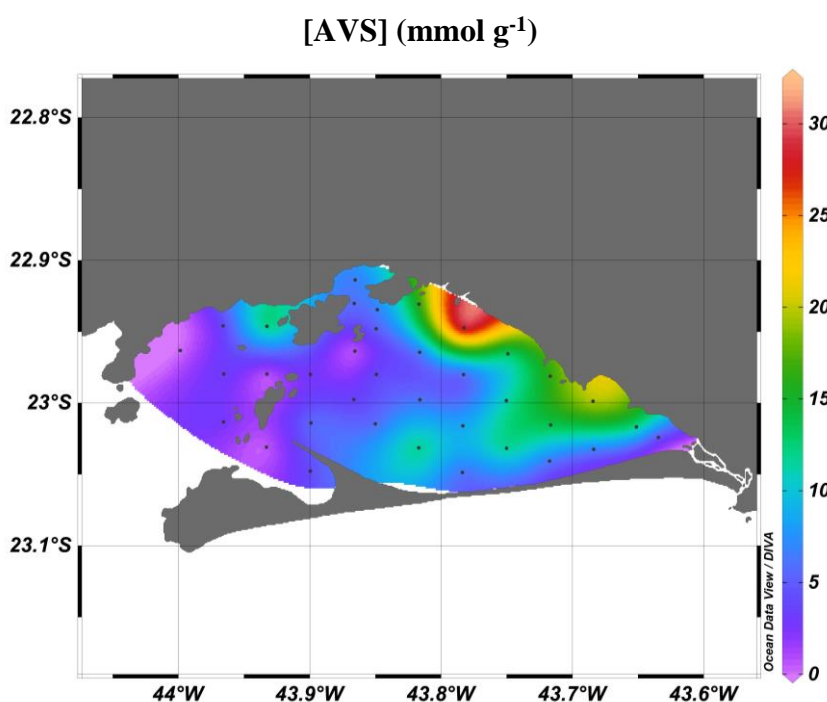


Figura 20: Superfície de resposta obtida para concentração molar de sulfetos volatilizáveis por acidificação.

O somatório molar das concentrações dos metais simultaneamente extraídos (SEM) variou entre 0,02 e 4,67 $\mu\text{mol g}^{-1}$, com valores mais elevados entre os pontos SP-115 e SP-105, localizados ao longo da linha costeira (Figura 21).

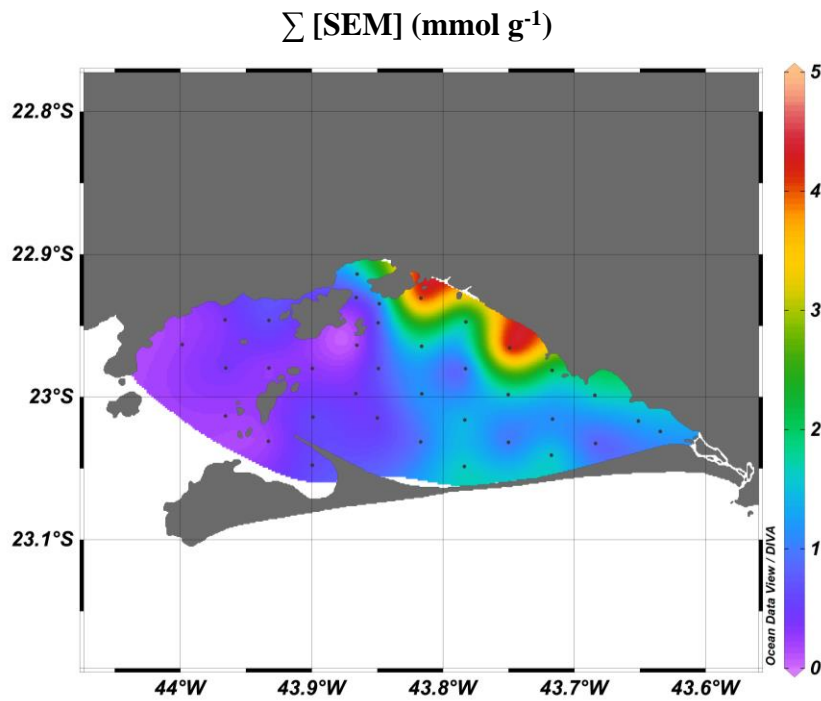


Figura 21: Superfície de resposta obtida para o somatório das concentrações molares de SEM

O cálculo da razão $\Sigma[\text{SEM}]/[\text{AVS}]$ foi precedido por uma avaliação criteriosa dos dados obtidos. Para Fagnani *et al.* (2011), expressar a relação entre SEM e AVS é desvantajosa quando se tem valores extremamente baixos de AVS comparados com valores mais altos de SEM, neste caso a razão $\Sigma[\text{SEM}]/[\text{AVS}]$ resulta em um número extremamente alto e nada se pode afirmar sobre a quantidade de metais que estaria biodisponível. Desta forma foram excluídos da avaliação os pontos 125, 134, 135 e 139, que apresentaram concentrações de AVS menores que 0,21 $\mu\text{mol g}^{-1}$ e concentrações de SEM abaixo de 0,24 $\mu\text{mol g}^{-1}$.

Com os demais dados, foi possível a construção da superfície de resposta da razão $\Sigma[\text{SEM}]/[\text{AVS}]$ (Figura 22). Observa-se claramente que todas as estações de amostragem apresentaram razões menores do que 1, sugerindo uma não toxicidade destes sedimentos, uma vez que os metais chumbo, cádmio, cobre, níquel e zinco estariam imobilizados na forma de sulfetos insolúveis e, conseqüentemente, não biodisponíveis para a população bentônica local (Di Toro *et al.*, 1991)

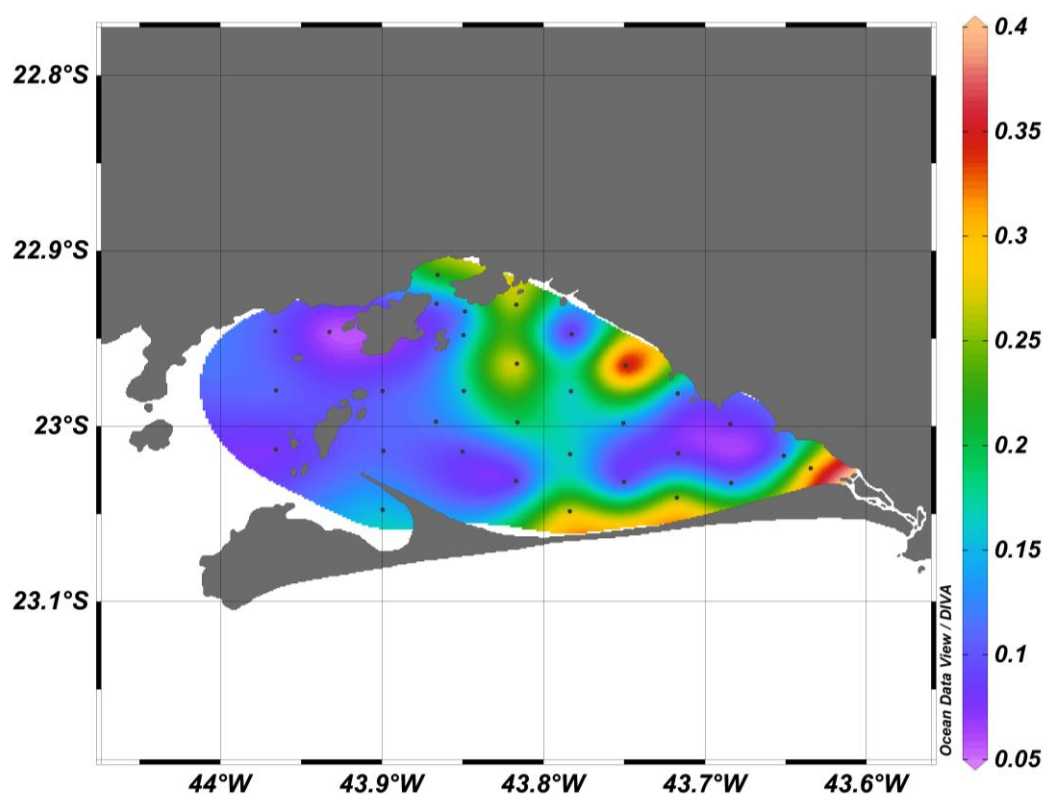


Figura 22: Superfície de resposta obtida para relação $\Sigma SEM/AVS$ na baía de Sepetiba.

A tabela completa, contendo os resultados individuais de AVS e SEM, assim como a razão $\Sigma SEM/AVS$ calculada para cada estação de amostragem está disponível no Anexo D.

4.1.5 Determinação de Metais Totais

As extrações dos metais foram realizadas em triplicata e as determinações instrumentais foram efetuadas com 5 leituras por elemento, conforme metodologia descrita em 3.3. A determinação de mercúrio foi realizada por CVAAS em triplicata, conforme descrito em 3.4.

Os limites de detecção obtidos para os metais determinados nas amostras estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Limites de detecção obtidos

Elemento	LOD (mg kg ⁻¹)
Cd	0,2
Cr	1,0
Cu	0,2
Ni	0,5
Pb	1,0
Zn	0,5

As concentrações encontradas no material de referência certificado (n=3), assim como os valores de recuperação calculados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Concentrações de metais encontradas no MRC MESS-3 e cálculo de recuperação.

Metais	medido (mg kg ⁻¹)	certificado (mg kg ⁻¹)	Recuperação (%)
Zn	162 ± 1,9	159 ± 8	101,9%
Pb	19,8 ± 0,5	21,1 ± 0,7	93,8%
Cu	32,5 ± 0,4	33,9 ± 1,6	95,9%
Cd	0,23 ± 0,01	0,24 ± 0,01	95,8%
Cr	58,1 ± 0,5	105 ± 4	55,3%
Ni	46,6 ± 0,97	46,9 ± 2,2	99,4%
Hg	0,083 ± 0,006	0,091 ± 0,009	91,2%

Excetuando-se o Cromo, todos os demais elementos determinados no material de referência certificado apresentaram boa recuperação. Este comportamento do cromo já era esperado, pois, quando não há uma decomposição completa do material por meio de ácido fluorídrico (HF), não é possível uma extração completa deste elemento para a solução (Oliveira, 2009). Assumindo que o método de extração adotado neste trabalho não foi suficiente para lixiviar todo Cromo nos sedimentos, optou-se por trabalhar com um fator de correção baseado na concentração esperada e na concentração encontrada no material de referência certificado, conforme especificado a seguir:

$$fator = \frac{\text{Concentração Esperada (MRC)}}{\text{Concentração Encontrada}}$$

O fator de correção calculado, utilizado para corrigir todos os resultados obtidos de Cromo, foi 1,81.

A Tabela 8 apresenta os valores médio, máximo e mínimo das concentrações encontradas nos sedimentos analisados e os valores-guia indicados pelo CONAMA 454 (2012).

Tabela 8: Concentrações médias de metais no sedimento superficial e valores-guia CONAMA 454/12

Metais (mg kg ⁻¹)	Este Trabalho			CONAMA 454 (2012)	
	Média	Max.	Mín.	Nível 1	Nível 2
Zn	295	1116	29,7	150	410
Pb	13,9	25,7	2,2	46,7	218
Cu	8,4	24,6	0,3	34,0	270
Cd	1,6	4,6	0,4	1,2	7,2
Cr	79,7	145	1,5	81	370
Ni	9,9	15,5	0,8	20,9	51,6
Hg	0,057	0,291	< 0,002	0,3	1,0

Pode-se observar na Tabela 8 que os níveis encontrados para Chumbo, Cobre, Níquel e Mercúrio estão abaixo do Nível 1 recomendado pelo CONAMA 454 (2012), ou seja, valores abaixo do ERL (*Effect Range-Low*) e, portanto, probabilidade de se encontrar efeitos adversos à biota é baixo. No caso do Cádmio e Cromo, foram encontrados alguns pontos com concentrações entre os Níveis 1 e 2, onde a probabilidade de efeitos adversos é considerada média, estando estes valores dentro da ERM (*Effect Range-Median*). Já para o Zinco, a maioria dos pontos de amostragem apresentaram concentrações acima do nível 1, e, na parte interior da baía, principalmente na faixa costeira, foram encontradas concentrações acima do nível 2, sendo que alguns dos pontos estão com quase o triplo da concentração indicada, sugerindo uma alta probabilidade de efeitos adversos à vida marinha.

É importante ressaltar que, embora alguns valores de concentração de Cádmio estejam entre os níveis 1 e 2, o Artigo 12 do CONAMA 454 (2012) enfatiza que deverão ser realizados ensaios de ecotoxicidade do sedimento caso este venha a ser manipulado, numa situação de dragagem, por exemplo.

O tratamento dos dados com o *software* Ocean Data View, versão 4.7.8, permitiu a construção de superfícies de resposta para cada um dos metais avaliados neste trabalho, que podem ser observadas nas Figura 23 a 29.

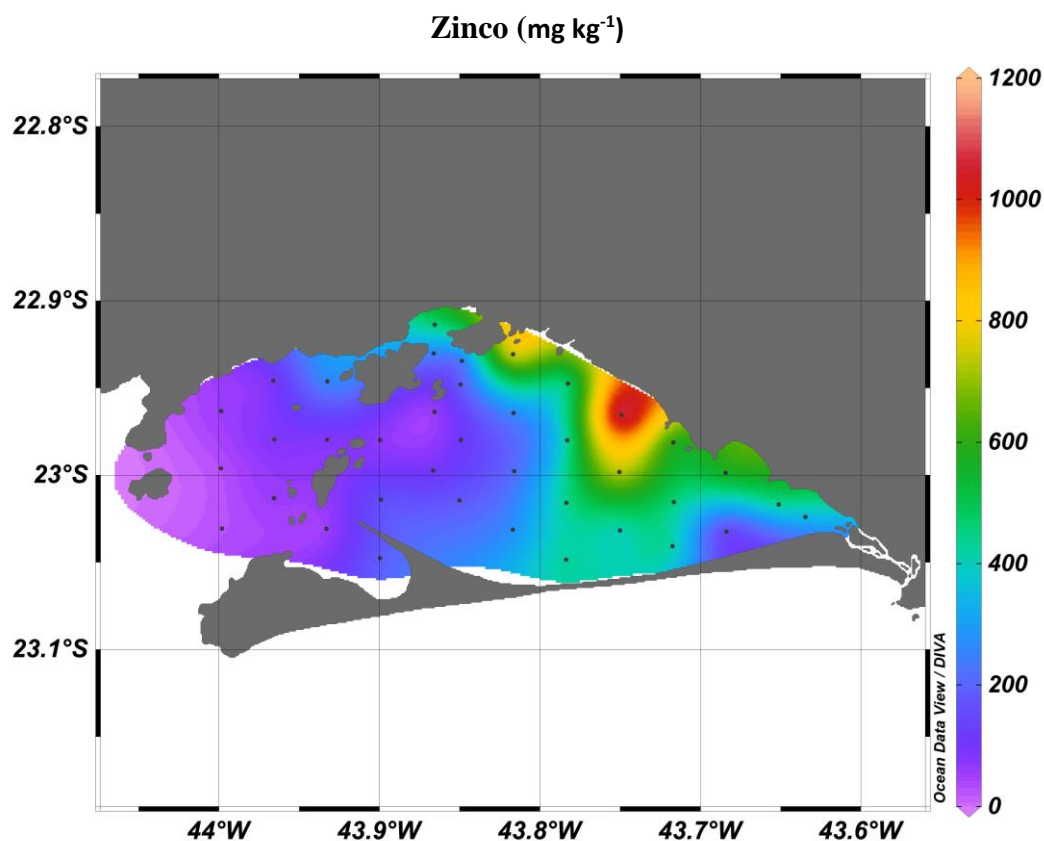


Figura 23: Superfície de resposta para concentrações de Zn na baía de Sepetiba

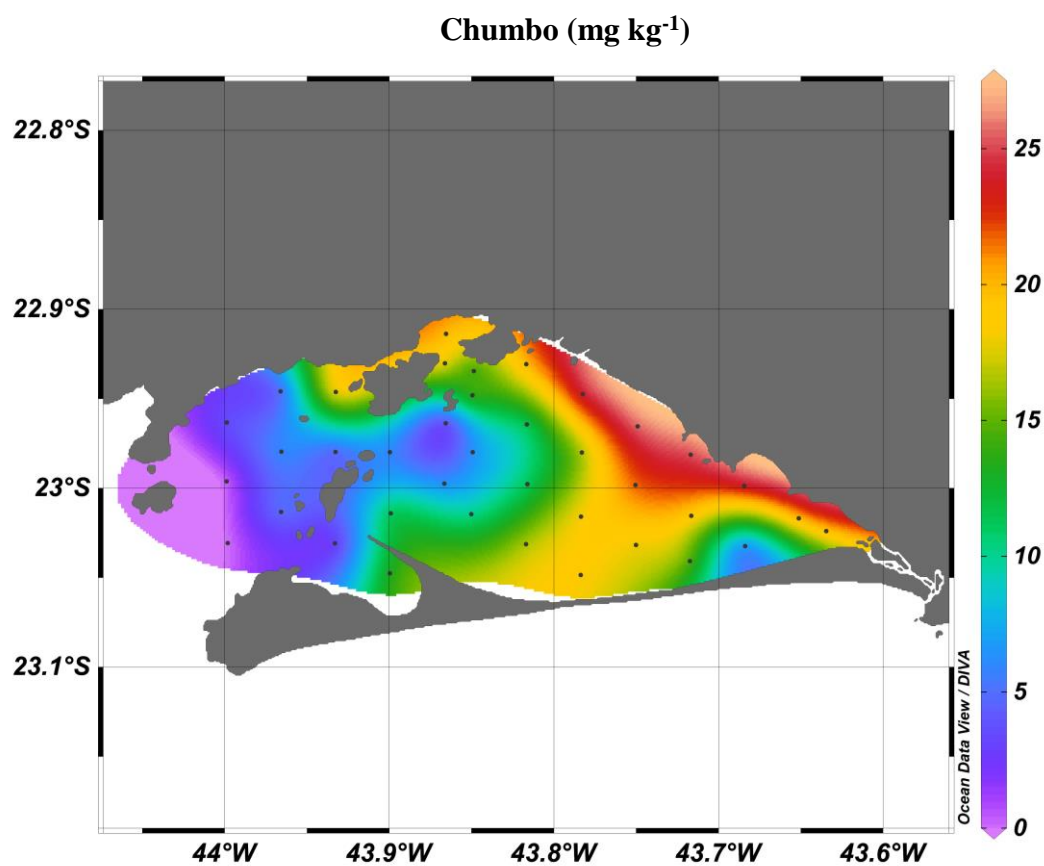


Figura 24: Superfície de resposta para concentrações de Pb na baía de Sepetiba

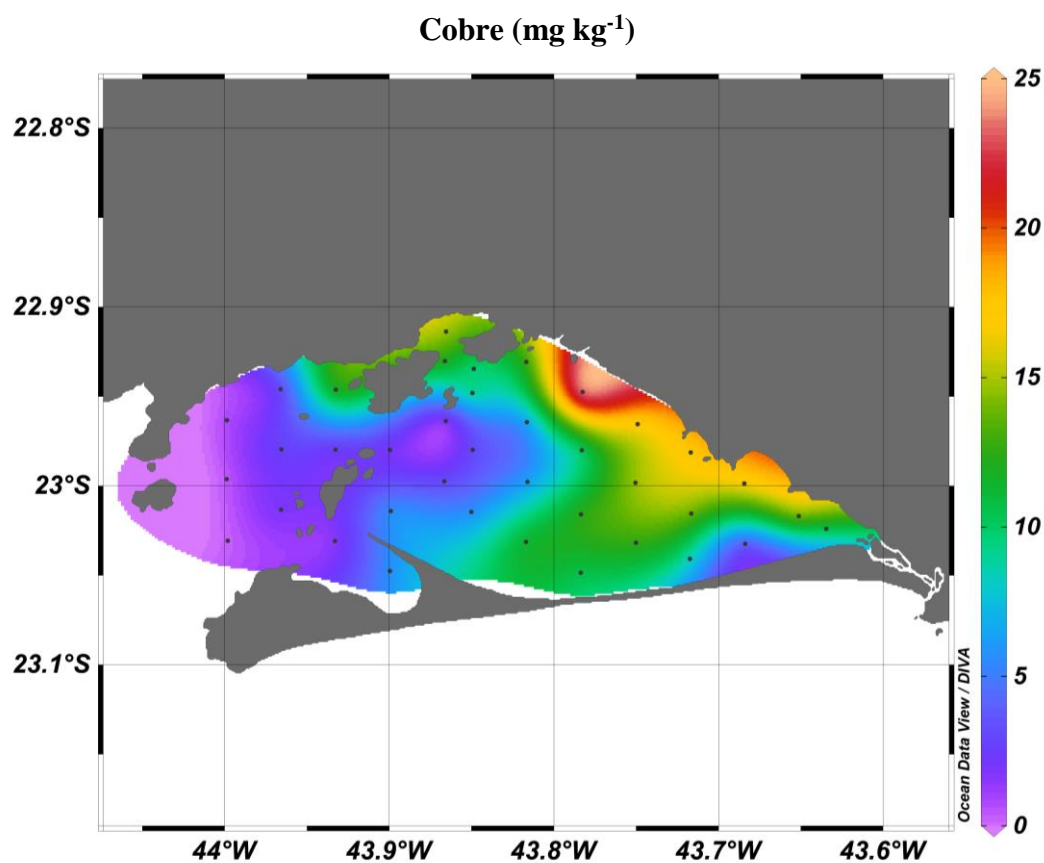


Figura 25: Superfície de resposta para concentrações de Cu na baía de Sepetiba

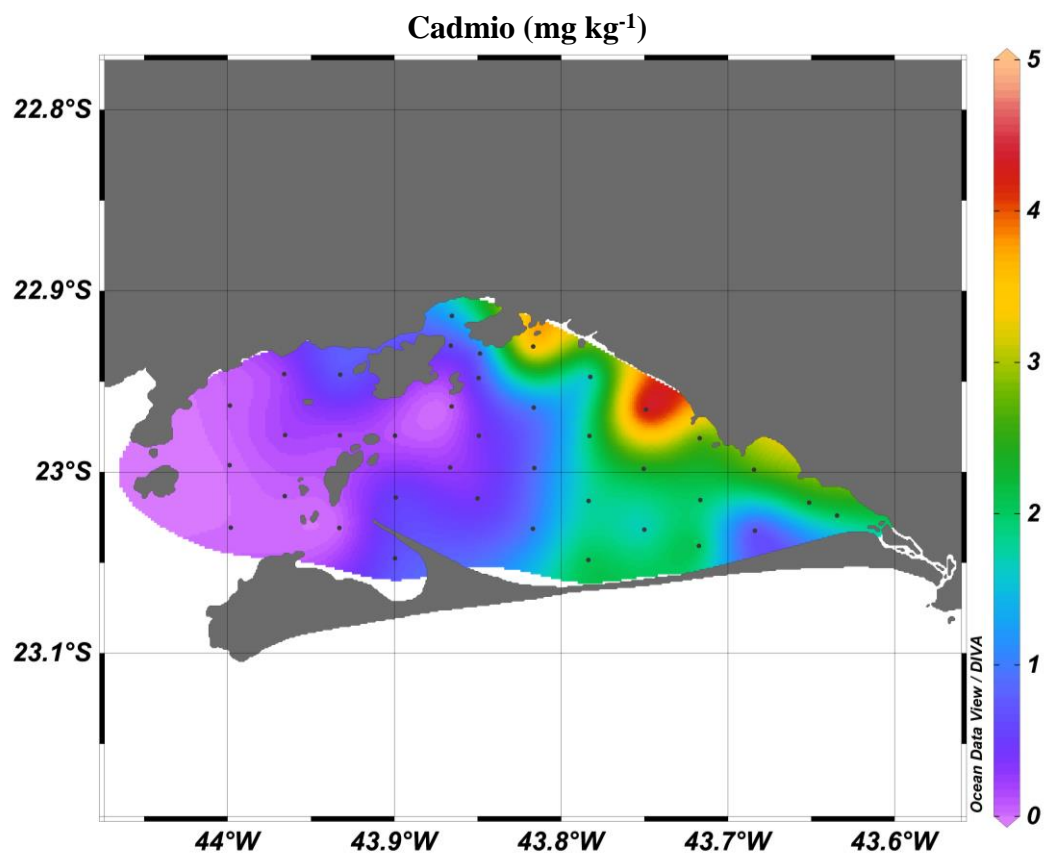


Figura 26: Superfície de resposta para concentrações de Cd na baía de Sepetiba

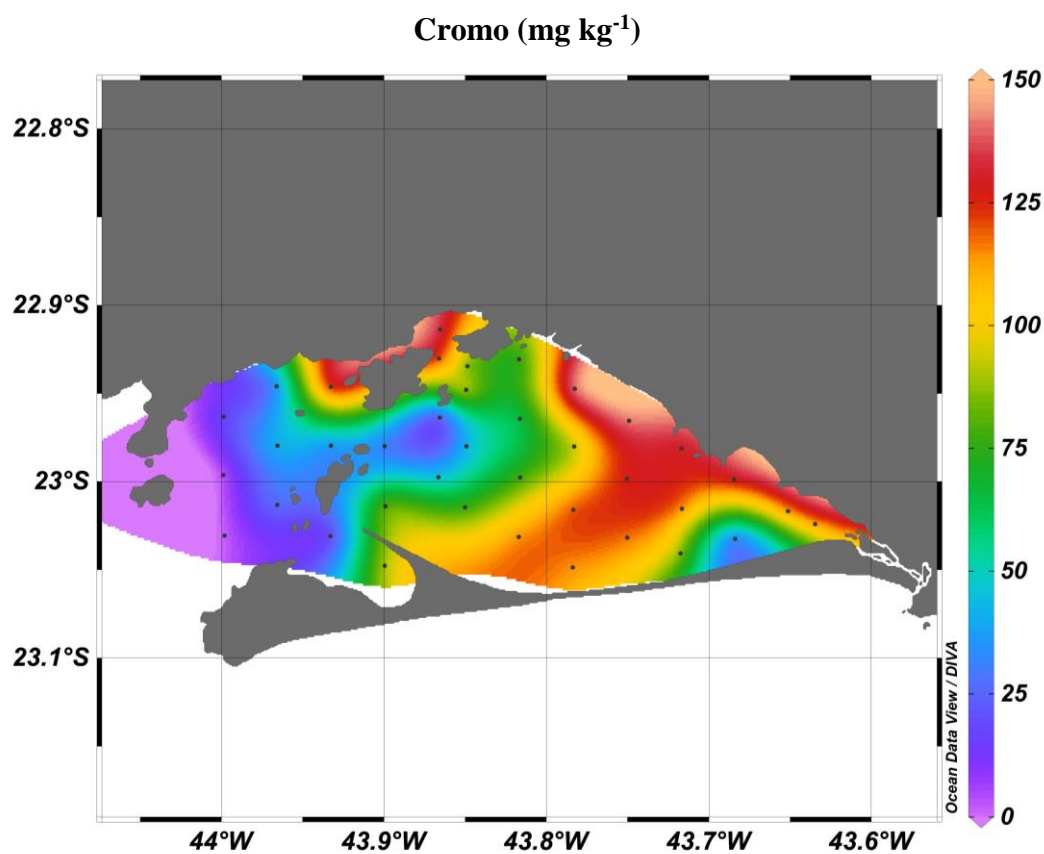


Figura 27: Superfície de resposta para concentrações de Cr na baía de Sepetiba

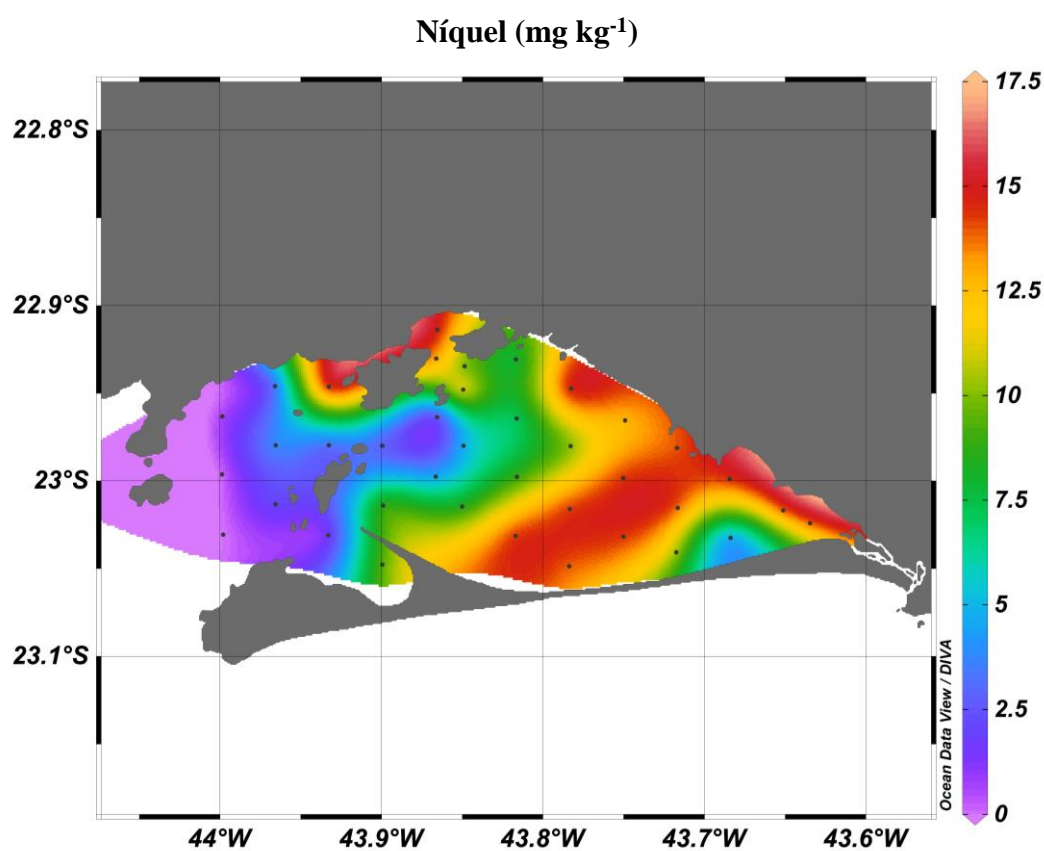


Figura 28: Superfície de resposta para concentrações de Ni na baía de Sepetiba

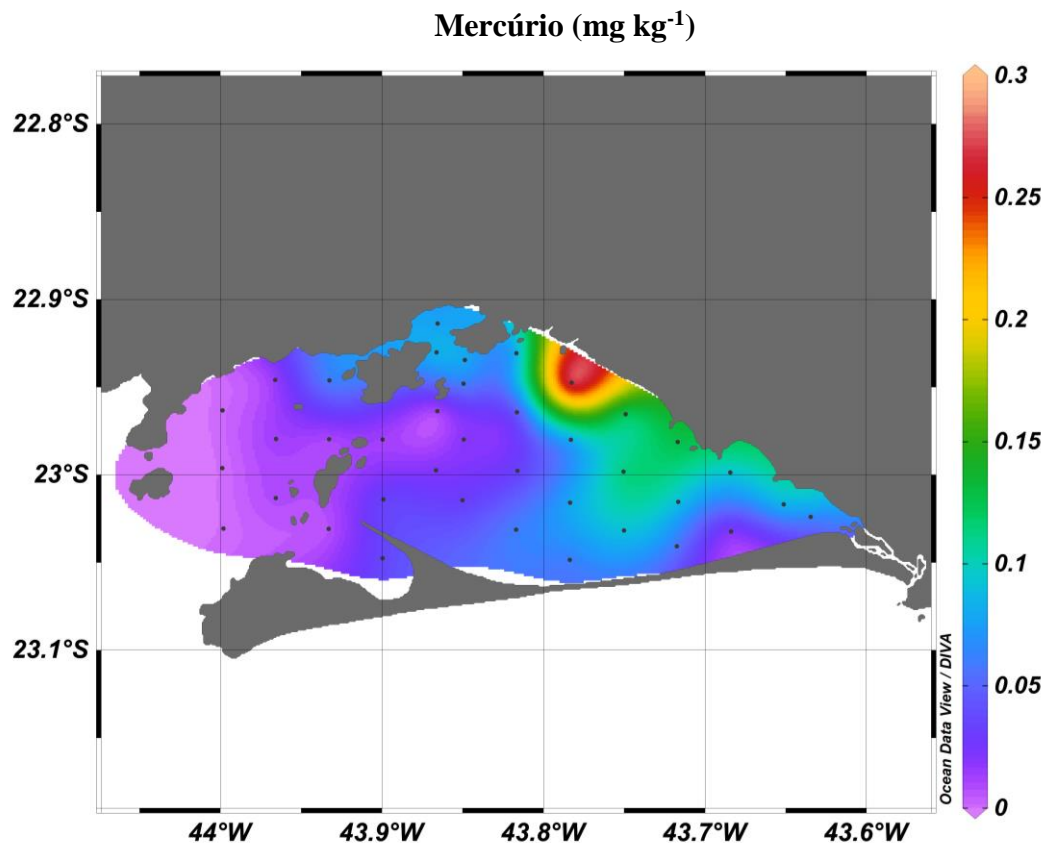


Figura 29: Superfície de resposta para concentrações de Hg na baía de Sepetiba

4.1.6 Integração dos Resultados (Sedimentos Superficiais)

Observando as superfícies apresentadas nas Figura 23, e comparando-as com a distribuição do sedimento com granulometria menor do que 0,06 mm (Figura 17), pode-se notar a movimentação do sedimento superficial não consolidado de forma análoga ao regime da hidrodinâmica da baía de Sepetiba e consequentemente a distribuição de sedimentos contaminados com metais ao longo de toda a área interna da baía, com incidência de concentrações mais elevadas em pontos onde ocorrem deposições de matéria fina em taxas mais elevadas. De modo geral, as regiões norte e leste da baía são as regiões que apresentam os maiores níveis de contaminação por estes metais.

Nota-se também, que em todas as superfícies de resposta, a região de maior concentração de metais totais localiza-se ao longo da linha costeira da baía de Sepetiba próxima aos principais rios afluentes, o Rio Guandú e o Canal de São Francisco, entre os pontos SP-123 (Coroa Grande) e SP-103 (Sepetiba). Alguns

metais destacam-se por apresentarem pontos com elevada concentração, destoando um pouco da superfície apresentada, entre eles Zn, Cd e Hg.

O zinco e o cádmio apresentam as maiores concentrações nos pontos SP-108 e SP-115, enquanto a maior concentração de mercúrio foi encontrada no ponto SP-111. Em comum, estes três pontos são os mais próximos aos rios tributários e que recebem boa parte da carga de esgoto dos bairros do entorno da baía, além de rejeitos industriais. Paraquetti *et al.* (2004) estudou os principais rios e canais da região e constatou que, de fato esta região é a principal responsável pelo aporte de Hg na baía. Segundo Paraquetti *et al.* (2004), o rio Guandú apresenta uma concentração de mercúrio total de 188 ng L⁻¹.

Gomes *et al.* (2009) e Rodrigues *et al.* (2017) determinaram a concentração de Zn e Cd, além de outros metais, nesta mesma região situada ao longo da linha costeira, encontrando concentrações compatíveis com as observadas neste estudo.

As superfícies de resposta apresentadas nas Figura 23 a 29 são visualmente muito similares, indicando que podem haver correlações significativas entre Zn, Pb, Cu, Cd, Cr, Ni e Hg. Esta hipótese se confirma quando são calculados os valores de correlação entre todos os metais e também entre os resultados de C_{Org}, AVS, e % de sedimentos finos (silte+argila), que possuem influência direta nos mecanismos de transporte, deposição e imobilização dos metais no sedimento.

Tabela 9: Coeficientes de correlação de Pearson

----	Zinco	Chumbo	Cobre	Cádmio	Cromo	Níquel	Mercúrio	C _{Org}	AVS	Finos
Zinco	1									
Chumbo	0,847	1								
Cobre	0,793	0,957	1							
Cádmio	0,954	0,734	0,557	1						
Cromo	0,741	0,956	0,932	0,430	1					
Níquel	0,67	0,913	0,881	0,313	0,978	1				
Mercúrio	0,612	0,801	0,918	0,346	0,771	0,703	1			
C _{Org}	0,589	0,742	0,707	0,560	0,718	0,690	0,566	1		
AVS	0,619	0,773	0,877	0,591	0,705	0,679	0,879	0,547	1	
Finos	0,553	0,745	0,683	0,535	0,805	0,817	0,574	0,421	0,436	1

Embora os níveis de concentração encontrados para cada um dos metais sejam bem diferentes, os coeficientes de correlação apresentados na

Tabela 9 demonstram que há correlações significativas entre quase todos eles, variando entre correlações positivas moderadas a muito forte.

Esperava-se uma correlação dos metais em geral com a percentagem de finos, no entanto, esta correlação só foi observada para Pb, Cr e Ni. Para os demais metais, esta ausência de correlação com os finos pode estar relacionada diretamente com o fato de que a distância dos pontos com a fonte de contaminação possa ser o fator preponderante para a sua distribuição.

A forte correlação observada entre Zn e Cd não surpreende, uma vez que o cádmio é o principal subproduto do beneficiamento do minério Calamina ($\text{Zn}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2$) na produção de zinco puro e os resíduos da produção deste metal foram, durante muitos anos, descartados diretamente na baía de Sepetiba e, além disso, acidentes como o rompimento do dique de contenção da companhia Mercantil e Industrial Ingá em 1996 liberaram milhares de metros cúbicos de resíduos contaminados diretamente neste estuário.

Em relação aos demais metais, uma correlação significativa é verificada para o Cu e o Hg em relação ao AVS, já observada na semelhança da sua distribuição nos sedimentos superficiais (Figura 20, Figura 25 e Figura 29), com a região de máxima concentração na margem norte da baía, próximo à desembocadura do canal de São Francisco e do rio Guandú.

Observa-se também uma forte correlação entre cromo e níquel, levando a crer na possibilidade de uma fonte comum de ambos. A concomitante correlação destes com o percentual de finos e, também, a faixa de concentração observada ser compatível com aquela existente na Baía da Ribeira (Gomes *et al.*, 2009) faz supor que a origem de ambos seja comum e natural. Essa hipótese é, também, corroborada pelo perfil homogêneo de Cr e Ni ao longo dos testemunhos sedimentares (Anexo G).

4.1.6.1

Relação entre mercúrio, cobre e sulfeto (AVS)

As mais altas concentrações de sulfetos foram observadas na área da margem continental da baía de Sepetiba próxima aos rios afluentes que, segundo Cunha *et al.* (2006), contribuem com a carga principal da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para a baía.

É importante observar que a superfícies de resposta para as concentrações de mercúrio (Figura 29) e cobre (Figura 25) são muito semelhantes à do sulfeto (Figura 20), assim como o ponto de concentração máximo na estação SP-111, com concentrações de $0,291 \text{ mg kg}^{-1}$ e 25 mg kg^{-1} para mercúrio e cobre, respectivamente. A estação SP-111 fica localizada próximo aos principais rios afluentes da baía de Sepetiba, entre eles o Rio Guandú e o Canal de São Francisco. Esta distribuição espacial do mercúrio, com pontos de máxima concentração próximo aos principais rios tributários também já foi observado por Paraquetti *et al.* (2004) e Molisani *et al.* (2004).

Para avaliar a correlação entre estes contaminantes, foi construído o gráfico de concentração de mercúrio versus concentração de sulfetos (AVS) (Figura 30-a) e cobre (Figura 30-b).

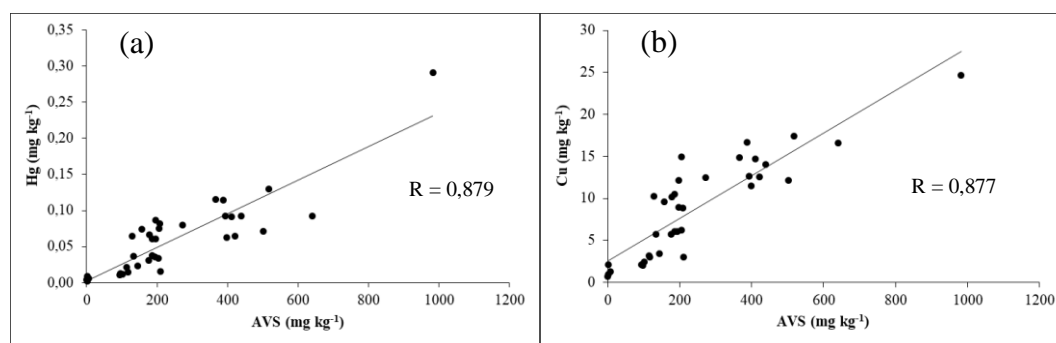


Figura 30: Correlação entre Hg (a) / Cu (b) e sulfetos volatilizáveis por acidificação (AVS) em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba.

Essa correlação entre estes metais e sulfetos, explica-se principalmente pela baixa solubilidade do HgS ($K_{ps} = 1,6 \times 10^{-54}$) e CuS ($K_{ps} = 8,0 \times 10^{-37}$), segundo Fagnani *et al.* (2011), em ambientes onde a concentração de sulfetos é elevada, a formação destas espécies insolúveis é favorecida e consequentemente encontram-se imobilizadas no sedimento.

A afinidade do Hg pelo S de fato, já está muito bem documentada e, até mesmo a correlação entre o Hg e a matéria orgânica é atribuída a alguns grupos funcionais contendo enxofre (Schartup *et al.*, 2014). O teor de metil-mercúrio nestes sedimentos foi muito baixo, não passando de 0,1 % da concentração de mercúrio total. Segundo Schartup *et al.* (2014) e Bratkič *et al.* (2013), a metilação de mercúrio em sedimentos anóxicos e ricos em sulfetos é quase inexistente.

Com relação ao cobre, Casas e Crecelius (1994) também observaram a forte interação com sulfeto, estando completamente imobilizado na forma de CuS no

sedimento. De acordo com estes mesmos autores, na coluna d'água o cobre só é detectado quando sua concentração é superior à concentração de AVS. Nos pontos amostrados na área externa da Baía de Sepetiba, em regiões onde o sedimento é basicamente arenoso (areia/cascalho > 70 %), as concentrações de cobre e sulfetos determinadas foram muito baixas, inviabilizando a comparação entre estes dois parâmetros, através da razão entre eles, mas em todos os demais pontos a concentração de sulfeto é aproximadamente entre 150 e 700 vezes maior do que a concentração de cobre.

4.1.6.2

Variação temporal das concentrações de mercúrio, zinco e cádmio

A variação temporal das concentrações de mercúrio no sedimento superficial pode ser obtida por meio da simples comparação entre os dados obtidos em 2001 por FEEMA (2006) e os dados atuais, obtidos neste trabalho. Utilizando o *software* Ocean Data View, versão 4.7.8 e uma escala de variação relativa, foi possível a construção da superfície de resposta apresentada na Figura 31.

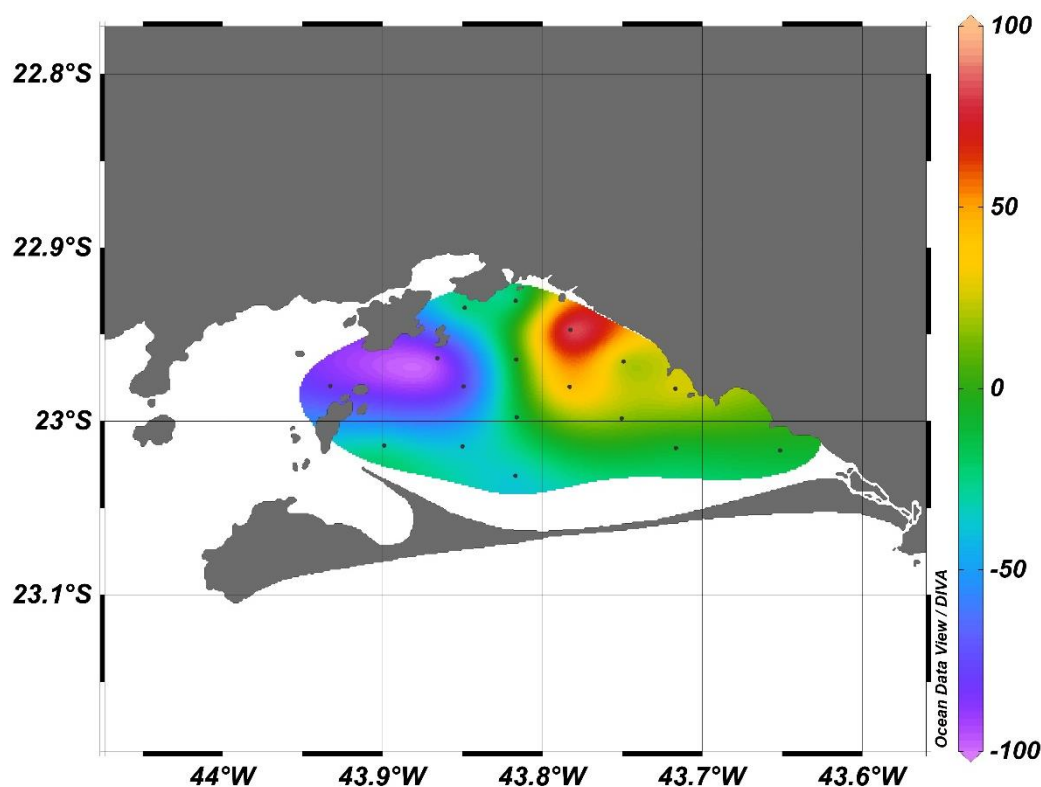


Figura 31: Variação percentual da concentração atual de Hg em sedimento superficial da baía de Sepetiba, escala relativa à concentração obtida em 2001.

Observa-se um aumento de 100 % na estação SP-111, que fica próxima às principais fontes de mercúrio para a baía, o rio Guandú e o canal de São Francisco. Segundo Marins *et al.* (2004) estes dois rios são responsáveis por 95 % de todo aporte de mercúrio na baía de Sepetiba e sua influência na distribuição deste metal no sedimento de fundo já havia sido relatada anteriormente por Marins *et al.* (1998). Por outro lado, nota-se um decréscimo de quase 100 % em outra área da baía, que corresponde ao canal principal de navegação que liga a área externa ao porto de Sepetiba, essa redução, provavelmente, é resultado de dragagens periódicas que ocorrem para manter a profundidade do canal. O material dragado desta região é descartado em área oceânica, fora da baía de Sepetiba.

Assim como foi feito com o Hg, as variações temporais das concentrações de Zn e Cd no sedimento superficial foi obtida por meio da comparação entre os dados atuais e os obtidos em 2001 por FEEMA (2006). Utilizando uma escala de variação relativa foi possível a construção das superfícies de resposta apresentadas nas Figura 32 e 33.

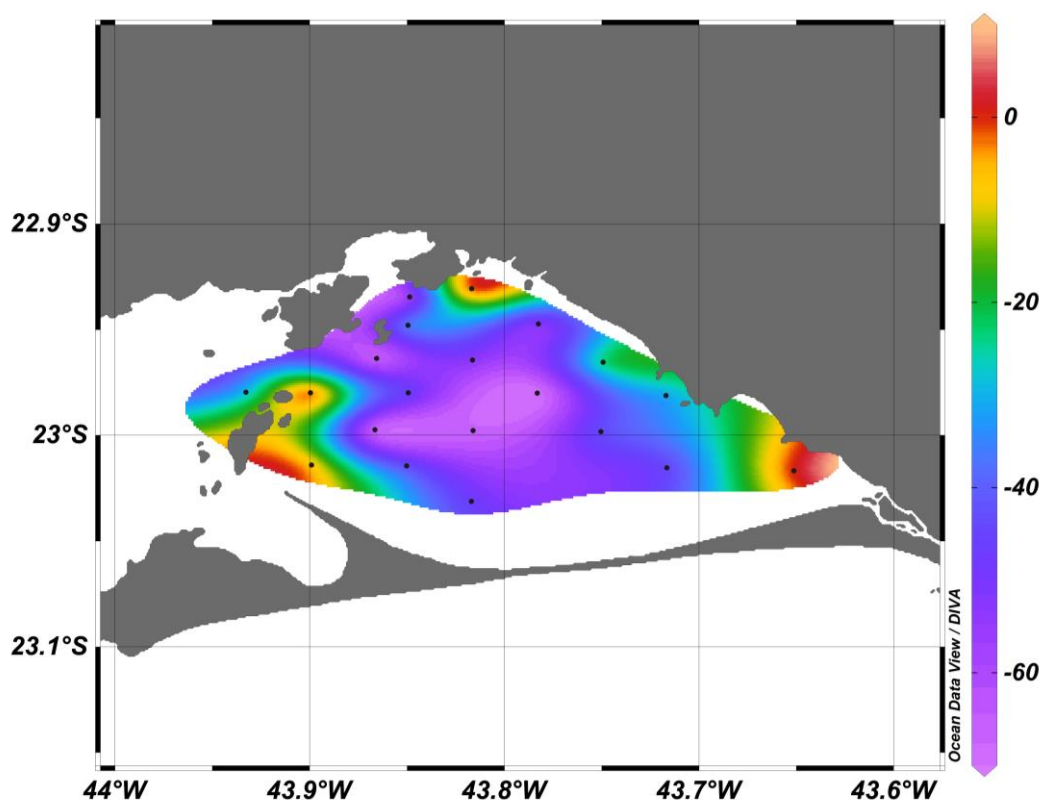


Figura 32: Variação percentual da concentração atual de Zn em sedimento superficial da baía de Sepetiba, escala relativa à concentração obtida em 2001.

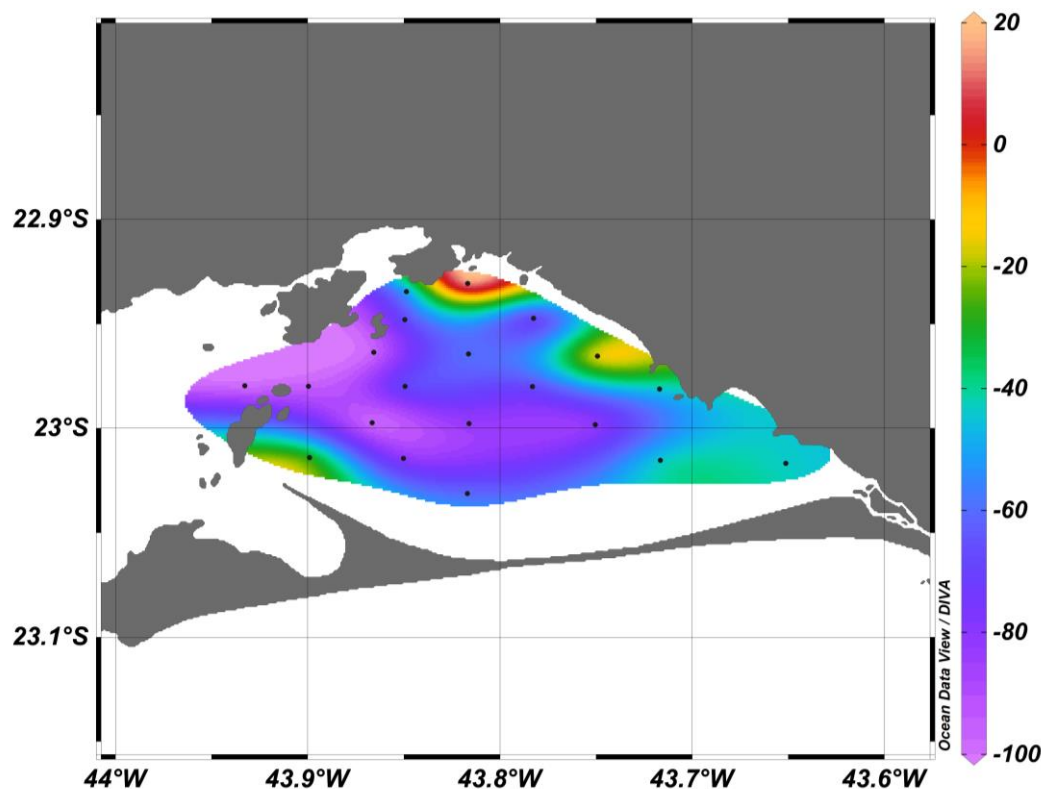


Figura 33: Variação percentual da concentração atual de Cd em sedimento superficial da baía de Sepetiba, escala relativa à concentração obtida em 2001.

Observa-se que houve grande redução nas concentrações de zinco e cádmio com diferenças relativas de até -71 % e -98 % respectivamente. Entretanto, alguns pontos próximos aos principais rios afluentes apresentaram concentrações bem próximas às relatadas por FEEMA (2006) sugerindo que podem haver fontes contribuindo para a não redução dos níveis de concentração de Zn e Cd, ou até mesmo aumentando estes níveis. O ponto SP-115, próximo à ilha da madeira e ao saco do engenho foi o que apresentou a maior variação relativa, com 3,1 % para Zn e 19,8 % para Cd.

A concentração de Zn e Cd nesta região foi avaliada por Gomes *et al.* (2009) e, mais recentemente, por Rodrigues *et al.* (2017), que encontraram concentrações destes metais similares a este trabalho, Barcellos e Lacerda (1994) e Molisani *et al.* (2004) afirmam que os rios afluentes são, também, uma importante fonte de Zn e Cd para a Baía pois foram encontradas altas concentrações no material particulado.

Gomes *et al.* (2009) sugere que outra possível fonte de Zn seja a COSIGUA, uma indústria siderúrgica, pertencente ao grupo Gerdau S.A., instalada às margens do canal de São Francisco, distando apenas 5 km da baía.

4.1.6.3

Análise de *Cluster* – Método de Ligação de Ward

A análise de *cluster* é um método de partição de uma população heterogênea em vários subgrupos mais homogêneos. No agrupamento não há classes pré-definidas, os elementos são agrupados de acordo com a semelhança, neste caso, os elementos a serem comparados são as estações de coleta e o agrupamento é baseado na similaridade entre os resultados encontrados em cada determinação analítica.

Geralmente, os critérios adotados agrupam os elementos de forma a se obter homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles. Os métodos aglomerativos caracterizam-se pelo fato de que inicialmente cada elemento representa um grupo e, a cada passo de aglomeração, um elemento (ou grupo) é ligado a outro de acordo com sua similaridade, até o último passo em que se tem um único grupo com todos os elementos.

Os grupos são geralmente representados por um diagrama bi-dimensional chamado de dendrograma, deve-se determinar uma distância de corte para definir quais são os grupos formados, essa decisão é subjetiva e foi realizada de acordo com o objetivo desta análise.

Existem vários métodos aglomerativos, que são caracterizados de acordo com o critério que se utilizam para definir as distâncias entre grupos. Utilizando o método de ligação de Ward, ou método da soma de erros quadráticos, obteve-se o dendrograma apresentado na Figura 34.

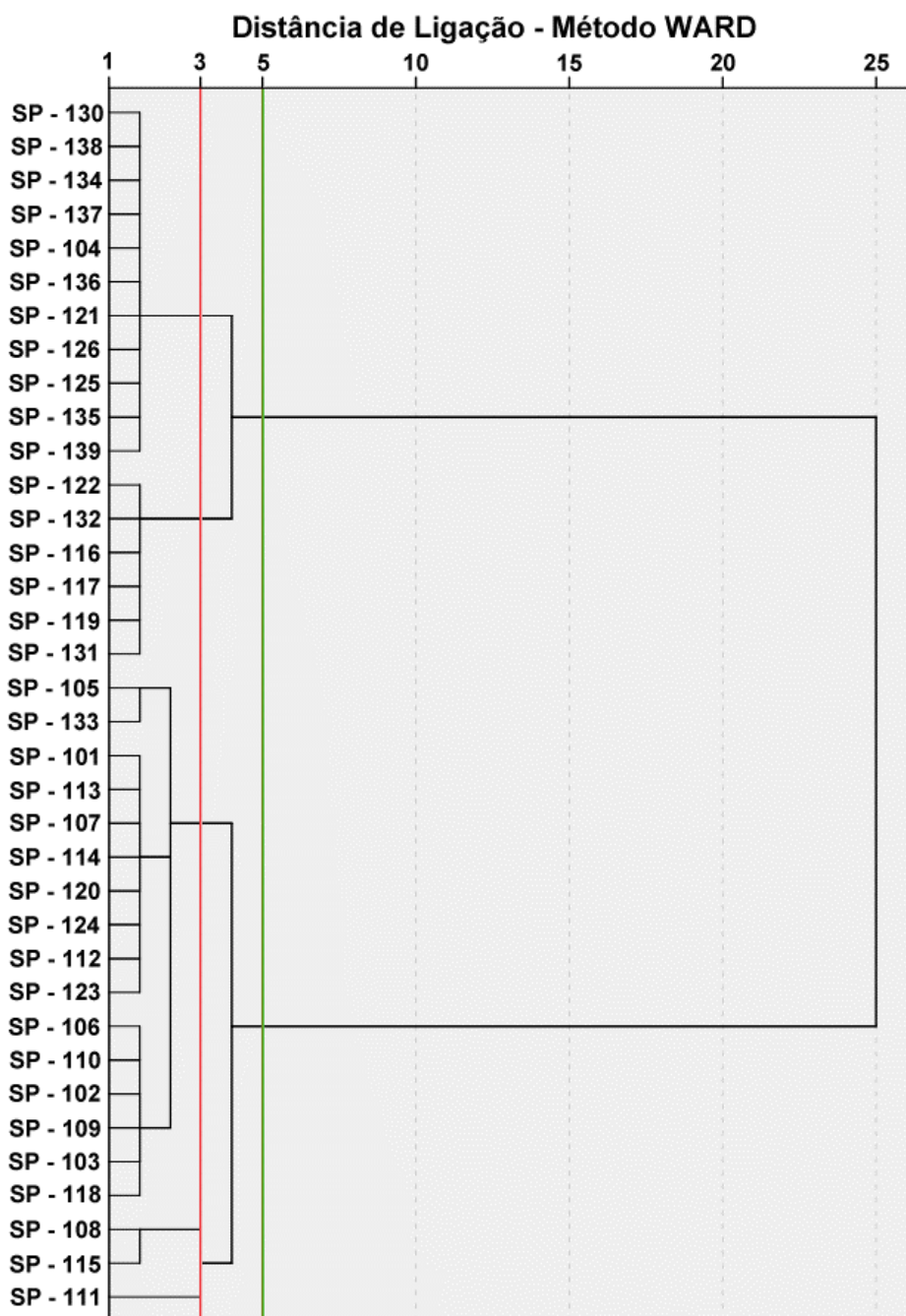


Figura 34: Dendrograma da análise de cluster pelo método de ligação de Ward

Pode-se observar no dendrograma apresentado na Figura 34 que várias estações de amostragem apresentam alta similaridade, concatenando-os em grandes grupos que chegam a conter até 11 estações de amostragem. Seguindo o método aglomerativo, logo se percebe a formação de dois grandes grupos que possuem baixa similaridade entre si, ou seja, são dois grandes aglomerados que possuem características muito distintas e apontam para uma divisão da Baía de Sepetiba em duas grandes regiões com características muito diferentes.

A distância de ligação entre os grupos que mais se adequou aos dados observados neste trabalho e que foi utilizada como corte para a definição dos grupos foi a distância euclidiana 3. Neste caso, foi possível a observação de 4 grupos com boa similaridade entre as estações de coleta dentro de cada grupo e características distintas entre os grupos. Vale ressaltar que, mesmo fazendo parte de algum grupo formado na condição de corte escolhida, cinco pontos possuem características bem distintas dos demais em pelo menos um dos parâmetros utilizados na elaboração do dendrograma, são eles:

O ponto **SP-111** apresenta-se isolado dos demais em função do elevado valor de AVS, bem superior aos demais, apresentando uma concentração 50% maior do que o segundo ponto mais alto, além de também representar a maior concentração de Hg observada.

Os pontos **SP-108** e **SP-115** representam os dois pontos com as maiores concentrações de zinco, 1116 mg kg⁻¹ e 799 mg kg⁻¹, respectivamente, bem acima do nível dois (410 mg kg⁻¹) recomendado pela resolução CONAMA 454 (2012), apresentado na Tabela 2.

Os pontos **SP-105** e **SP-133** associam simultaneamente elevada concentração de carbono orgânico total e uma baixa percentagem de sedimentos finos.

A Figura 35 apresenta a distribuição espacial dos grupos ao longo de toda a área de amostragem, as estações estão divididas em cores diferentes, representando o grupo ao qual pertencem.

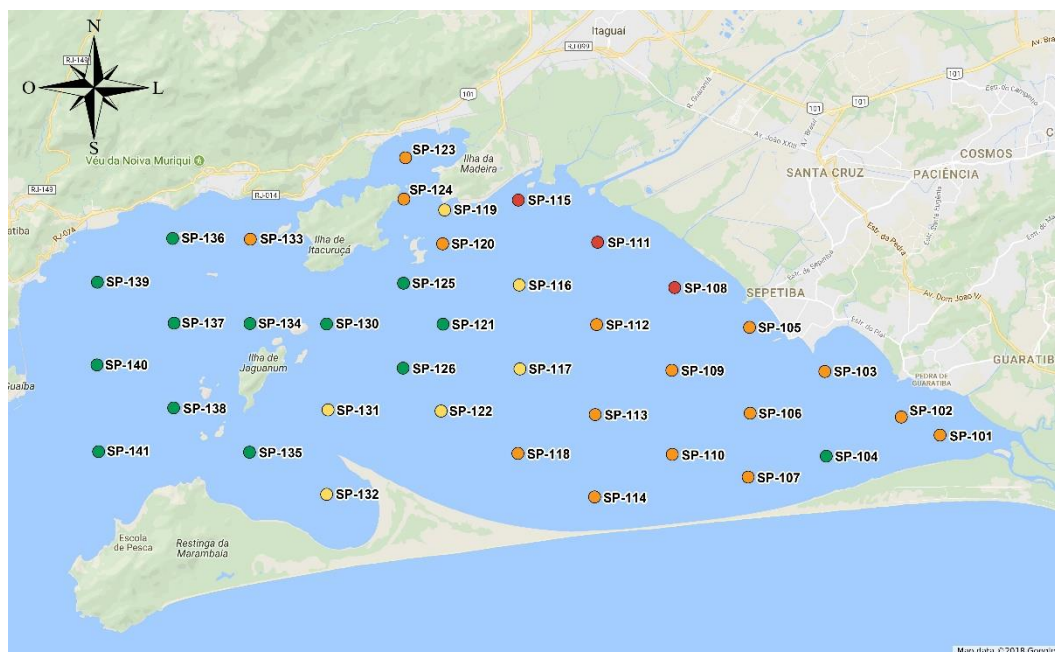


Figura 35: Grupos formados após a seleção do nível 3 do dendrograma como distância de corte

Fica evidente a divisão da Baía de Sepetiba em duas grandes regiões, a área externa da baía, é representada em verde no mapa e apresenta características bem distintas da área interna da baía, representada em laranja no mapa. Entre as áreas externa e interna há uma faixa, representada em amarelo, é uma zona de transição onde as concentrações determinadas para os contaminantes analisados apresentaram valores intermediários às duas grandes regiões da baía.

Neste mapa destaca-se uma região que se inicia na parte leste da Ilha da Madeira e percorre a costa interna da baía na direção sudeste até a praia de Sepetiba. Nesta área, representada em vermelho, estão localizados todos os rios e canais que sofrem com o descarte de resíduos industriais e também esgoto sanitário e, por isso, foram encontradas as maiores concentrações de todos os metais determinados neste trabalho (Figura 23), além dos valores também mais elevados de AVS e Σ SEM (Figura 20).

Com base no diagrama apresentado na Figura 34 e nas evidências observadas para cada ponto amostral, individualmente ou em grupos, pode-se sugerir uma malha amostral dos sedimentos superficiais simplificada, mas representativa, que possa ser empregada no monitoramento ambiental da Baía de Sepetiba, desenvolvido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), representando uma redução de 50% dos pontos originais.

- Pontos SP-105, SP-108, SP-111, SP-115 e SP-133
- Pontos SP-125, SP-137 e SP-130
- Pontos SP-101, SP-103, SP-107, SP-109, SP-112, SP-120 e SP-124
- Pontos SP-116, SP-122 e SP-131
- Ponto SP-123 (Coroa Grande)

A malha amostral proposta (Figura 36) cobre toda a costa interna da baía, onde se observam as maiores concentrações dos parâmetros analisados, além de pontos representativos da área central da baía, onde foram observadas concentrações intermediárias de metais tóxicos à vida marinha, destacando-se o zinco, com os maiores valores, e cádmio e cromo com concentrações intermediárias, acima do nível 1 recomendado pela resolução CONAMA 454 (2012). Acrescenta-se também na proposta de malha amostral alguns pontos na região externa da baía e também próximos ao canal principal de navegação.

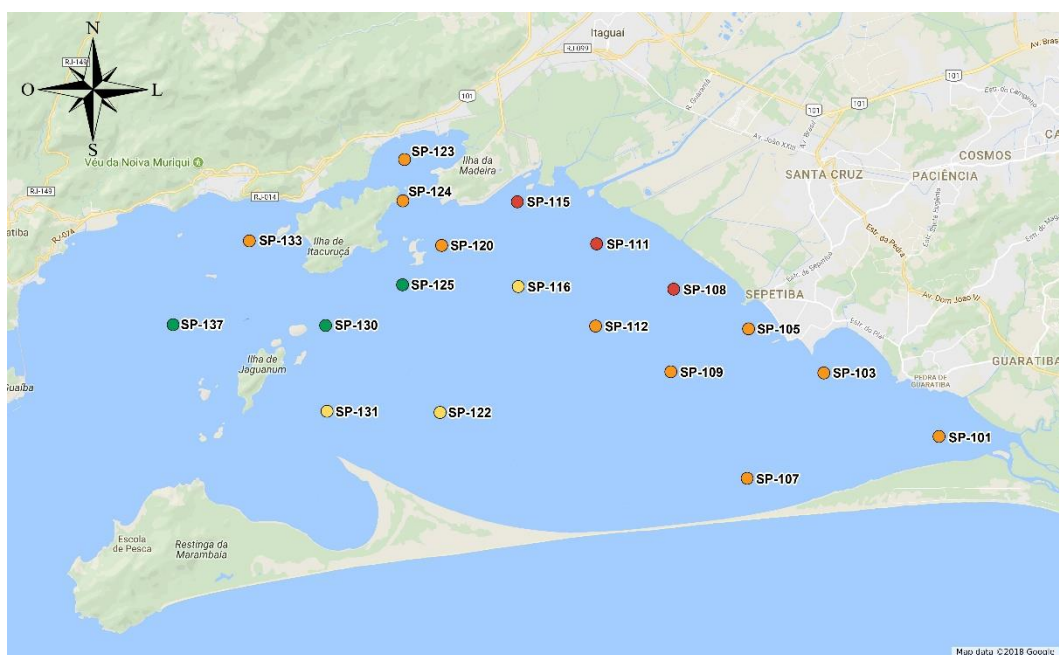
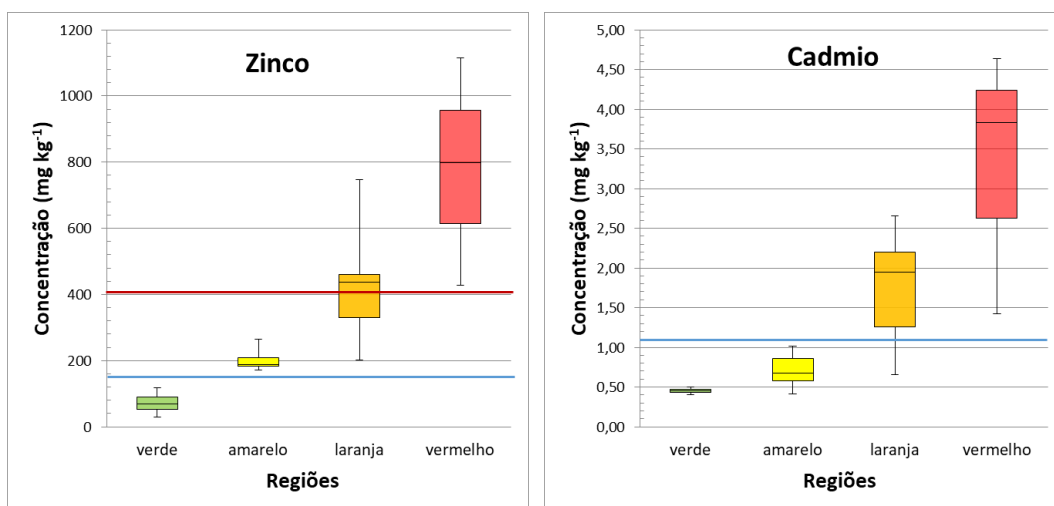


Figura 36: Malha amostral proposta para monitoramento ambiental da Baía de Sepetiba

A construção de diagramas de caixas, agrupando os resultados dos metais potencialmente tóxicos nos mesmos 4 grupos definidos pela distância de corte 3 no dendrograma (Figura 34) e utilizando o mesmo padrão de cores do mapa apresentado na Figura 35, fornece-nos as seguintes imagens.



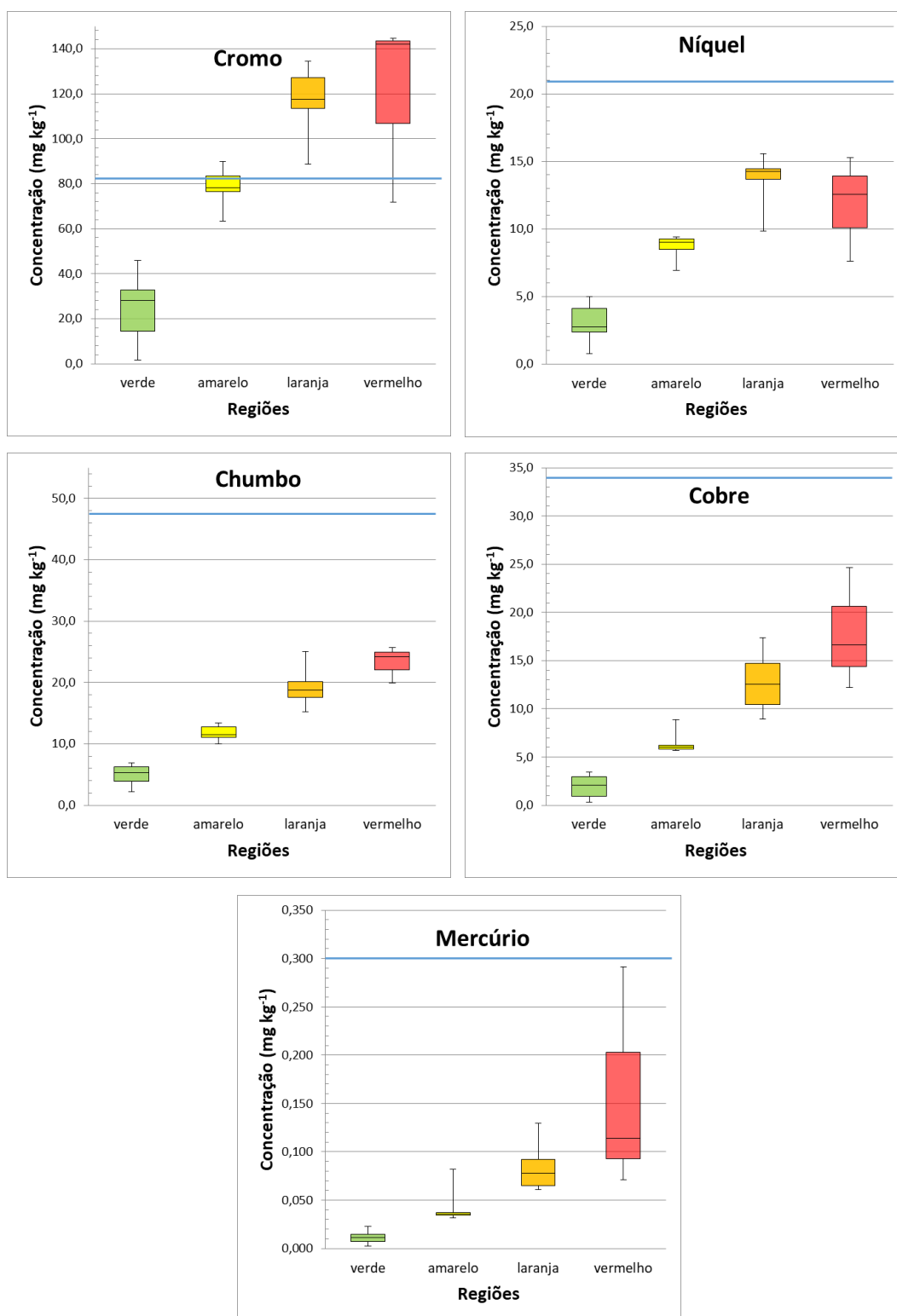


Figura 37: Diagramas de caixa (box-plot), metais Zn, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu e Hg organizados em 4 grupos de similaridade. Faixas azul e vermelha – níveis 1 e 2 do CONAMA 454/12 respectivamente.

Os diagramas apresentados na Figura 37 evidenciam os níveis de concentração encontrados para os metais determinados neste trabalho em cada uma das quatro regiões da baía de Sepetiba. Observa-se que a região vermelha é, de fato,

a mais afetada pelo aporte antropogênico destes metais e requer maior atenção e cuidados no manejo do sedimento. Nesta região, todos os valores de concentração de Zn estão acima do nível 2 do CONAMA 454/12. Também se pode observar neste mesmo grupo, que os níveis de Cd e Cr estão acima do nível 1 desta mesma resolução, neste caso, recomenda-se testes mais específicos para a avaliação da ecotoxicidade do sedimento.

Nota-se também que há uma grande similaridade entre os grupos laranja e vermelho nas concentrações de Ni e Cr. Observando as superfícies de resposta (Figura 27 e 28), percebe-se que há uma dispersão maior destes elementos ao longo de toda área interna da baía de Sepetiba, seguindo o mesmo perfil do sedimento ainda não consolidado e de granulometria mais fina, menor que 0,06 mm, que movimenta-se de forma análoga ao perfil hidrodinâmico da baía.

4.2

Testemunhos Sedimentares

4.2.1

Avaliação Preliminar dos Testemunhos

Preliminarmente à datação com ^{210}Pb , foram realizadas avaliações dos dados de umidade e concentrações de metais tóxicos, com atenção especial para Zn e Cd, em cada camada dos testemunhos amostrado.

No teor de umidade, foi observado se os perfis apresentavam um padrão de decréscimo deste dado com o aumento da profundidade, o que indica um aumento crescente da taxa de compactação com o decorrer dos anos.

As concentrações de Zn e Cd foram avaliadas preliminarmente pois, sabe-se que durante muitos anos, foram despejadas grandes quantidades de resíduos contendo estes metais na Baía de Sepetiba (Viégas, 2006), logo, espera-se encontrar perfis de distribuição deste metal indicando variações nas concentrações com o passar dos anos.

4.2.1.1

Determinação de umidade

A determinação do teor de umidade nas amostras oriundas do fatiamento dos testemunhos foi realizada conforme procedimento descrito no item 3.2 deste documento, os frascos foram pesados previamente à coleta das amostras e depois pesados novamente com toda a amostra úmida e após a secagem para a realização do cálculo da diferença entre as massas e a obtenção da massa seca total.

Os resultados destas determinações estão apresentados na Tabela 12, Anexo A, e a representação gráfica pode ser observada na Figura 38. Nota-se que o teor de água variou entre 75 % e 85 % na primeira camada e apresentou maior redução no testemunho T-8 chegando a 24 % na última camada. O testemunho T-3 apresentou a menor variação de umidade entre a primeira e a última camada amostrada, que apresentaram umidades de 85 % e 66 %, respectivamente. O testemunho T-20 apresentou comportamento semelhante ao T-3 da superfície, com 84 % até 45 cm de profundidade, com 74 % de umidade, a partir deste ponto observa-se uma redução significativa de umidade, sugerindo a existência de uma grande camada de mistura na região superior deste testemunho.

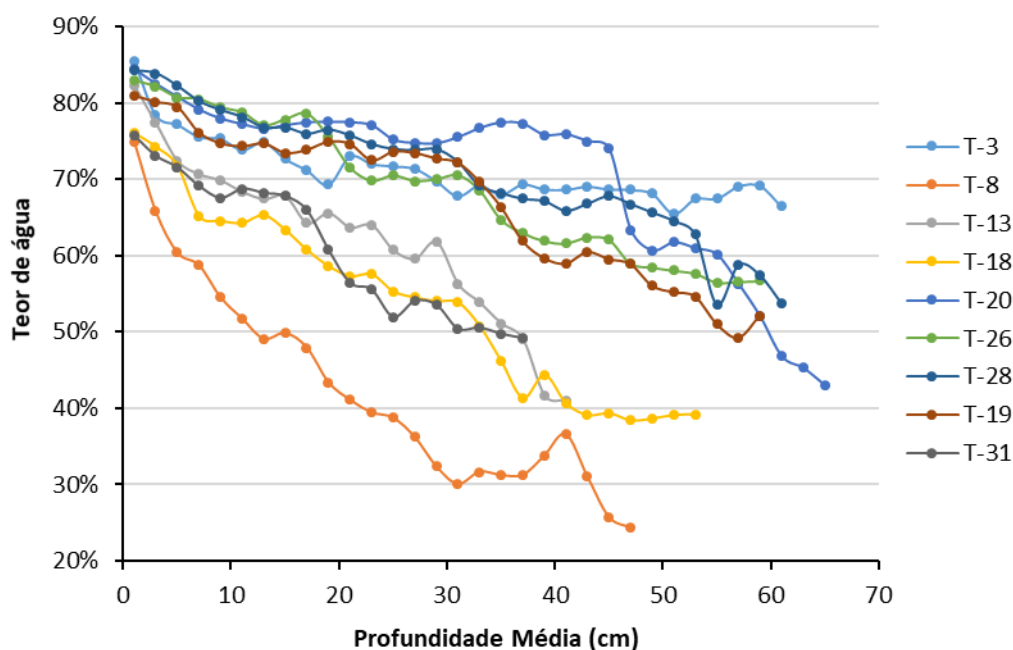


Figura 38: Teor de água nas camadas oriundas do fatiamento dos testemunhos sedimentares

Para a realização das etapas seguintes de preparo das amostras para determinação dos contaminantes e datação das camadas, foi realizada uma avaliação inicial apenas com os teores de umidade.

Nesta avaliação qualitativa, embora os perfis de umidade dos testemunhos T-3 e T-20 tenham apresentado comportamento diferente dos demais, não foi observado nada que pudesse desqualificar algum deles. Todos os demais apresentaram diferenças decrescentes de teor de água, isto indica que provavelmente não há uma zona de mistura muito grande entre as primeiras camadas de sedimento e que a compactação aumenta proporcionalmente ao aumento da profundidade, o que é esperado em testemunhos sedimentares.

4.2.1.2

Determinação de Metais Totais

A concentração dos metais cádmio, cromo, chumbo, níquel e zinco foram calculadas em mg kg^{-1} de sedimento seco, levando-se em conta a massa de sedimento seco utilizado no preparo das soluções, o volume final destas e eventuais diluições extras para a determinação instrumental por ICP-MS.

Assim como na determinação destes metais nos sedimentos superficiais (4.1.5), as extrações foram realizadas em duplicata e as determinações instrumentais foram efetuadas com 5 leituras por elemento, conforme metodologia descrita em 3.3. Os isótopos utilizados foram ^{66}Zn , ^{111}Cd , ^{53}Cr , ^{206}Pb , ^{63}Cu e ^{60}Ni . A determinação de Mercúrio foi realizada por CVAAS, em triplicata, conforme descrito em 3.4, apenas nos testemunhos T-8, T-13 e T-18, pertencentes ao transecto que se inicia na foz dos principais rios afluentes e segue em direção ao centro da baía de Sepetiba.

Os metais apresentaram faixas de concentrações diferentes em cada um dos testemunhos analisados, porém, as correlações observadas entre estes contaminantes seguem o mesmo padrão observado na determinação destes metais nos sedimentos superficiais.

Destaca-se a forte correlação entre Cr e Ni, com coeficientes superiores a 0,913. No entanto estes dois elementos apresentaram perfis monotônicos, ou seja, não houve variação significativa da concentração ao longo do perfil, novamente a

concentração média, calculada ao longo do perfil, é compatível com a relatada por Gomes *et al.* (2009) para sedimentos da Baía da Ribeira, corroborando a hipótese de que a origem de ambos seja comum e natural.

Observa-se também, altas correlações entre Zn e Cd, com coeficientes superiores a 0,863. Os perfis destes metais apresentaram altas variações de concentração, seja internamente, ou mesmo quando comparados testemunhos de regiões diferentes, este padrão é interessante pois indica variações nos níveis de contaminação ao longo dos anos e também níveis diferentes de contaminação quando se comparam áreas distintas da Baía de Sepetiba. A concentração de Zn variou entre 78 mg kg^{-1} em camadas mais profundas e 1370 mg kg^{-1} no ponto T-26. Para o cádmio, os extremos de concentração também foram observados no ponto T-26, sendo $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ o menor valor e $4,06 \text{ mg kg}^{-1}$ o maior valor observado entre as camadas.

Para os demais metais determinados em todos os testemunhos sedimentares não foi observada nenhuma correlação significativa, além disso os resultados apresentaram perfis monotônicos sem variação significativa de concentração ao longo da profundidade, como pode ser observado no Anexo G.

A concentração de mercúrio, determinada apenas nos testemunhos T-8, T-13 e T-18, apresentou um perfil diferente dos demais metais, é possível observar um aumento de concentração gradativo e linear em relação a profundidade, sugerindo a existência de um aporte contínuo de Hg na região estudada, este caso específico será discutido mais adiante, no item 4.2.4.

4.2.1.3

Concentração de Zn e Cd nos perfis sedimentares

A distribuição vertical das concentrações de Zn e Cd em cada camada dos testemunhos sedimentares da Baía de Sepetiba possui um perfil singular, onde, em muitos casos, percebe-se claramente um pico bem significativo da concentração destes metais em determinada profundidade seguida por uma redução da concentração em camadas mais superiores.

Esta particularidade na concentração de Zn e Cd nos perfis sedimentares da Baía de Sepetiba é associada ao desastre ambiental ocorrido em 1996, quando o

dique de contenção de resíduos da extinta Cia. Ingá Mercantil se rompeu e centenas de milhares de m³ vazaram para a baía.

A Figura 39 mostra os perfis de Zn registrados nos testemunhos amostrados. Os testemunhos sedimentares T-3 e T-31 não apresentaram perfis com picos evidentes na concentração de Zn como, ou seja, não se observa um aumento seguido de uma redução na concentração de Zn, tal como observado nos demais perfis. Alguns fatores podem interferir na observação dos perfis sedimentares, atividades de dragagem, por exemplo, inviabilizam este tipo de avaliação, pois removem parte do sedimento.

O ponto T-3 localiza-se próximo à costa interna da baía, em frente aos principais rios afluentes, e, provavelmente, a velocidade de sedimentação neste ponto seja muito alta sendo necessária uma amostragem com um comprimento (profundidade) maior para uma melhor análise temporal desta região.

O testemunho sedimentar obtido no ponto T-31 não foi suficientemente profundo para alcançar as camadas onde se encontram sedimentos com idades anteriores ao principal acidente ocorrido na baía ou então o sedimento de região onde ocorreu a amostragem é constantemente revirado. Pode-se observar que há uma elevação da concentração de Zn a partir da camada 17, que se mantém constante até a camada mais profunda deste testemunho.

O testemunho T-20, embora tenha apresentado um perfil de Zn com as características ideais para a realização dos ensaios de datação, também foi descartado desta determinação, pois dois parâmetros apontaram para uma camada de mistura muito extensa, o que influenciaria muito na precisão da datação. São eles: 1 - teor de umidade, pode-se observar na Figura 38 que a umidade deste perfil quase não muda até os 45 cm de profundidade, onde o decréscimo neste parâmetro foi de apenas 12,4 % em relação a camada mais superficial. 2 - concentração de zinco em cada camada, entre os primeiros 35 cm deste testemunho a concentração de Zn variou entre 491 e 620 mg kg⁻¹, com média igual a 559 mg kg⁻¹ e desvio padrão de 36 mg kg⁻¹, ou seja, quase não houve variação na concentração de Zn nestas camadas de testemunho, sugerindo que há uma mistura entre elas, corroborando a hipótese levantada pela observação dos teores de umidade.

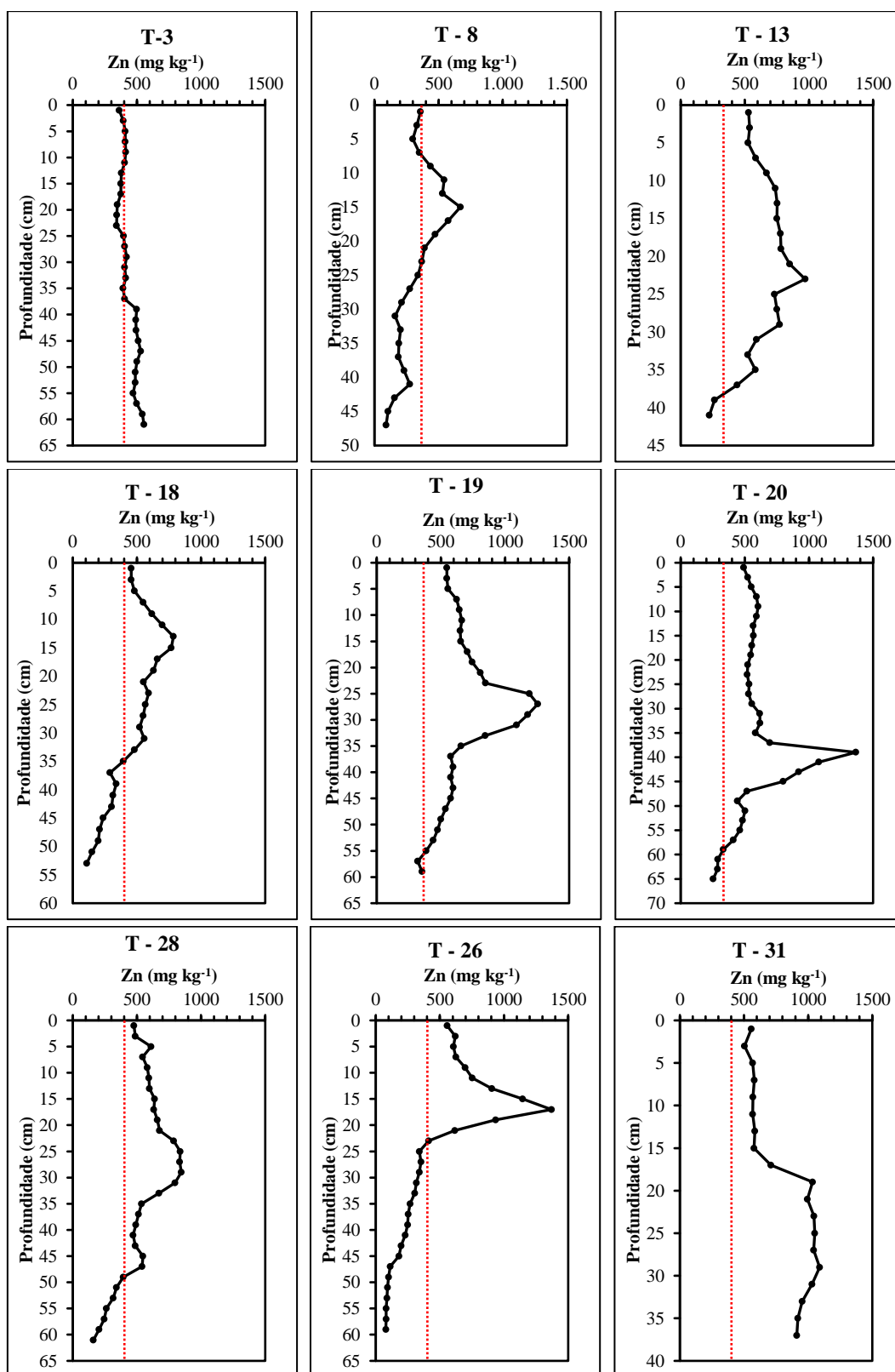


Figura 39: Perfis de concentração de Zn versus profundidade em diferentes pontos da Baía de Sepetiba, a faixa vermelha indica o nível 2 (410 mg kg^{-1}) da resolução CONAMA 454/12

A mesma abordagem realizada na avaliação dos perfis de concentração de Zn foi aplicada para a avaliação dos perfis de concentração de Cd. A Figura 40 mostra

os perfis obtidos e pode-se perceber que eles seguem o mesmo padrão de variação de concentração ao longo da profundidade, já observado nos perfis de Zn.

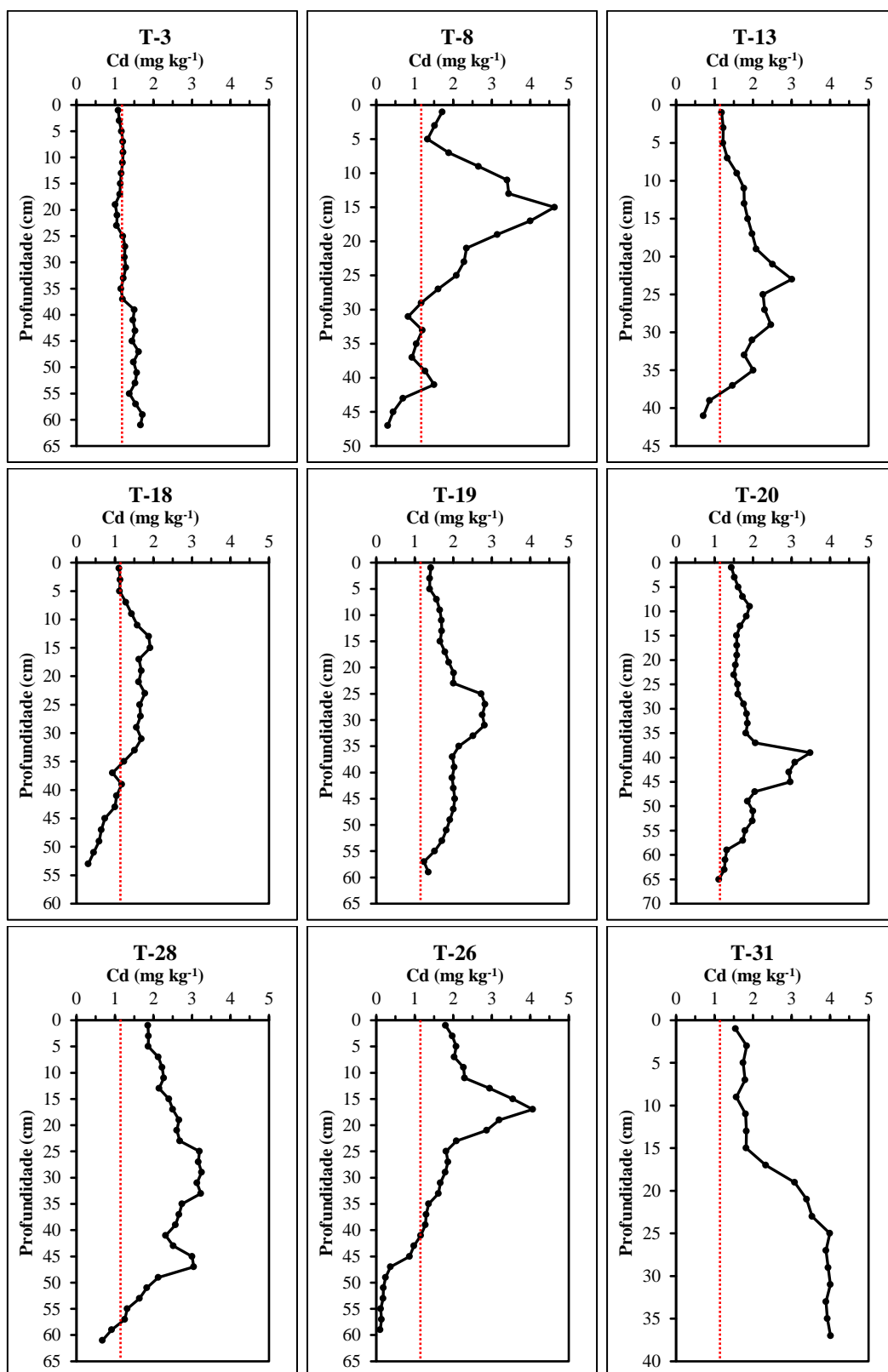


Figura 40: Perfis de concentração de Cd versus profundidade em diferentes pontos da Baía de Sepetiba, a faixa vermelha indica o nível 1 ($1,2 \text{ mg kg}^{-1}$) da resolução CONAMA 454/12

Os testemunhos T3 e T31 também não apresentaram perfis com picos evidentes na concentração de Cd e o perfil observado no testemunho T-20 corrobora a avaliação realizada na observação do perfil de Zn, onde provavelmente, há uma extensa camada de mistura, o que influenciaria na precisão da datação.

Diante do exposto, optou-se pela realização da datação com ^{210}Pb apenas nos testemunhos T-8, T-13, T-18, T-19, T-28 e T-26.

4.2.2

Datação de sedimentos com ^{210}Pb

Foram avaliadas as velocidades de sedimentação em seis pontos da Baía de Sepetiba, visando o cálculo das idades de cada camada seccionada dos testemunhos. A atividade de ^{210}Pb foi determinada após lixiviação do material seco com HBr e posterior precipitação como PbCrO_4 , segundo metodologia proposta por Godoy (1998).

As idades de cada segmento foram calculadas utilizando-se o modelo CF:CR (Constant Flux : Constant Rate) e os dados de concentração de Zn foram empregados na validação da datação, uma vez que estão bem registrados os acidentes que despejaram toneladas deste metal na baía. O modelo CF:CR não se mostrou adequado para os dados obtidos no testemunho T-26, neste caso foi utilizado o modelo CRS (Constant Rate of Supply).

4.2.2.1 Testemunho T-8

Este perfil está localizado a aproximadamente 2,6 km da costa norte da Baía de Sepetiba, entre o rio Guandú e o canal do Itá. Os resultados de atividade de ^{210}Pb neste testemunho ficaram muito baixos ou menores do que o limite de quantificação do método, impedindo a datação correta deste testemunho.

4.2.2.2 Testemunho T-13

Este ponto está localizado no transecto linear que se inicia na margem norte na baía, próximo aos principais rios afluentes, e segue a sudoeste em direção ao centro da baía, e dista aproximadamente 4,6 km da costa norte da Baía de Sepetiba. O modelo CF:CR foi aplicado a este testemunho e o cálculo da velocidade de sedimentação foi realizado com o auxílio da curva de correlação (Figura 41) entre ^{210}Pb (mBq g^{-1}) e massa acumulada de sedimento, em g cm^{-2} .

Foi utilizada a expressão adaptada da lei de decaimento radioativo

$$C(x) = C_0 \cdot e^{-\lambda \cdot \frac{x}{w}}$$

Como λ é constante de decaimento do ^{210}Pb ($0,03114 \text{ ano}^{-1}$), a velocidade de sedimentação (w) calculada foi de $(0,339 \pm 0,007) \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$

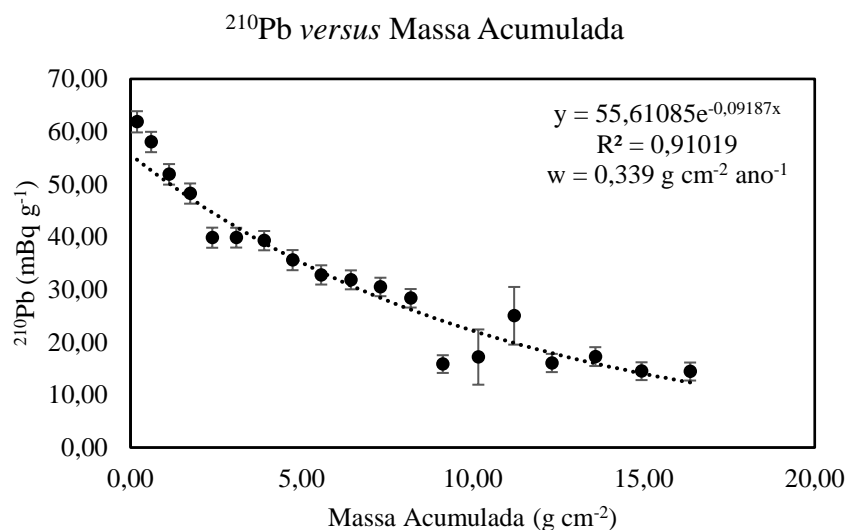


Figura 41: Testemunho T-13 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada

4.2.2.3 Testemunho T-18

O testemunho T-18 foi coletado na região central da Baía de Sepetiba e está localizado no mesmo transecto onde estão os pontos T-13, T-8 e T-3, sua distância para a foz dos principais rios afluentes é de aproximadamente 7,6 km. Nesta região há predominância de sedimentos de granulometria mais fina, com teores de argila + silte maiores do que 90 %.

O modelo CF:CR mostrou-se adequado aos dados de atividade de ^{210}Pb medidos em cada camada deste testemunho. Com o auxílio destas atividades da massa acumulada foi possível a construção do gráfico apresentado na Figura 42. Através do mesmo raciocínio demonstrado no Item 4.2.2.2 foi possível calcular a velocidade de sedimentação em $(0,261 \pm 0,011) \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

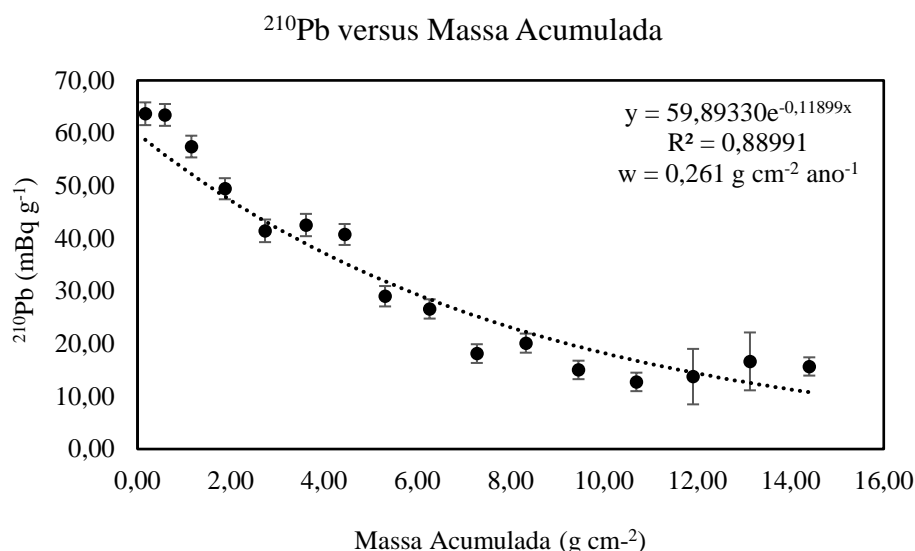


Figura 42: Testemunho T-18 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada

4.2.2.4 Testemunho T-19

Este testemunho localiza-se na região central da baía de Sepetiba, a profundidade medida nesta região no momento da amostragem foi de 6,0 m e a distância deste ponto até a margem norte é de aproximadamente 7,2 km.

Os dados de atividade de ^{210}Pb obtidos para cada camada deste testemunho se ajustaram bem ao modelo CF-CS, o gráfico apresentado na Figura 43 pôde ser construído com os dados de massa acumulada e das atividades de ^{210}Pb . A velocidade de sedimentação calculada neste ponto foi de $(0,311 \pm 0,009) \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

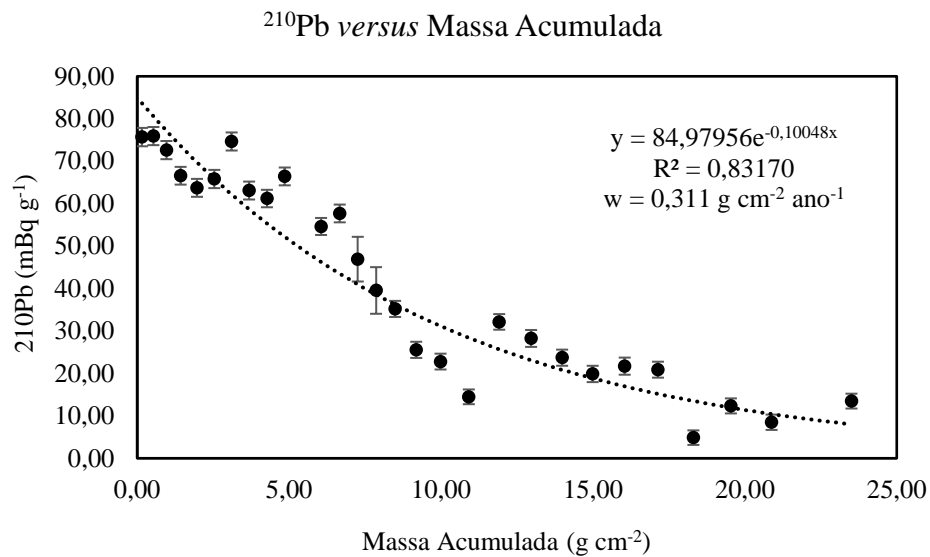


Figura 43: Testemunho T-19 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada

4.2.2.5 Testemunho T-26

Este testemunho localiza-se no transecto que liga a região central da baía de Sepetiba (testemunho T-18) até o manguezal localizado na margem leste, sendo este o ponto mais próximo do mangue, distando aproximadamente de 6,0 km desta região e com profundidade de 5,5 m no momento da amostragem.

A aplicação do modelo CRS nos dados de ^{210}Pb obtidos nas diferentes camadas deste testemunho evidenciou a existência de duas épocas com velocidades de sedimentação bem distintas (Figura 44), sendo $0,278 \text{ cm ano}^{-1}$ da parte mais profunda do testemunho até a profundidade média de 35 cm e $0,946 \text{ cm ano}^{-1}$ desta profundidade até a superfície.

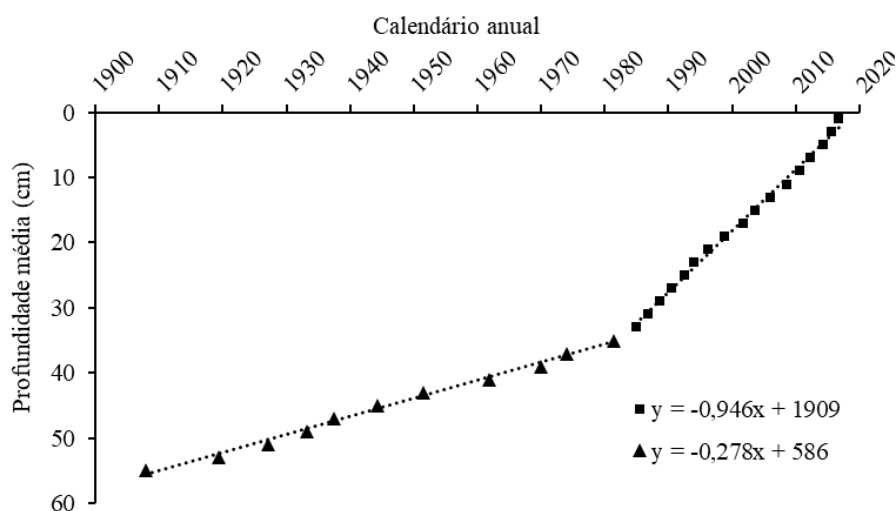


Figura 44: Testemunho T-26 – profundidade média versus calendário anual

A alteração na velocidade de sedimentação deste perfil ocorreu entre os anos de 1981 e 1984, atualmente a velocidade de sedimentação é quase 4 vezes maior do que era até os anos 1970.

Esta alteração pode ter explicação pois este testemunho se localiza na parte leste da Baía de Sepetiba, uma região cercada por manguezais e pelos bairros de Guaratiba e Pedra de Guaratiba, ambos fundados em 1981. Segundo Mello (2015), o plano urbanístico do município do Rio de Janeiro, lançado em 1977, dividiu a cidade em cinco áreas que tinha como prioridade o ordenamento de terras e preservação de áreas ambientais. Os bairros de Guaratiba e Pedra de Guaratiba estão contidos na área 5.

Mello (2015) afirma que, após a fundação dos bairros, estes seguiram em franca expansão demográfica, acompanhada de grandes obras para a construção de ruas, definição de lotes habitacionais e redes de saneamento, com o alargamento de canais já existentes. Todo esse processo foi facilitado pela construção de uma rodovia que liga o Recreio dos Bandeirantes ao polo industrial de Santa Cruz.

4.2.2.6 Testemunho T-28

O testemunho T-28 localiza-se na porção leste da baía, distando aproximadamente 5,5 km da praia de Sepetiba, e 3,2 km da restinga da Marambaia. Nesta região há predominância de sedimentos finos, com o somatório de silte e argila sendo praticamente a totalidade do material, com teores de aproximadamente 80 % e 20 %, respectivamente.

O modelo CF-CS ajustou-se bem aos dados de atividade de ^{210}Pb medidos nas camadas deste testemunho, o gráfico apresentado na Figura 45 foi construído com os dados de massa acumulada e das atividades de ^{210}Pb . A velocidade de sedimentação calculada neste ponto foi de $(0,273 \pm 0,005) \text{ g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

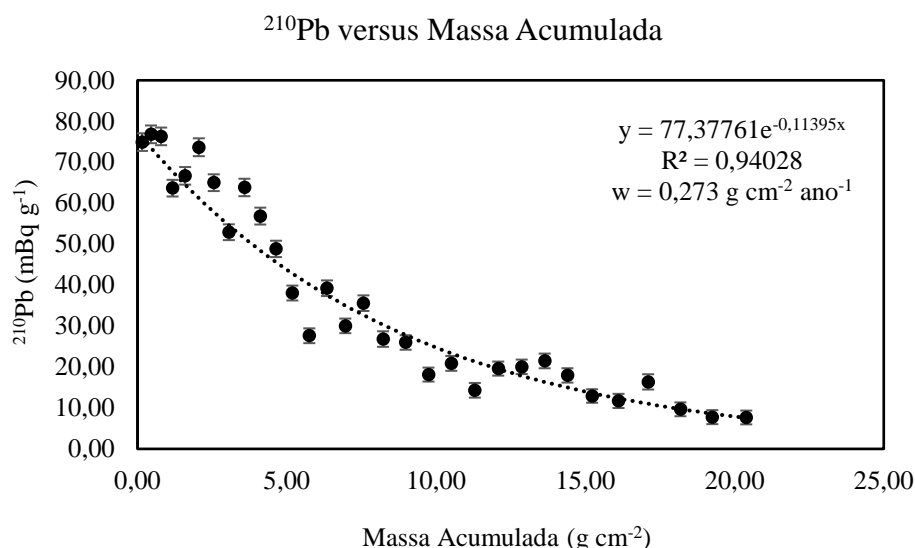


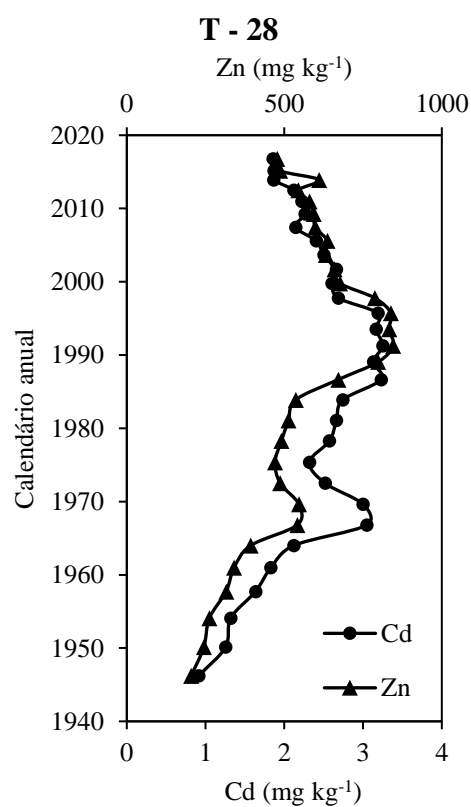
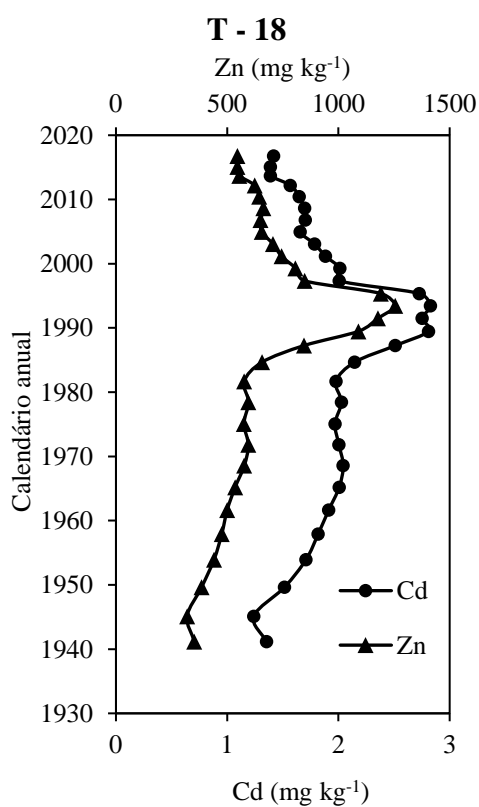
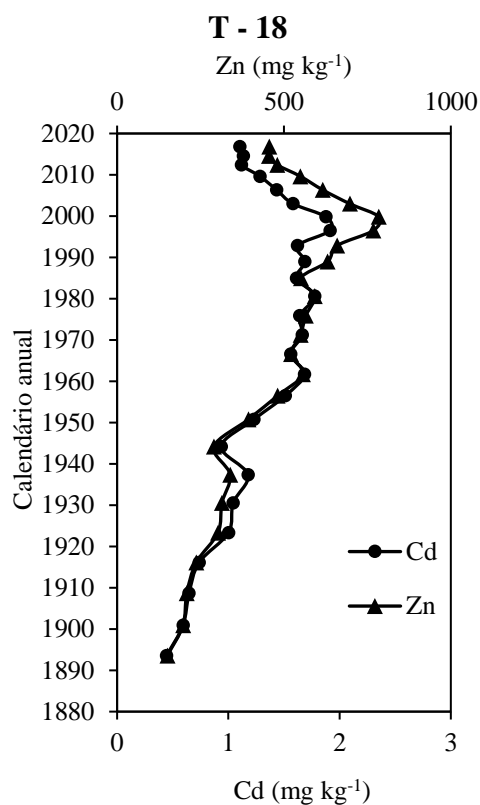
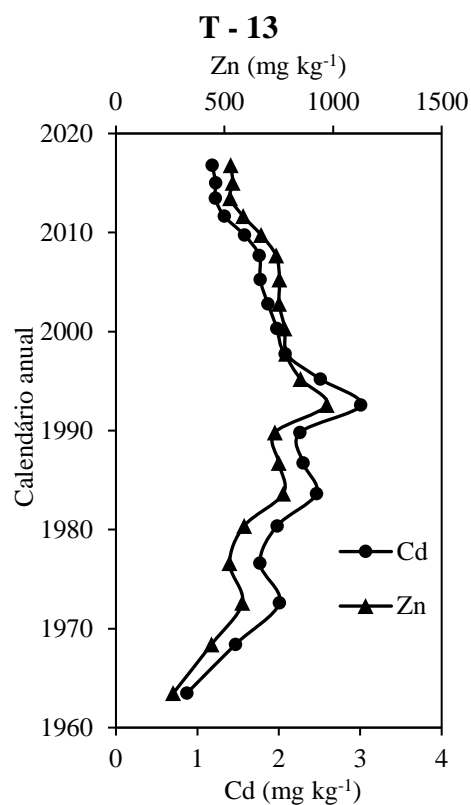
Figura 45: Testemunho T-28 - $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ versus massa acumulada

4.2.3

Validação da datação com ^{210}Pb

A determinação da concentração dos metais realizada em conjunto com a reconstrução histórica das regiões amostradas é uma das ferramentas para a validação da datação obtida através da atividade de ^{210}Pb presente nos sedimentos.

Neste sentido, a variação das concentrações de zinco e cádmio ao longo dos perfis sedimentares serve bem a este propósito. Em fevereiro de 1996 o dique de contenção da Cia. Ingá Mercantil se rompeu em decorrência das fortes chuvas e de falhas no projeto, despejando milhares de toneladas de resíduos, contendo estes metais, para a Baía de Sepetiba. A Figura 46 descreve o comportamento das concentrações destes metais em cada um dos perfis sedimentares onde foi possível a realização da datação com ^{210}Pb .



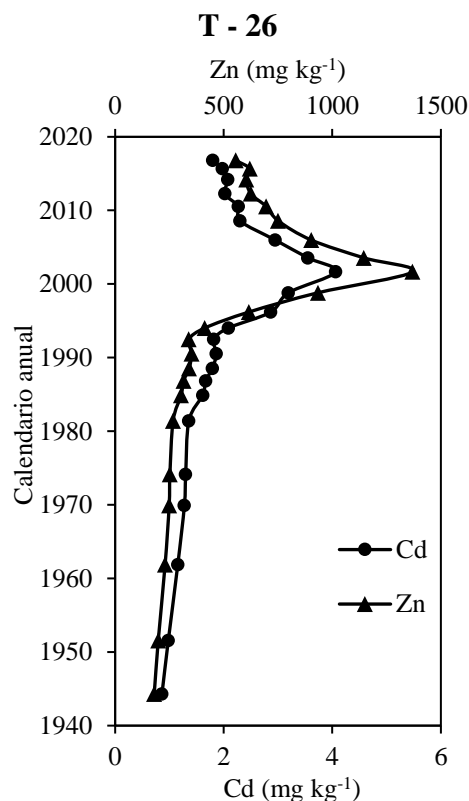


Figura 46: Idade versus concentrações de Zn e Cd para os testemunhos T-13, T-18, T-19, T-26 e T-28

A partir da observação da variação de Zn e Cd nos perfis apresentados na Figura 46, pode-se concluir que os modelos de cálculo geocronológico utilizados nestes perfis fornecem, como resultado principal, idades que se adequaram bem aos dados de concentração dos metais. Os perfis apresentaram concentrações máximas de Zn e Cd entre 1992 e 2001, com erro aproximado de ± 4 anos, ou seja, estão em concordância com o fato histórico de grande relevância ocorrido em 1996, que despejou milhares de toneladas de resíduos tóxicos contendo principalmente estes dois metais.

A Tabela 10 resume as concentrações máximas de Zn e Cd e idade na qual este máximo foi observado em cada perfil.

Tabela 10: Concentrações máximas de Zn e Cd em testemunhos e data em que estes valores foram alcançados

Testemunho	Zn (mg kg^{-1})	calendário	Cd (mg kg^{-1})	calendário
T-13	970	1993 ± 1	3,0	1993 ± 1
T-18	784	2000 ± 1	1,9	1996 ± 1
T-19	1255	1993 ± 2	2,8	1993 ± 2
T-26	1369	2001 ± 2	4,1	2001 ± 2
T-28	838	1996 ± 1	3,2	1996 ± 1

As concentrações de Zn e Cd em sedimentos da baía alcançaram, na ocasião do acidente, valores bem acima dos níveis recomendados pelo CONAMA 454 (2012). Os cinco perfis sedimentares apresentaram camadas com concentrações de Zn acima do nível 2, em alguns casos os valores encontrados foram aproximadamente o triplo da maior concentração indicada pela resolução CONAMA, que é de 416 mg kg^{-1} , sugerindo uma alta probabilidade de efeitos adversos à vida marinha. O Cd também apresentou valores elevados, especificamente para este metal a resolução CONAMA sugere atenção especial aos valores acima de $1,2 \text{ mg kg}^{-1}$ e, assim como o Zn, em todos os perfis foram encontradas camadas onde a concentração determinada estava acima do limite indicado pela resolução.

Importante ressaltar que os dados obtidos nas camadas mais profundas do testemunho T-18, que correspondem a anos anteriores a 1900, e consequentemente, anteriores à industrialização da região, apontam para um nível basal de concentrações de Zn e Cd em torno de 110 mg kg^{-1} e $0,31 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Observa-se que os níveis de base estimados para estes dois metais se encontram abaixo do nível 1 apresentados pela resolução CONAMA 454/12, que indica 150 mg kg^{-1} para Zn e $1,2 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cd. Nesta mesma região Gomes *et al.* (2009) sugeriram um nível base de 54 mg kg^{-1} e $0,34 \text{ mg kg}^{-1}$ para as concentrações de Zn e Cd, respectivamente.

Embora seja possível notar a redução dos valores de concentração dos metais nos anos seguintes ao acidente da Cia. Ingá Mercantil, as concentrações de Zn e Cd na superfície (Figura 23 e Figura 26) do sedimento continuam acima dos valores sugeridos na legislação brasileira. Há uma tendência de redução nos próximos anos, conforme pode ser observado na Figura 46, mas a instalação de novas indústrias siderúrgicas no entorno da baía de Sepetiba, como a Ternium em 2006, pode dificultar essa redução, pois estas também descartam parte de seus resíduos nos canais e rios afluentes da baía.

4.2.4 Concentração de Mercúrio

O procedimento para a determinação de Hg em alíquotas de sedimentos retiradas de cada camada dos testemunhos seguiu o mesmo protocolo realizado na determinação de Hg nos sedimentos superficiais (3.4), adaptado de Campos (1980).

Para garantir a qualidade dos resultados obtidos, todas as bateladas de preparo das amostras foram acompanhadas por uma triplicata de material de referência certificado (*MESS-3 Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and other Constituents*) e três brancos de preparo contendo todos os reagentes utilizados e seguindo o mesmo processo adotado para as amostras.

Diferentemente do que foi observado nos outros metais tóxicos estudados neste trabalho, a concentração de Hg aumentou quase linearmente com o tempo. Na Figura 47 estão apresentadas as variações temporais deste metal ao longo dos testemunhos T-13 e T-18. As concentrações de Hg também foram determinadas nas camadas do testemunho T-8, mas o estudo temporal neste ponto não pôde ser realizado já que as atividades de ^{210}Pb não foram suficientemente adequados para os cálculos das idades de cada camada.

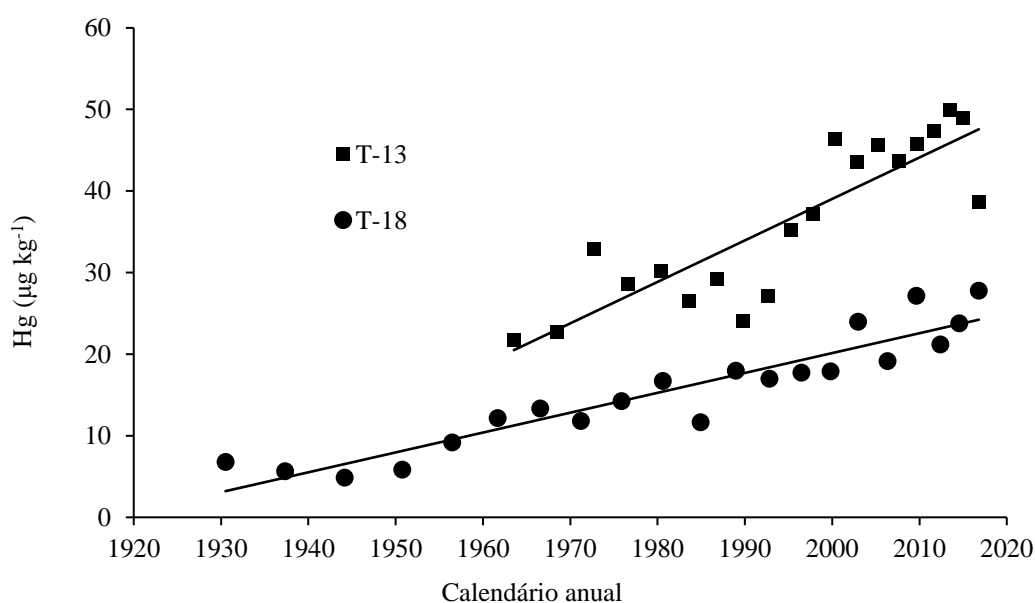


Figura 47: Variação temporal de Hg nos testemunhos T-13, T-18

As velocidades de sedimentação estimadas nos testemunhos T-13 e T-18 são de 0,34 e 0,26 g cm⁻² ano⁻¹ respectivamente e foi constante no intervalo de tempo

estudado. Pode-se, então, concluir que o fluxo de Hg para a baía tem aumentado linearmente ao longo dos anos, e o aumento anual da concentração de Hg nos sedimentos superficiais é de $0,62 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para T-13 e $0,29 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para T-18.

Como não há informação sobre indústrias nesta região utilizando mercúrio nos seus processos, pode-se acreditar que as fontes deste metal são difusas, e o aporte de Hg pode ser oriundo de depósitos de resíduos sanitários, esgotos domésticos não tratados ou sistemas de drenagem pluvial da cidade, e aumentaram com o crescimento da população na região.

Este aumento constante na concentração de Hg nesta região é corroborado pela comparação dos dados observados no sedimento superficial coletado neste trabalho e em 2001 (4.1.6.2), em que fica evidente um aumento de 100% na concentração de Hg na região próxima aos principais rios afluentes em contraponto a outras regiões em que houve redução de até 100% na concentração deste metal.

Os dados obtidos nas camadas mais profundas do testemunho T-18, correspondentes a anos anteriores à 1960, permitem estimar um valor basal de Hg em torno de $5 \mu\text{g kg}^{-1}$, este valor é quatro vezes inferior ao valor proposto por Marins *et al.* (2004) para sedimentos finos da Baía de Sepetiba.

5 Conclusão

As superfícies de resposta obtidas para os parâmetros analisados neste trabalho demonstraram ser poderosas ferramentas para o melhor entendimento dos processos de disponibilidade e mobilidade dos poluentes, pode-se perceber claramente que metais como Ni e Cr distribuem-se mais para a região central da baía, acompanhando a mobilidade da fração mais fina do sedimento superficial ainda não consolidado.

Metais como Pb, Zn, Cd, Cu e Hg possuem mobilidade mais restrita às partes norte e nordeste da baía, evidenciando que os metais possuem dinâmicas de mobilidade diferentes e o manejo deste sedimento deve levar em consideração a individualidade de cada caso.

Na parte interna da baía, nenhum dos valores da razão $\Sigma\text{SEM}/\text{AVS}$ ultrapassou a razão crítica de 1 que, segundo o conceito estabelecido por vários autores, indica que estes sedimentos apresentam uma baixa ecotoxicidade, ou seja, bioensaios para a quantificação da taxa de mortalidade apresentariam resultados baixos.

O modelo SEM/AVS também permitiu distinguir áreas mais sensíveis da baía de Sepetiba devido a sua baixa concentração de sulfetos, as estações SP-125, próxima ao canal de navegação, SP-124, nas proximidades da Ilha de Jaguanum e SP-139, SP-140 e SP-141, na parte externa da baía, apresentaram concentrações de sulfetos abaixo de $0,2 \text{ mmol kg}^{-1}$. Nestes locais o despejo de sedimento contaminado poderá aumentar muito a toxicidade.

Zn e Cd apresentaram concentrações elevadas na maioria dos pontos estudados na baía. Especificamente para o Zn, algumas estações apresentaram o triplo da concentração indicada como nível 2 do CONAMA 454 (2012), mas devido às concentrações de sulfetos também elevadas, a toxicidade desta região ainda é baixa.

O mercúrio, metal extremamente tóxico, apresentou um aumento de concentração de 100% nos sedimentos localizados na costa norte da baía de Sepetiba, entre a Ilha da Madeira e a praia de Sepetiba, diferenciando-se dos demais

metais deste estudo, que apresentaram concentrações iguais ou menores àquelas relatadas pela FEEMA em 2001. No entanto, há uma forte correlação entre Hg e Sulfeto, o que sugere que este metal também fique imobilizado nesta região da baía, não estando biodisponível. As altas concentrações de sulfeto associadas a uma condição anóxida no fundo da baía de Sepetiba impedem a metilação do mercúrio, o que aumentaria muito a sua toxicidade.

Ainda em comparação com os dados relatados pela FEEMA em 2001, pôde-se perceber que Zn e Cd apresentaram reduções significativas nas concentrações, exceto na margem continental localizada entre os pontos de amostragem SP-123 e SP-102, onde as concentrações destes metais praticamente não sofreu variação, sugerindo outra fonte de contaminação, e não apenas a extinta Companhia Mercantil Industrial Ingá.

A análise de *cluster* demonstrou ser uma excelente ferramenta para uma melhor compreensão da distribuição dos contaminantes em toda área estudada, foi possível dividir a baía de Sepetiba em 4 grandes áreas com características bem distintas. Esta divisão é fundamental para futuros monitoramentos ambientais, por meio da análise deste parâmetro em conjunto com os outros determinados neste trabalho, foi possível propor uma redução na quantidade de estações de coleta, sem prejudicar a representatividade dos dados obtidos. A malha amostral utilizada pela FEEMA é composta por 39 estações, cobrindo toda a área da baía, a malha proposta contém apenas 19 estações, uma redução de aproximadamente 50%.

As ilhas de Itacuruçá e Jaguanum podem ser utilizadas como referência geográfica para dividir a baía de Sepetiba em duas grandes regiões: a oeste, na parte externa da baía, encontram-se sedimentos mais arenosos; a leste destas ilhas, na parte interna da baía, com sedimentos mais finos, predominantemente uma mistura de silte e argila. De modo geral, o mesmo critério de divisão pode ser adotado para o teor de matéria orgânica, sulfetos e metais tóxicos, sendo as concentrações destes mais altas na parte interna da baía do que em sua região oceânica.

A datação com ^{210}Pb foi útil para fornecer registros temporais da contaminação dos sedimentos, os modelos de cálculo propostos se adequaram bem aos dados gerados, permitindo uma identificação direta de fontes históricas. Foram observados picos de concentrações de Zn e Cd com datas coincidentes ao rompimento do dique de contenção da Companhia Mercantil Industrial Ingá. Em paralelo pôde-se perceber nos perfis destes metais que a concentração vem

reduzindo muito lentamente, estando ainda superiores aos valores apontados pelo nível 2 do CONAMA 454 (2012) como tóxicos à vida marinha, e também muito acima dos níveis anteriores às instalações das primeiras indústrias, na década de 1960.

As taxas de sedimentação estimadas para os testemunhos analisados variaram entre 0,26 e 0,86 g cm² ano⁻¹, os maiores valores foram encontrados próximo a foz dos principais rios afluentes e no extremo leste da baía, próximo ao bairro de Pedra de Guaratiba, o menor valor de taxa de sedimentação encontra-se na região central da Baía de Sepetiba.

Com os dados obtidos da determinação de Hg nos testemunhos T-13 e T18, localizados no transecto que liga a foz do rio Guandu ao centro da baía, foi possível perceber um aumento na concentração de Hg quase linear com o tempo, ou seja, o fluxo de Hg para a baía tem aumentado linearmente ao longo dos anos, e o aumento anual da concentração de Hg nos sedimentos superficiais estimada é de 0,62 µg kg⁻¹ ano⁻¹ para T-13 e 0,29 µg kg⁻¹ ano⁻¹ para T-18.

Em relação ao Hg, o principal desenvolvimento futuro é a realização de um estudo mais amplo, identificando novas fontes deste metal, bem como o aumento da emissão quando comparados os dados já relatados pela literatura. Este estudo permitirá a realização do balanço de massa de Hg na baía de Sepetiba e melhor compreensão acerca do aumento contínuo da concentração observado nas últimas décadas.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. 1995.

AGILENT TECHNOLOGIES. **Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry**. 2005.

ALLEN, H. E.; FU, G.; BOOTHMAN, W.; DITORO, D. M.; MAHONY, J. D. Draft Analytical Method for Determination of Acid Volatile Sulfide in Sediment. **Epa-821**, 1991.

ALLEN, H. E.; FU, G.; DENG, B. Analysis of acid-volatile sulfide and simultaneously extracted metals for the estimation of potential toxicity in aquatic sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 12, p. 1441–1453, 1993.

ANKLEY, G. T.; MATTSON, V. R.; LEONARD, E. N.; WEST, C. W.; BENNETT, J. L. Predicting the acute toxicity of copper in freshwater sediments: Evaluation of the role of acid-volatile sulfide. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 12, n. 2, p. 315–320, 1993. Wiley Periodicals, Inc.

ANKLEY, G. T.; DI TORO, D. M.; HANSEN, D. J.; BERRY, W. J. Technical basis and proposal for deriving sediment quality criteria for metals. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, n. 12, p. 2056–2066, 1996.

ANTAG. Desempenho Portuário - ANTAQ. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Portalv3/SDPV2ServicosOnline/index.html>>. Acesso em: 8/10/2018.

BARCELLOS, C. **Geodinâmica de Cadmio e Zinco na Baía de Sepetiba**, 1995. Universidade Federal Fluminense.

BARCELLOS, C.; LACERDA, L. D. Cadmium and Zinc Source Assessment in The Sepetiba Bay and Basin Region. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 29, p. 183–199, 1994.

BARCELLOS, C.; REZENDE, C. E.; PFEIFFER, W. C. Zn and Cd production and pollution in a Brazilian coastal region. **Marine Pollution Bulletin**, v. 22, n. 11, p. 558–561, 1991. Pergamon.

BORGES, H. V.; NITTROUER, C. A. Sedimentação costeira em um sistema de Ilha-de-Barreira tropical durante o último século na Baía de Sepetiba. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 5–14, 2016.

BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. **Erosão e conservação dos solos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BRATKIČ, A.; OGRINC, N.; KOTNIK, J.; *et al.* Mercury speciation driven by seasonal changes in a contaminated estuarine environment. **Environmental Research**, v. 125, p. 171–178, 2013. Academic Press.

BREDARIOL, C. S. O Aprendizado da Negociação em Conflitos Ambientais. ANPPAS. **Anais...** p.19, 2004.

BURTON, G. A. Sediment quality criteria in use around the world. **Limnology**, v. 3, p. 65–75, 2002.

CAMPOS, R. C. **Estudo da determinação de mercúrio por espectrofotometria de absorção atômica sem chama pela técnica do vapor frio**, 1980.

CASAS, A. M.; CRECELIUS, E. A. Relationship between acid volatile sulfide and the toxicity of zinc, lead and copper in marine sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 13, n. 3, p. 529–536, 1994. Wiley-Blackwell.

CAVALCANTI, G. Ternium conclui aquisição da CSA e siderúrgica muda de nome - Jornal O Globo. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/ternium-conclui-aquisicao-da-csa-siderurgica-muda-de-nome-21797404>>. Acesso em: 8/10/2018.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430**. 2011.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 454**. 2012.

CUNHA, C. DE L. DA N.; ROSMAN, P. C. C.; FERREIRA, A. P.; CARLOS DO NASCIMENTO MONTEIRO, T. Hydrodynamics and water quality models applied to Sepetiba Bay. **Continental Shelf Research**, v. 26, n. 16, p. 1940–1953, 2006. Pergamon.

ECOLOGUS. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA do Terminal Portuário Centro Atlântico**. 2005.

FAGNANI, E.; GUIMARÃES, J. R.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sulfetos volatilizáveis por acidificação e metais extraídos simultaneamente na avaliação de sedimentos de água doce. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1618–1628, 2011.

FEEMA. **Baía de Sepetiba - Rios da baixada da Baía de Sepetiba diagnóstico de qualidade de água e sedimentos**. 2006.

FERNANDES, L.; NAYAK, G. N.; ILANGO VAN, D.; BOROLE, D. V. Accumulation of sediment, organic matter and trace metals with space and time, in a creek along Mumbai coast, India. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 91, n. 3, p. 388–399, 2011. Elsevier Ltd.

FERREIRA, M. M. **ESTIMATIVA DOS FLUXOS DE ZN, CD, PB E CU NO SACO DO ENGENHO, BAÍA DE SEPETIBA, RJ**, 2010. Universidade Federal Fluminense.

FOLK, R. L. A Review of Grain-Size Parameters. **Sedimentology**, v. 6, n. 2, p. 73–93, 1966.

FONSECA, S. A. R.; GUERRA, J. V. Observações Dos Padrões De Circulação Nas Proximidades Do Canal De Navegação Da Baía De Sepetiba (RJ). X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. **Anais...**, 2011.

GAO, X.; YANG, Y.; WANG, C. Geochemistry of organic carbon and nitrogen in surface sediments of coastal Bohai Bay inferred from their ratios and stable isotopic signatures. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, p. 1148–1155, 2012.

GINÉ-ROSIAS, M. F. **Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma (ICP-MS)**. Piracicaba: CENA, 1999.

GODOY, J. M.; GODOY, M. L. D. P.; ARONNE, C. C. Application of inductively coupled plasma quadrupole mass spectrometry for the determination of monazite ages by lead isotope ratios. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 5, p. 969–975, 2007. Brazilian Chemical Society.

GODOY, J. M.; MOREIRA, I.; BRAGANÇA, M. J.; WANDERLEY, C.; MENDES, L. B. A study of Guanabara Bay sedimentation rates. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 227, n. 1–2, p. 157–160, 1998.

GODOY, J. M.; MOREIRA, I.; WANDERLEY, C.; SIMÕES FILHO, F. F.; MOZETO, A. A. An Alternative Method for the Determination of Excess ²¹⁰Pb in Sediments. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 75, n. 1–4, p. 111–115, 1998.

GOMES, F. DE C.; GODOY, J. M.; GODOY, M. L. D. P.; *et al.* Metal concentrations, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays: A comparative study. **Marine Pollution Bulletin**, v. 59, n. 4–7, p. 123–133, 2009. Elsevier Ltd.

Grupo ARG | Porto Sudeste. Disponível em: <<http://grupoarg.izap.ws/plus/modulos/conteudo/?tac=porto-sudeste>>. Acesso em: 22/9/2018.

HANSEN, D. J.; DITORO, D. M.; BERRY, W. J.; *et al.* Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the Protection of Benthic Organisms : Metal Mixtures (Cadmium , Copper , Lead , Nickel , Silver, and Zinc). EPA/600/R02/011. **Environmental Protection**, p. 121, 2005.

JORGE, P.; PORTELA, C. **ANÁLISE ELEMENTAR E ISOTÓPICA DE SEDIMENTOS ESTUARINOS DO RIO ALCABRICHEL (TORRES VEDRAS) E DA RIBEIRA DE BENSAFRIM (LAGOS)**. 2013.

LACERDA, L. D.; MOLISANI, M. M. Three decades of Cd and Zn contamination in Sepetiba Bay, SE Brazil: Evidence from the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae*. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 8, p. 974–977, 2006.

LARNER, B. L.; PALMER, A. S.; SEEN, A. J.; TOWNSEND, A. T. A comparison of an optimised sequential extraction procedure and dilute acid leaching of elements in anoxic sediments, including the effects of oxidation on sediment metal partitioning. **Analytica Chimica Acta**, v. 608, n. 2, p. 147–157, 2008. Elsevier.

LIMA, A. L. C. **Geocronologia de Hidrocarbonetos Poliaromáticos (PAHs), Estudo de Caso: Baía de Guanabara**, 1996. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

LIMAVERDE, A. M.; CAMPOS, R. C. DE. Redução seletiva aplicada à especiação de mercúrio em peixes: uma adaptação do método de Magos. **Química Nova**, v. 22, n. 4, p. 477–482, 1999. SBQ.

LONG, E. R.; MORGAN, L. G. The Potential for Biological Effects of Sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program. **NOAA Technical Memorandum**, 1990.

MACDONALD, D. D.; CARR, R. S.; CALDER, F. D.; LONG, E. R.; INGERSOLL, C. G. **Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters**. 1996.

MAGALHÃES, V. F.; PFEIFFER, W. C. Arsenic concentration in sediments near a metallurgical plant (Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 52, n. 1–2, p. 175–181, 1995. Elsevier.

MARINS, R. V.; DE, F. J.; FILHO, P.; ROBÉRIO, S.; MAIA, R. DISTRIBUIÇÃO DE MERCÚRIO TOTAL COMO INDICADOR DE POLUIÇÃO URBANA E INDUSTRIAL NA COSTA BRASILEIRA. **Quim. Nova**, v. 27, n. 5, p. 763–770, 2004.

MARINS, R. V.; LACERDA, L. D.; PARAQUETTI, H. H. M.; DE PAIVA, E. C.; VILLAS BOAS, R. C. Geochemistry of Mercury in Sediments of a Sub-Tropical Coastal Lagoon, Sepetiba Bay, Southeastern Brazil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol**, v. 61, p. 57–64, 1998.

MCBRIDE, M. B. Reactions Controlling Heavy Metal Solubility in Soils. . p.1–56, 1989. Springer, New York, NY.

MELLO, D. F. DE. **Pedra de Guaratiba: Um Lugar onde o Futuro Não Aconteceu**, 2015.

MESTRINHO, S. S. P. **Estudo do comportamento geoquímico dos metais pesados nos sedimentos da região estuarina do Rio Paraguaçu - Bahia**, 22. jun. 1998. São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo.

MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v. 114, n. 3–4, p. 289–302, 1994. Elsevier.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Programa de Desenvolvimento de Submarinos - PROSUB. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/prosub/>>. Acesso em: 8/10/2018.

MOLISANI, M. M.; MARINS, R. V.; MACHADO, W.; *et al.* Environmental changes in Sepetiba Bay, SE Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 4, n. 1, p. 17–27, 2004. Springer-Verlag.

MOORE, J.; BROOK, E.; WATER, C. J.-E. G. AND; 1989, U. Grain size partitioning of metals in contaminated, coarse-grained river floodplain sediment: Clark Fork River, Montana, USA. **Springer**, 1989.

MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. DE F. **Métodos de Coleta, Análises Físico-químicas e Ensaio Biológicos e Ecotoxicológicos de Sedimentos de Água Doce**. Cubo Multimídia & Propaganda, São Carlos, SP, Brazil, 2006.

OLIVEIRA, A. V. **Cronologia da deposição de metais pesados associados aos sedimentos da Baía da Guanabara**, 11. set. 2009. Rio de Janeiro, Brazil: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO.

PACS. **Companhia Siderúrgica do Atlântico - Impactos e Irregularidades na Zona Oeste do Rio de Janeiro**. 3º ed. Rio de Janeiro: PACS, 2012.

PACS. **Baía de Sepetiba: fronteira do desenvolvimentismo e os limites para a construção de alternativas**. 1º ed. Rio de Janeiro, 2015.

PARAQUETTI, H. H. M.; AYRES, G. A.; DE ALMEIDA, M. D.; MOLISANI, M. M.; LACERDA, L. D. DE. Mercury distribution, speciation and flux in the Sepetiba Bay tributaries, SE Brazil. **Water Research**, v. 38, n. 6, p. 1439–1448, 2004. Pergamon.

PARETKCSA. #pare TKCSA. Disponível em: <<http://paretkcsa.org/>>. Acesso em: 8/10/2018.

PERILLO, G. M. E. Chapter 2 Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. **Developments in Sedimentology**, v. 53, p. 17–47, 1995. Elsevier.

PINTO, L. M. DE O. **Implicações da Contaminação por Metais Pesados no Meio Ambiente da Baía de Sepetiba e Entorno: O Caso da Cia Mercantil Ingá**, 2005.

PRITCHARD, D. W. What is an estuary: Physical Viewpoint. , 1967. American Association for the Advancement of Science.

PROSUB - Programa de Desenvolvimento de Submarinos. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/prosub/>>. Acesso em: 27/3/2018.

REZENDE, C. E.; PFEIFFER, W. C.; MARTINELLI, L. A.; *et al.* Lignin phenols used to infer organic matter sources to Sepetiba Bay - RJ, Brasil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 87, n. 3, p. 479–486, 2010.

RODRIGUES, S. K.; ABESSA, D. M. S.; RODRIGUES, A. P. DE C.; *et al.* Sediment quality in a metal-contaminated tropical bay assessed with a multiple lines of evidence approach. **Environmental Pollution**, v. 228, p. 265–276, 2017. Elsevier Ltd.

RZĄSA, S.; OWCZARZAK, W. Methods for the Granulometric Analysis of Soil for Science and Practice. **Journal of Soil Science**, v. 46, n. 1, 2013.

SCHARTUP, A. T.; BALCOM, P. H.; MASON, R. P. Sediment-Porewater Partitioning, Total Sulfur, and Methylmercury Production in Estuaries. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 2, p. 954–960, 2014. American Chemical Society.

SCHLITZER, R. Ocen Data View, odv.awi.de, 2017.

SILVÉRIO, P. F.; FONSECA, A. L.; BOTTA-PASCHOAL, C. M. R.; MOZETO, A. A. Release, bioavailability and toxicity of metals in lacustrine sediments: A case study of reservoirs and lakes in Southeast Brazil. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 8, n. 3, p. 313–322, 2005. Taylor & Francis Group.

SIMPSON, S. L.; BATLEY, G. E.; CHARITON, A. A.; *et al.* **Handbook for Sediment Quality Assessment**. 2005.

SINDARIO. Sindicato das Agências de Navegação Marítima e Atividades Afins do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.sindario.com.br/portos/itaguaí---sepetiba>>. Acesso em: 8/10/2018.

SROGI, K. Developments in the Determination of Trace Elements by Atomic Spectroscopic Techniques. **Analytical Letters**, v. 41, n. 5, p. 677–724, 2008. Taylor & Francis Group.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares**. 1º ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1980.

SWARTZ, R. C. Consensus sediment quality guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 18, n. 4, p. 780–787, 1999. Wiley-Blackwell.

THOMAS, R. A Beginner's Guide to ICP-MS - Part I. **Spectroscopy**, v. 16, n. April, p. 38–42, 2001.

THORNTON, S. F.; MCMANUS, J. Application of Organic Carbon and Nitrogen Stable Isotope and C/N Ratios as Source Indicators of Organic Matter Provenance in Estuarine Systems: Evidence from the Tay Estuary, Scotland. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 38, n. 3, p. 219–233, 1994. Academic Press.

DI TORO, D. M.; MAHONY, J. D.; HANSEN, D. J.; *et al.* Toxicity of cadmium in sediments: The role of acid volatile sulfide. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 9, n. 12, p. 1487–1502, 1990. Wiley Periodicals, Inc.

DI TORO, D. M.; MAHONY, J. D.; HANSEN, D. J.; BERRY, W. J. A model of the oxidation of iron and cadmium sulfide in sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, n. 12, p. 2168–2186, 1996.

DI TORO, D. M.; ZARBA, C. S.; HANSEN, D. J.; *et al.* Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals using equilibrium partitioning. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 10, n. 12, p. 1541–1583, 1991.

USEPA. **376.2 Sulfide (Colorimetric, Methylene Blue)**. 1978.

USEPA. **3050B ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS**. 1996.

USEPA. **Equilibrium partitioning sediments guidelines (ESGs) for the protection of benthic organisms: metal mixtures (cadmium, copper, lead, nickel, silver and zinc)**. Washington, 2000.

USIMINAS. Usiminas iniciará recuperação de um dos maiores passivos ambientais do Brasil: Mineração Usiminas. Disponível em: <<https://www.usiminas.com/mineracao/usiminas-iniciara-recuperacao-de-um-dos-maiores-passivos-ambientais-do-brasil/>>. Acesso em: 10/10/2018.

VIÉGAS, R. N. **Desigualdade Ambiental e “ Zonas de Sacrifício ”**, 2006.

WANDERLEY, C. V. DE A. **Estudo comparativo de métodos de determinação de 210Pb atmosférico em sedimentos da Baía de Guanabara visando a avaliação da velocidade de sedimentação**, 1995. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

WELZ, B. **Atomic absorption spectrometry**. Wiley-VCH, 1999.

XU, G.; LIU, J.; HU, G.; JONELL, T. N.; CHEN, L. Distribution and source of organic matter in surface sediment from the muddy deposit along the Zhejiang coast, East China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, n. 1–2, p. 395–399, 2017.

ANEXO A – Umidade

Tabela 11: % de umidade em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba

Estação	Sedimento úmido (g)	Sedimento seco (g)	% umidade
SP-101	100,51	29,86	70,3%
SP-102	99,69	24,55	75,4%
SP-103	103,20	24,25	76,5%
SP-104	100,73	56,72	43,7%
SP-105	102,58	28,60	72,1%
SP-106	93,30	17,28	81,5%
SP-107	100,71	31,47	68,8%
SP-108	100,32	31,07	69,0%
SP-109	95,80	23,22	75,8%
SP-110	100,13	18,99	81,0%
SP-111	102,88	33,24	67,7%
SP-112	98,22	32,36	67,1%
SP-113	99,20	24,79	75,0%
SP-114	96,07	27,76	71,1%
SP-115	102,99	49,12	52,3%
SP-116	98,58	50,97	48,3%
SP-117	105,21	41,54	60,5%
SP-118	100,14	24,42	75,6%
SP-119	91,70	41,07	55,2%
SP-120	100,41	33,24	66,9%
SP-121	102,81	60,62	41,0%
SP-122	98,28	43,33	55,9%
SP-123	100,80	30,90	69,3%
SP-124	96,84	26,94	72,2%
SP-125	102,34	82,10	19,8%
SP-126	104,16	57,19	45,1%
SP-130	111,76	76,90	31,2%
SP-131	95,20	41,21	56,7%
SP-132	100,64	37,72	62,5%
SP-133	104,27	27,44	73,7%
SP-134	100,80	62,57	37,9%
SP-135	101,12	76,91	23,9%
SP-136	101,07	63,05	37,6%
SP-137	104,01	64,97	37,5%
SP-138	102,60	67,99	33,7%
SP-139	102,94	76,82	25,4%
SP-140	100,84	85,17	15,5%
SP-141	100,14	85,21	14,9%

Tabela 12: % de umidade em camadas de testemunhos sedimentares da Baía de Sepetiba

Profundidade média (cm)	T - 3	T - 8	T - 13	T - 18	T - 19	T - 20	T - 26	T - 28	T - 31
1	85,5%	74,9%	82,3%	76,0%	80,9%	84,4%	82,9%	84,3%	75,7%
3	78,4%	65,8%	77,4%	74,2%	80,2%	82,5%	82,1%	83,9%	73,1%
5	77,2%	60,4%	72,4%	71,7%	79,5%	80,8%	80,7%	82,2%	71,6%
7	75,6%	58,7%	70,7%	65,2%	76,1%	79,1%	80,4%	80,2%	69,1%
9	75,3%	54,5%	69,9%	64,5%	74,7%	77,9%	79,4%	79,1%	67,6%
11	73,9%	51,7%	68,4%	64,3%	74,3%	77,2%	78,7%	78,2%	68,8%
13	74,9%	49,1%	67,4%	65,3%	74,7%	76,6%	77,0%	76,8%	68,2%
15	72,7%	49,9%	67,8%	63,3%	73,5%	77,1%	77,8%	76,8%	67,8%
17	71,2%	47,9%	64,3%	60,7%	73,9%	77,4%	78,5%	76,0%	65,9%
19	69,3%	43,4%	65,6%	58,6%	74,9%	77,5%	75,5%	76,5%	60,8%
21	73,0%	41,1%	63,7%	57,3%	74,6%	77,4%	71,5%	75,7%	56,4%
23	72,0%	39,4%	64,0%	57,5%	72,5%	77,0%	69,8%	74,6%	55,5%
25	71,7%	38,7%	60,7%	55,3%	73,6%	75,2%	70,5%	74,0%	51,9%
27	71,4%	36,2%	59,6%	54,5%	73,4%	74,7%	69,8%	73,8%	54,0%
29	69,8%	32,4%	61,8%	54,0%	72,7%	74,7%	70,0%	73,9%	53,5%
31	67,8%	30,0%	56,3%	53,8%	72,2%	75,5%	70,5%	72,3%	50,4%
33	69,2%	31,6%	53,8%	50,7%	69,7%	76,7%	68,6%	69,1%	50,5%
35	68,0%	31,2%	51,1%	46,1%	66,3%	77,4%	64,7%	68,2%	49,7%
37	69,3%	31,2%	49,0%	41,3%	61,9%	77,3%	63,0%	67,4%	49,2%
39	68,7%	33,7%	41,6%	44,4%	59,6%	75,8%	61,9%	67,1%	
41	68,6%	36,6%	41,0%	40,6%	58,9%	75,9%	61,6%	65,9%	
43	69,1%	31,1%		39,1%	60,5%	75,0%	62,4%	66,8%	
45	68,7%	25,7%		39,3%	59,5%	74,0%	62,1%	67,8%	
47	68,6%	24,3%		38,4%	58,9%	63,4%	59,0%	66,8%	
49	68,1%			38,6%	56,0%	60,7%	58,5%	65,7%	
51	65,5%			39,1%	55,2%	61,8%	58,1%	64,5%	
53	67,4%			39,2%	54,6%	61,0%	57,7%	62,7%	
55	67,5%				51,0%	60,1%	56,5%	53,6%	
57	69,1%				49,2%	56,3%	56,6%	58,8%	
59	69,1%				52,1%	52,0%	56,7%	57,4%	
61	66,4%					46,8%		53,7%	
63						45,3%			
65						43,0%			

ANEXO B – Granulometria

Tabela 13: Determinação Granulométrica, SP-101.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,5	14	69,6
0,07	0,6	15	72,63
0,1	0,76	16	75,31
0,2	2,17	17	77,66
0,3	3,95	18	79,7
0,4	4,82	19	81,46
0,5	4,82	20	82,98
0,6	4,82	22	85,46
0,7	4,82	25	88,15
0,8	4,83	28	90,02
0,9	4,89	32	91,74
1	5,02	36	92,94
1,1	5,22	38	93,45
1,2	5,48	40	93,91
1,3	5,8	45	94,96
1,4	6,18	50	95,91
1,6	7,09	53	96,44
1,8	8,18	56	96,94
2	9,4	63	97,94
2,2	10,72	71	98,8
2,4	12,1	75	99,11
2,6	13,52	80	99,42
3	16,41	85	99,64
4	23,35	90	99,79
5	29,43	95	99,89
6	34,85	100	99,94
6,5	37,37	106	99,99
7	39,82	112	100
7,5	42,24	125	100
8	44,63	130	100
8,5	47,03	140	100
9	49,39	145	100
10	54	150	100
11	58,37		
12	62,44		
13	66,2		

SP - 101

amostra analisada		
argila	9,4	%
silte	88,54	%
areia/cascalho	2,06	%

Tabela 14: Determinação granulométrica, SP-102.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,43	18	75,77
0,07	0,5	19	78,1
0,1	0,63	20	80,2
0,2	1,82	22	83,82
0,3	3,32	25	87,98
0,4	4,06	28	91,02
0,5	4,06	32	93,9
0,6	4,06	36	95,89
0,7	4,06	38	96,65
0,8	4,06	40	97,29
0,9	4,1	45	98,46
1	4,19	50	99,19
1,1	4,34	53	99,48
1,2	4,55	56	99,68
1,3	4,8	63	99,92
1,4	5,11	71	100
1,6	5,85	75	100
1,8	6,76	80	100
2	7,77	85	100
2,2	8,88	90	100
2,4	10,05	95	100
2,6	11,26	100	100
3	13,75	106	100
4	19,88	112	100
5	25,38	125	100
6	30,34	130	100
6,5	32,67	140	100
7	34,95	145	100
7,5	37,19	150	100
8	39,43	160	100
8,5	41,67	170	100
9	43,89	180	100
10	48,27	190	100
11	52,51	200	100
12	56,57	212	100
13	60,41	242	100
14	64,01	250	100
15	67,35	300	100
16	70,41	400	100
17	73,22	500	100

SP - 102

amostra original		
argila	7,77	%
silte	92,15	%
areia/cascalho	0,08	%

Tabela 15: Determinação granulométrica, SP-103.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,47	18	74,08
0,07	0,55	19	76,57
0,1	0,69	20	78,91
0,2	1,99	22	83,09
0,3	3,63	25	88,15
0,4	4,42	28	91,97
0,5	4,42	32	95,5
0,6	4,42	36	97,7
0,7	4,42	38	98,39
0,8	4,45	40	98,91
0,9	4,53	45	99,64
1	4,68	50	99,9
1,1	4,89	53	99,97
1,2	5,16	56	100
1,3	5,48	63	100
1,4	5,84	71	100
1,6	6,71	75	100
1,8	7,74	80	100
2	8,86	85	100
2,2	10,08	90	100
2,4	11,33	95	100
2,6	12,62	100	100
3	15,2	106	100
4	21,3	112	100
5	26,59	125	100
6	31,29	130	100
6,5	33,48	140	100
7	35,61	145	100
7,5	37,71	150	100
8	39,78	160	100
8,5	41,85	170	100
9	43,9	180	100
10	47,93	190	100
11	51,82	200	100
12	55,55	212	100
13	59,11	242	100
14	62,48	250	100
15	65,66	300	100
16	68,64	400	100
17	71,44	500	100

SP - 103

amostra original		
argila	8,86	%
silte	91,14	%
areia/cascalho	---	%

Tabela 16: Determinação granulométrica, SP-106.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,06	18	8,96	600	54,16
0,07	0,06	19	9,36	700	69,86
0,1	0,06	20	9,74	800	81,76
0,2	0,14	22	10,43	900	89,26
0,3	0,27	25	11,31	1000	93,82
0,4	0,33	28	11,99	1100	96,57
0,5	0,33	32	12,61	1200	98,19
0,6	0,33	36	12,99	1300	99,07
0,7	0,33	38	13,12	1400	99,58
0,8	0,34	40	13,22	1500	99,86
0,9	0,36	45	13,42	1600	100
1	0,39	50	13,62	1700	100
1,1	0,42	53	13,76	1800	100
1,2	0,46	56	13,94	1900	100
1,3	0,5	63	14,5	2000	100
1,4	0,54	71	15,33		
1,6	0,63	75	15,8		
1,8	0,74	80	16,39		
2	0,85	85	16,95		
2,2	0,97	90	17,46		
2,4	1,09	95	17,9		
2,6	1,21	100	18,25		
3	1,46	106	18,56		
4	2,07	112	18,7		
5	2,64	125	18,7		
6	3,17	130	18,7		
6,5	3,42	140	18,7		
7	3,68	145	18,7		
7,5	3,93	150	18,7		
8	4,18	160	18,7		
8,5	4,44	170	18,7		
9	4,7	180	18,7		
10	5,21	190	18,7		
11	5,72	200	18,7		
12	6,22	212	18,7		
13	6,71	242	18,7		
14	7,19	250	18,7		
15	7,66	300	18,7		
16	8,11	400	21,4		
17	8,54	500	36,63		

amostra original		
argila	0,85	%
silte	13,65	%
areia/cascalho	85,50	%

Tabela 17: Determinação granulométrica, SP-105.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,22	18	34,57	600	51,62
0,07	0,24	19	35,69	700	59,01
0,1	0,29	20	36,73	800	67,66
0,2	0,87	22	38,61	900	75,9
0,3	1,62	25	40,99	1000	82,66
0,4	1,98	28	42,9	1100	87,76
0,5	1,98	32	44,77	1200	91,53
0,6	1,98	36	46	1300	94,23
0,7	1,98	38	46,42	1400	96,21
0,8	1,99	40	46,73	1500	97,66
0,9	2,03	45	47,15	1600	98,71
1	2,1	50	47,15	1700	99,22
1,1	2,2	53	47,15	1800	99,57
1,2	2,32	56	47,15	1900	99,81
1,3	2,46	63	47,15	2000	99,95
1,4	2,63	71	47,15	2100	100
1,6	3,03	75	47,15		
1,8	3,5	80	47,15		
2	4,02	85	47,15		
2,2	4,58	90	47,15		
2,4	5,16	95	47,15		
2,6	5,75	100	47,15		
3	6,94	106	47,15		
4	9,77	112	47,15		
5	12,24	125	47,15		
6	14,45	130	47,15		
6,5	15,48	140	47,15		
7	16,49	145	47,15		
7,5	17,49	150	47,15		
8	18,47	160	47,15		
8,5	19,46	170	47,15		
9	20,44	180	47,15		
10	22,35	190	47,15		
11	24,2	200	47,15		
12	25,97	212	47,15		
13	27,65	242	47,15		
14	29,23	250	47,15		
15	30,71	300	47,15		
16	32,09	400	47,15		
17	33,37	500	47,15		

SP - 105		
amostra original		
argila	4,02	%
silte	43,13	%
areia/cascalho	52,85	%

Tabela 18: Determinação granulométrica, SP-106.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,42	18	70,36
0,07	0,49	19	73,11
0,1	0,62	20	75,7
0,2	1,79	22	80,41
0,3	3,27	25	86,18
0,4	3,99	28	90,57
0,5	3,99	32	94,68
0,6	3,99	36	97,26
0,7	3,99	38	98,08
0,8	4,01	40	98,69
0,9	4,07	45	99,56
1	4,18	50	99,88
1,1	4,35	53	99,96
1,2	4,57	56	100
1,3	4,84	63	100
1,4	5,14	71	100
1,6	5,88	75	100
1,8	6,76	80	100
2	7,73	85	100
2,2	8,78	90	100
2,4	9,87	95	100
2,6	10,99	100	100
3	13,26	106	100
4	18,66	112	100
5	23,43	125	100
6	27,73	130	100
6,5	29,76	140	100
7	31,75	145	100
7,5	33,72	150	100
8	35,68	160	100
8,5	37,65	170	100
9	39,61	180	100
10	43,5	190	100
11	47,32	200	100
12	51,03	212	100
13	54,61	242	100
14	58,06	250	100
15	61,36	300	100
16	64,5	400	100
17	67,5	500	100

SP - 106

amostra original		
argila	7,73	%
silte	92,27	%
areia/cascalho	---	%

Tabela 19: Determinação granulométrica, SP-107.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,34	18	67,62
0,07	0,39	19	70,05
0,1	0,49	20	72,24
0,2	1,42	22	75,98
0,3	2,61	25	80,17
0,4	3,19	28	83,09
0,5	3,19	32	85,67
0,6	3,19	36	87,28
0,7	3,19	38	87,84
0,8	3,19	40	88,3
0,9	3,23	45	89,18
1	3,31	50	89,93
1,1	3,43	53	90,35
1,2	3,59	56	90,76
1,3	3,79	63	91,69
1,4	4,02	71	92,79
1,6	4,59	75	93,37
1,8	5,28	80	94,09
2	6,06	85	94,8
2,2	6,9	90	95,49
2,4	7,8	95	96,13
2,6	8,73	100	96,74
3	10,65	106	97,38
4	15,44	112	97,94
5	19,83	125	98,86
6	23,88	130	99,12
6,5	25,81	140	99,51
7	27,74	145	99,64
7,5	29,67	150	99,74
8	31,63	160	99,88
8,5	33,64	170	99,96
9	35,67	180	100
10	39,77	190	100
11	43,87	200	100
12	47,87	212	100
13	51,74	242	100
14	55,41	250	100
15	58,85	300	100
16	62,03	400	100
17	64,95	500	100

SP-107

amostra original		
argila	6,06	%
silte	85,63	%
areia/cascalho	8,31	%

Tabela 20: Determinação granulométrica, SP-108.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,48	18	81,37
0,07	0,56	19	83,31
0,1	0,72	20	85
0,2	2,06	22	87,77
0,3	3,75	25	90,81
0,4	4,59	28	92,99
0,5	4,59	32	95,03
0,6	4,59	36	96,48
0,7	4,59	38	97,06
0,8	4,59	40	97,57
0,9	4,64	45	98,55
1	4,74	50	99,21
1,1	4,91	53	99,48
1,2	5,15	56	99,68
1,3	5,44	63	99,92
1,4	5,78	71	100
1,6	6,62	75	100
1,8	7,63	80	100
2	8,77	85	100
2,2	10	90	100
2,4	11,31	95	100
2,6	12,66	100	100
3	15,42	106	100
4	22,15	112	100
5	28,12	125	100
6	33,48	130	100
6,5	36	140	100
7	38,47	145	100
7,5	40,93	150	100
8	43,4	160	100
8,5	45,89	170	100
9	48,38	180	100
10	53,27	190	100
11	57,97	200	100
12	62,39	212	100
13	66,49	242	100
14	70,22	250	100
15	73,57	300	100
16	76,52	400	100
17	79,11	500	100

SP - 108

amostra original		
argila	8,77	%
silte	91,15	%
areia/cascalho	0,08	%

Tabela 21: Determinação granulométrica, SP-109.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,42	18	75,01
0,07	0,5	19	77,44
0,1	0,62	20	79,68
0,2	1,8	22	83,63
0,3	3,28	25	88,35
0,4	4,01	28	91,9
0,5	4,01	32	95,25
0,6	4,01	36	97,42
0,7	4,01	38	98,15
0,8	4,02	40	98,7
0,9	4,09	45	99,54
1	4,21	50	99,87
1,1	4,4	53	99,96
1,2	4,64	56	100
1,3	4,93	63	100
1,4	5,27	71	100
1,6	6,09	75	100
1,8	7,05	80	100
2	8,13	85	100
2,2	9,29	90	100
2,4	10,5	95	100
2,6	11,75	100	100
3	14,28	106	100
4	20,37	112	100
5	25,73	125	100
6	30,54	130	100
6,5	32,79	140	100
7	35	145	100
7,5	37,17	150	100
8	39,34	160	100
8,5	41,51	170	100
9	43,66	180	100
10	47,91	190	100
11	52,02	200	100
12	55,96	212	100
13	59,7	242	100
14	63,23	250	100
15	66,52	300	100
16	69,57	400	100
17	72,39	500	100

SP - 109

amostra original		
argila	8,13	%
silte	91,87	%
areia/cascalho	---	%

Tabela 22: Determinação granulométrica, SP-110.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,44	18	71,36
0,07	0,51	19	73,98
0,1	0,65	20	76,43
0,2	1,86	22	80,85
0,3	3,4	25	86,27
0,4	4,15	28	90,43
0,5	4,15	32	94,41
0,6	4,15	36	96,99
0,7	4,15	38	97,85
0,8	4,16	40	98,5
0,9	4,22	45	99,47
1	4,33	50	99,85
1,1	4,5	53	99,95
1,2	4,72	56	100
1,3	4,99	63	100
1,4	5,3	71	100
1,6	6,05	75	100
1,8	6,94	80	100
2	7,93	85	100
2,2	8,99	90	100
2,4	10,11	95	100
2,6	11,26	100	100
3	13,58	106	100
4	19,17	112	100
5	24,08	125	100
6	28,49	130	100
6,5	30,55	140	100
7	32,57	145	100
7,5	34,56	150	100
8	36,56	160	100
8,5	38,56	170	100
9	40,56	180	100
10	44,53	190	100
11	48,42	200	100
12	52,19	212	100
13	55,82	242	100
14	59,29	250	100
15	62,57	300	100
16	65,67	400	100
17	68,6	500	100

SP - 110

amostra original		
argila	7,93	%
silte	92,07	%
areia/cascalho	---	%

Tabela 23: Determinação granulométrica, SP-111.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,3	18	51,21
0,07	0,33	19	53,22
0,1	0,4	20	55,11
0,2	1,17	22	58,58
0,3	2,17	25	63,09
0,4	2,65	28	67
0,5	2,65	32	71,62
0,6	2,65	36	75,79
0,7	2,65	38	77,76
0,8	2,69	40	79,65
0,9	2,78	45	83,98
1	2,9	50	87,71
1,1	3,06	53	89,65
1,2	3,26	56	91,37
1,3	3,48	63	94,62
1,4	3,73	71	97,12
1,6	4,32	75	97,95
1,8	4,99	80	98,71
2	5,72	85	99,23
2,2	6,5	90	99,58
2,4	7,3	95	99,78
2,6	8,11	100	99,9
3	9,74	106	99,97
4	13,55	112	100
5	16,81	125	100
6	19,7	130	100
6,5	21,05	140	100
7	22,38	145	100
7,5	23,72	150	100
8	25,08	160	100
8,5	26,47	170	100
9	27,87	180	100
10	30,73	190	100
11	33,59	200	100
12	36,42	212	100
13	39,19	242	100
14	41,86	250	100
15	44,4	300	100
16	46,8	400	100
17	49,07	500	100

SP - 111

amostra original		
argila	5,72	%
silte	88,90	%
areia/cascalho	5,38	%

Tabela 24: Determinação granulométrica, SP-112.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,46	18	79,71
0,07	0,53	19	81,65
0,1	0,67	20	83,36
0,2	1,95	22	86,19
0,3	3,55	25	89,36
0,4	4,35	28	91,62
0,5	4,35	32	93,72
0,6	4,35	36	95,17
0,7	4,35	38	95,74
0,8	4,35	40	96,24
0,9	4,4	45	97,26
1	4,5	50	98,05
1,1	4,67	53	98,44
1,2	4,9	56	98,77
1,3	5,19	63	99,35
1,4	5,53	71	99,74
1,6	6,36	75	99,85
1,8	7,36	80	99,93
2	8,49	85	99,98
2,2	9,72	90	100
2,4	11,01	95	100
2,6	12,35	100	100
3	15,11	106	100
4	21,89	112	100
5	27,95	125	100
6	33,41	130	100
6,5	35,97	140	100
7	38,47	145	100
7,5	40,93	150	100
8	43,38	160	100
8,5	45,83	170	100
9	48,25	180	100
10	52,97	190	100
11	57,44	200	100
12	61,63	212	100
13	65,49	242	100
14	69,01	250	100
15	72,18	300	100
16	75	400	100
17	77,5	500	100

SP - 112

amostra original		
argila	8,49	%
silte	90,86	%
areia/cascalho	0,65	%

Tabela 25: Determinação granulométrica, SP-113.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,46	18	80,03
0,07	0,55	19	82,07
0,1	0,69	20	83,89
0,2	1,99	22	87,01
0,3	3,62	25	90,67
0,4	4,42	28	93,42
0,5	4,42	32	96,05
0,6	4,42	36	97,77
0,7	4,42	38	98,38
0,8	4,43	40	98,85
0,9	4,49	45	99,58
1	4,6	50	99,88
1,1	4,79	53	99,96
1,2	5,04	56	100
1,3	5,34	63	100
1,4	5,7	71	100
1,6	6,57	75	100
1,8	7,61	80	100
2	8,77	85	100
2,2	10,04	90	100
2,4	11,37	95	100
2,6	12,75	100	100
3	15,55	106	100
4	22,37	112	100
5	28,42	125	100
6	33,86	130	100
6,5	36,4	140	100
7	38,88	145	100
7,5	41,33	150	100
8	43,75	160	100
8,5	46,17	170	100
9	48,56	180	100
10	53,21	190	100
11	57,64	200	100
12	61,79	212	100
13	65,64	242	100
14	69,15	250	100
15	72,34	300	100
16	75,19	400	100
17	77,75	500	100

SP - 113

amostra original		
argila	8,77	%
silte	91,23	%
areia/cascalho	---	%

Tabela 26: Determinação granulométrica, SP-114.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,33	18	60,75
0,07	0,38	19	63,1
0,1	0,47	20	65,36
0,2	1,37	22	69,65
0,3	2,51	25	75,56
0,4	3,07	28	80,73
0,5	3,07	32	86,28
0,6	3,07	36	90,48
0,7	3,07	38	92,19
0,8	3,09	40	93,66
0,9	3,17	45	96,44
1	3,28	50	98,15
1,1	3,45	53	98,81
1,2	3,66	56	99,29
1,3	3,91	63	99,82
1,4	4,2	71	100
1,6	4,88	75	100
1,8	5,67	80	100
2	6,54	85	100
2,2	7,48	90	100
2,4	8,45	95	100
2,6	9,45	100	100
3	11,46	106	100
4	16,27	112	100
5	20,54	125	100
6	24,41	130	100
6,5	26,24	140	100
7	28,03	145	100
7,5	29,78	150	100
8	31,52	160	100
8,5	33,24	170	100
9	34,94	180	100
10	38,27	190	100
11	41,49	200	100
12	44,59	212	100
13	47,56	242	100
14	50,42	250	100
15	53,16	300	100
16	55,79	400	100
17	58,32	500	100

SP - 114

amostra original		
argila	6,54	%
silte	93,28	%
areia/cascalho	0,18	%

Tabela 27: Determinação granulométrica, SP-115.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,26	18	50,8
0,07	0,29	19	52,97
0,1	0,35	20	55,03
0,2	1,04	22	58,86
0,3	1,92	25	63,89
0,4	2,35	28	68,15
0,5	2,35	32	72,8
0,6	2,35	36	76,5
0,7	2,35	38	78,07
0,8	2,38	40	79,5
0,9	2,43	45	82,53
1	2,53	50	84,98
1,1	2,66	53	86,25
1,2	2,82	56	87,4
1,3	3,01	63	89,74
1,4	3,23	71	91,92
1,6	3,74	75	92,85
1,8	4,34	80	93,88
2	5	85	94,8
2,2	5,71	90	95,6
2,4	6,45	95	96,31
2,6	7,21	100	96,94
3	8,74	106	97,58
4	12,44	112	98,11
5	15,73	125	98,97
6	18,73	130	99,2
6,5	20,15	140	99,55
7	21,54	145	99,67
7,5	22,93	150	99,76
8	24,33	160	99,89
8,5	25,74	170	99,96
9	27,16	180	100
10	30,01	190	100
11	32,85	200	100
12	35,66	212	100
13	38,41	242	100
14	41,09	250	100
15	43,67	300	100
16	46,15	400	100
17	48,53	500	100

amostra analisada		
argila	5,00	%
silte	84,74	%
areia/cascalho	10,26	%

Massa Total	10,1863	g
Massa > 200 µm	4,6185	g

SP - 115

amostra original		
argila	2,73	%
silte	46,32	%
areia/cascalho	50,95	%

Tabela 28: Determinação granulométrica, SP-116.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,25	18	41,76
0,07	0,27	19	43,16
0,1	0,32	20	44,45
0,2	0,95	22	46,69
0,3	1,79	25	49,38
0,4	2,19	28	51,44
0,5	2,19	32	53,55
0,6	2,19	36	55,16
0,7	2,19	38	55,83
0,8	2,22	40	56,44
0,9	2,29	45	57,74
1	2,39	50	58,81
1,1	2,51	53	59,36
1,2	2,66	56	59,87
1,3	2,84	63	60,9
1,4	3,04	71	61,94
1,6	3,49	75	62,44
1,8	4,02	80	63,08
2	4,6	85	63,75
2,2	5,21	90	64,49
2,4	5,85	95	65,29
2,6	6,5	100	66,16
3	7,82	106	67,28
4	10,99	112	68,46
5	13,78	125	71,22
6	16,29	130	72,31
6,5	17,47	140	74,5
7	18,64	145	75,59
7,5	19,81	150	76,67
8	20,99	160	78,74
8,5	22,19	170	80,67
9	23,4	180	82,45
10	25,81	190	84,03
11	28,2	200	85,45
12	30,51	212	86,97
13	32,72	242	89,97
14	34,81	250	90,62
15	36,76	300	93,74
16	38,57	400	97,67
17	40,23	500	99,67

SP - 116

amostra original		
argila	4,60	%
silte	56,30	%
areia/cascalho	39,10	%

Tabela 29: Determinação granulométrica, SP-117.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,28	18	56,95
0,07	0,31	19	58,94
0,1	0,38	20	60,77
0,2	1,12	22	63,97
0,3	2,09	25	67,77
0,4	2,55	28	70,64
0,5	2,55	32	73,45
0,6	2,55	36	75,49
0,7	2,55	38	76,31
0,8	2,59	40	77,02
0,9	2,67	45	78,49
1	2,79	50	79,64
1,1	2,95	53	80,23
1,2	3,14	56	80,75
1,3	3,37	63	81,85
1,4	3,62	71	83,02
1,6	4,21	75	83,62
1,8	4,89	80	84,41
2	5,64	85	85,25
2,2	6,45	90	86,14
2,4	7,28	95	87,1
2,6	8,14	100	88,08
3	9,9	106	89,25
4	14,19	112	90,37
5	18,08	125	92,59
6	21,65	130	93,34
6,5	23,35	140	94,7
7	25,02	145	95,31
7,5	26,68	150	95,86
8	28,34	160	96,83
8,5	30,01	170	97,62
9	31,68	180	98,25
10	34,99	190	98,72
11	38,24	200	99,08
12	41,38	212	99,4
13	44,41	242	99,83
14	47,27	250	99,88
15	49,96	300	100
16	52,47	400	100
17	54,8	500	100

SP - 117

amostra original		
argila	5,64	%
silte	76,21	%
areia/cascalho	18,15	%

Tabela 30: Determinação granulométrica, SP-118.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,45	18	72,93
0,07	0,52	19	75,39
0,1	0,66	20	77,69
0,2	1,91	22	81,83
0,3	3,47	25	86,94
0,4	4,24	28	90,88
0,5	4,24	32	94,66
0,6	4,24	36	97,12
0,7	4,24	38	97,95
0,8	4,26	40	98,57
0,9	4,33	45	99,5
1	4,46	50	99,86
1,1	4,66	53	99,95
1,2	4,91	56	100
1,3	5,21	63	100
1,4	5,56	71	100
1,6	6,39	75	100
1,8	7,37	80	100
2	8,45	85	100
2,2	9,62	90	100
2,4	10,84	95	100
2,6	12,09	100	100
3	14,62	106	100
4	20,62	112	100
5	25,86	125	100
6	30,51	130	100
6,5	32,68	140	100
7	34,79	145	100
7,5	36,87	150	100
8	38,93	160	100
8,5	41	170	100
9	43,04	180	100
10	47,05	190	100
11	50,92	200	100
12	54,62	212	100
13	58,15	242	100
14	61,49	250	100
15	64,63	300	100
16	67,57	400	100
17	70,34	500	100

SP - 118

amostra original		
argila	8,45	%
silte	91,55	%
areia/cascalho	---	%

Tabela 31: Determinação granulométrica, SP-119.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,27	18	50,19
0,07	0,3	19	51,99
0,1	0,37	20	53,68
0,2	1,09	22	56,73
0,3	2,02	25	60,66
0,4	2,47	28	64,01
0,5	2,47	32	67,91
0,6	2,47	36	71,35
0,7	2,47	38	72,94
0,8	2,5	40	74,46
0,9	2,57	45	78,02
1	2,68	50	81,26
1,1	2,82	53	83,05
1,2	2,99	56	84,71
1,3	3,19	63	88,15
1,4	3,42	71	91,39
1,6	3,95	75	92,77
1,8	4,56	80	94,29
2	5,23	85	95,57
2,2	5,95	90	96,64
2,4	6,7	95	97,5
2,6	7,46	100	98,19
3	9	106	98,83
4	12,71	112	99,28
5	16,02	125	99,79
6	19,06	130	99,89
6,5	20,51	140	100
7	21,94	145	100
7,5	23,38	150	100
8	24,83	160	100
8,5	26,3	170	100
9	27,78	180	100
10	30,71	190	100
11	33,6	200	100
12	36,38	212	100
13	39,06	242	100
14	41,59	250	100
15	43,96	300	100
16	46,19	400	100
17	48,26	500	100

SP - 119

amostra original		
argila	5,23	%
silte	82,92	%
areia/cascalho	11,85	%

Tabela 32: Determinação granulométrica, SP-120.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,36	18	64,66
0,07	0,42	19	66,62
0,1	0,52	20	68,41
0,2	1,52	22	71,51
0,3	2,79	25	75,22
0,4	3,41	28	78,11
0,5	3,41	32	81,22
0,6	3,41	36	83,82
0,7	3,41	38	85,01
0,8	3,42	40	86,14
0,9	3,47	45	88,75
1	3,56	50	91,07
1,1	3,71	53	92,32
1,2	3,9	56	93,45
1,3	4,13	63	95,68
1,4	4,41	71	97,51
1,6	5,07	75	98,17
1,8	5,86	80	98,8
2	6,75	85	99,26
2,2	7,71	90	99,57
2,4	8,72	95	99,77
2,6	9,76	100	99,89
3	11,88	106	99,97
4	17,05	112	100
5	21,67	125	100
6	25,86	130	100
6,5	27,85	140	100
7	29,79	145	100
7,5	31,72	150	100
8	33,64	160	100
8,5	35,57	170	100
9	37,49	180	100
10	41,27	190	100
11	44,92	200	100
12	48,4	212	100
13	51,68	242	100
14	54,74	250	100
15	57,56	300	100
16	60,14	400	100
17	62,51	500	100

SP - 120

amostra original		
argila	6,75	%
silte	88,93	%
areia/cascalho	4,32	%

Tabela 33: Determinação granulométrica, SP-121.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,22	18	41,51
0,07	0,24	19	42,91
0,1	0,29	20	44,18
0,2	0,85	22	46,39
0,3	1,6	25	48,99
0,4	1,96	28	50,95
0,5	1,96	32	52,92
0,6	1,96	36	54,41
0,7	1,96	38	55,04
0,8	1,98	40	55,61
0,9	2,05	45	56,86
1	2,13	50	57,92
1,1	2,25	53	58,49
1,2	2,38	56	59,02
1,3	2,55	63	60,17
1,4	2,73	71	61,42
1,6	3,15	75	62,05
1,8	3,64	80	62,88
2	4,17	85	63,75
2,2	4,75	90	64,68
2,4	5,35	95	65,69
2,6	5,96	100	66,74
3	7,21	106	68,07
4	10,26	112	69,46
5	13,03	125	72,57
6	15,6	130	73,78
6,5	16,82	140	76,16
7	18,04	145	77,34
7,5	19,26	150	78,49
8	20,48	160	80,67
8,5	21,73	170	82,67
9	22,98	180	84,45
10	25,46	190	86
11	27,88	200	87,36
12	30,22	212	88,77
13	32,46	242	91,52
14	34,56	250	92,11
15	36,52	300	94,9
16	38,33	400	98,13
17	39,99	500	99,74

SP - 121

amostra original		
argila	4,17	%
silte	56,00	%
areia/cascalho	39,83	%

Tabela 34: Determinação granulométrica, SP-122.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,21	18	40,6
0,07	0,23	19	42,4
0,1	0,28	20	44,15
0,2	0,82	22	47,51
0,3	1,54	25	52,27
0,4	1,89	28	56,66
0,5	1,89	32	61,79
0,6	1,89	36	66,11
0,7	1,89	38	68,01
0,8	1,91	40	69,73
0,9	1,97	45	73,42
1	2,05	50	76,35
1,1	2,17	53	77,85
1,2	2,3	56	79,19
1,3	2,46	63	81,86
1,4	2,64	71	84,41
1,6	3,05	75	85,55
1,8	3,54	80	86,87
2	4,06	85	88,09
2,2	4,63	90	89,21
2,4	5,21	95	90,23
2,6	5,81	100	91,17
3	7,03	106	92,19
4	9,95	112	93,11
5	12,55	125	94,78
6	14,92	130	95,33
6,5	16,05	140	96,27
7	17,17	145	96,67
7,5	18,28	150	97,04
8	19,4	160	97,67
8,5	20,54	170	98,18
9	21,69	180	98,59
10	23,99	190	98,93
11	26,27	200	99,19
12	28,51	212	99,44
13	30,7	242	99,8
14	32,81	250	99,86
15	34,86	300	100
16	36,84	400	100
17	38,75	500	100

amostra analisada		
argila	4,06	%
silte	77,80	%
areia/cascalho	18,14	%

Massa Total	6,6107	g
Massa > 200 μm	1,7658	g

SP - 122

amostra original		
argila	2,98	%
silte	57,02	%
areia/cascalho	40,01	%

Tabela 35: Determinação granulométrica, SP-123.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,32	18	53,89
0,07	0,36	19	55,95
0,1	0,44	20	57,86
0,2	1,29	22	61,29
0,3	2,38	25	65,59
0,4	2,91	28	69,14
0,5	2,91	32	73,14
0,6	2,91	36	76,58
0,7	2,91	38	78,16
0,8	2,93	40	79,66
0,9	2,98	45	83,17
1	3,07	50	86,42
1,1	3,19	53	88,19
1,2	3,35	56	89,82
1,3	3,54	63	93,03
1,4	3,76	71	95,78
1,6	4,28	75	96,82
1,8	4,9	80	97,86
2	5,58	85	98,64
2,2	6,32	90	99,2
2,4	7,08	95	99,55
2,6	7,87	100	99,78
3	9,47	106	99,94
4	13,33	112	100
5	16,75	125	100
6	19,86	130	100
6,5	21,34	140	100
7	22,8	145	100
7,5	24,27	150	100
8	25,76	160	100
8,5	27,29	170	100
9	28,84	180	100
10	31,96	190	100
11	35,1	200	100
12	38,18	212	100
13	41,17	242	100
14	44,04	250	100
15	46,75	300	100
16	49,3	400	100
17	51,68	500	100

SP - 123

amostra original		
argila	5,58	%
silte	87,45	%
areia/cascalho	6,97	%

Tabela 36: Determinação granulométrica, SP-124.

Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (μm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,43	18	72,18
0,07	0,5	19	74,11
0,1	0,62	20	75,85
0,2	1,8	22	78,85
0,3	3,3	25	82,49
0,4	4,03	28	85,47
0,5	4,03	32	88,85
0,6	4,03	36	91,73
0,7	4,03	38	92,98
0,8	4,04	40	94,12
0,9	4,09	45	96,43
1	4,2	50	98,03
1,1	4,37	53	98,7
1,2	4,59	56	99,19
1,3	4,85	63	99,79
1,4	5,16	71	100
1,6	5,91	75	100
1,8	6,81	80	100
2	7,81	85	100
2,2	8,89	90	100
2,4	10,03	95	100
2,6	11,2	100	100
3	13,59	106	100
4	19,4	112	100
5	24,61	125	100
6	29,38	130	100
6,5	31,64	140	100
7	33,87	145	100
7,5	36,09	150	100
8	38,3	160	100
8,5	40,53	170	100
9	42,74	180	100
10	47,06	190	100
11	51,19	200	100
12	55,06	212	100
13	58,65	242	100
14	61,95	250	100
15	64,94	300	100
16	67,62	400	100
17	70,02	500	100

SP - 124

amostra original		
argila	7,81	%
silte	91,98	%
areia/cascalho	0,21	%

Tabela 37: Determinação granulométrica, SP-125.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,1	18	15,35	600	100
0,07	0,1	19	15,85	700	100
0,1	0,1	20	16,31	800	100
0,2	0,23	22	17,12	900	100
0,3	0,44	25	18,13	1000	100
0,4	0,53	28	18,97		
0,5	0,53	32	19,9		
0,6	0,53	36	20,71		
0,7	0,53	38	21,08		
0,8	0,58	40	21,44		
0,9	0,64	45	22,27		
1	0,71	50	23,05		
1,1	0,79	53	23,5		
1,2	0,87	56	23,94		
1,3	0,96	63	24,91		
1,4	1,06	71	26		
1,6	1,27	75	26,53		
1,8	1,5	80	27,21		
2	1,74	85	27,89		
2,2	1,99	90	28,58		
2,4	2,24	95	29,29		
2,6	2,49	100	30,02		
3	2,98	106	30,9		
4	4,12	112	31,81		
5	5,12	125	33,82		
6	6,03	130	34,61		
6,5	6,46	140	36,21		
7	6,89	145	37,02		
7,5	7,33	150	37,83		
8	7,77	160	39,46		
8,5	8,21	170	41,11		
9	8,67	180	42,78		
10	9,57	190	44,46		
11	10,45	200	46,16		
12	11,3	212	48,22		
13	12,11	242	53,53		
14	12,86	250	54,99		
15	13,56	300	64,87		
16	14,21	400	86,01		
17	14,8	500	98		

amostra analisada		
argila	1,74	%
silte	23,17	%
areia/cascalho	75,09	%

Massa Total	16,364	g
Massa > 200 µm	9,7655	g

SP - 125

amostra original		
argila	0,70	%
silte	9,34	%
areia/cascalho	89,96	%

Tabela 38: Determinação granulométrica, SP-126.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,21	18	43,18	600	100
0,07	0,22	19	44,74	700	100
0,1	0,26	20	46,19	800	100
0,2	0,78	22	48,74	900	100
0,3	1,48	25	51,85	1000	100
0,4	1,81	28	54,29		
0,5	1,81	32	56,85		
0,6	1,81	36	58,88		
0,7	1,81	38	59,76		
0,8	1,85	40	60,57		
0,9	1,92	45	62,37		
1	2,02	50	63,95		
1,1	2,15	53	64,82		
1,2	2,3	56	65,65		
1,3	2,47	63	67,47		
1,4	2,66	71	69,4		
1,6	3,11	75	70,33		
1,8	3,63	80	71,46		
2	4,19	85	72,57		
2,2	4,79	90	73,65		
2,4	5,42	95	74,7		
2,6	6,06	100	75,71		
3	7,37	106	76,88		
4	10,59	112	77,99		
5	13,48	125	80,18		
6	16,1	130	80,93		
6,5	17,34	140	82,3		
7	18,55	145	82,91		
7,5	19,77	150	83,47		
8	21	160	84,49		
8,5	22,25	170	85,35		
9	23,5	180	86,09		
10	26,03	190	86,71		
11	28,53	200	87,27		
12	30,97	212	87,86		
13	33,33	242	89,27		
14	35,57	250	89,64		
15	37,68	300	92,04		
16	39,65	400	96,69		
17	41,48	500	99,53		

SP - 126		
amostra original		
argila	4,19	%
silte	63,28	%
areia/cascalho	32,53	%

Tabela 39: Determinação granulométrica, SP-130.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,24	18	29,73	600	100
0,07	0,25	19	30,89	700	100
0,1	0,27	20	31,97	800	100
0,2	0,57	22	33,93	900	100
0,3	0,99	25	36,4	1000	100
0,4	1,18	28	38,44		
0,5	1,18	32	40,64		
0,6	1,18	36	42,42		
0,7	1,18	38	43,19		
0,8	1,23	40	43,91		
0,9	1,31	45	45,51		
1	1,4	50	46,95		
1,1	1,51	53	47,77		
1,2	1,64	56	48,59		
1,3	1,78	63	50,53		
1,4	1,93	71	52,9		
1,6	2,26	75	54,18		
1,8	2,64	80	55,84		
2	3,04	85	57,56		
2,2	3,46	90	59,32		
2,4	3,89	95	61,13		
2,6	4,33	100	62,94		
3	5,22	106	65,09		
4	7,34	112	67,19		
5	9,24	125	71,47		
6	10,98	130	72,98		
6,5	11,81	140	75,73		
7	12,63	145	76,96		
7,5	13,45	150	78,11		
8	14,28	160	80,14		
8,5	15,13	170	81,86		
9	15,99	180	83,3		
10	17,71	190	84,47		
11	19,42	200	85,45		
12	21,1	212	86,43		
13	22,73	242	88,29		
14	24,29	250	88,7		
15	25,78	300	91,09		
16	27,18	400	96,29		
17	28,49	500	99,47		

amostra analisada		
argila	3,04	%
silte	47,49	%
areia/cascalho	49,47	%

Massa Total	9,1927	g
Massa > 200 µm	2,5955	g

SP - 130

amostra original		
argila	2,18	%
silte	34,08	%
areia/cascalho	63,74	%

Tabela 40: Determinação granulométrica, SP-131.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,39	18	69,34
0,07	0,44	19	71,7
0,1	0,54	20	73,86
0,2	1,57	22	77,64
0,3	2,9	25	82,1
0,4	3,54	28	85,47
0,5	3,54	32	88,83
0,6	3,54	36	91,28
0,7	3,54	38	92,27
0,8	3,58	40	93,13
0,9	3,68	45	94,85
1	3,83	50	96,14
1,1	4,03	53	96,77
1,2	4,27	56	97,3
1,3	4,56	63	98,26
1,4	4,88	71	99
1,6	5,65	75	99,26
1,8	6,54	80	99,51
2	7,51	85	99,69
2,2	8,55	90	99,82
2,4	9,64	95	99,9
2,6	10,75	100	99,95
3	13,01	106	99,99
4	18,42	112	100
5	23,16	125	100
6	27,4	130	100
6,5	29,38	140	100
7	31,32	145	100
7,5	33,25	150	100
8	35,19	160	100
8,5	37,15	170	100
9	39,12	180	100
10	43,04	190	100
11	46,92	200	100
12	50,69	212	100
13	54,32	242	100
14	57,76	250	100
15	60,99	300	100
16	63,99	400	100
17	66,77	500	100

amostra analisada		
argila	7,51	%
silte	90,75	%
areia/cascalho	1,74	%

Massa Total	5,6825	g
Massa > 200 µm	0,8596	g

SP - 131

amostra original		
argila	6,37	%
silte	77,02	%
areia/cascalho	16,60	%

Tabela 41: Determinação granulométrica, SP-132.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,31	18	58,16
0,07	0,34	19	60,35
0,1	0,42	20	62,39
0,2	1,23	22	66,04
0,3	2,28	25	70,54
0,4	2,78	28	74,05
0,5	2,78	32	77,51
0,6	2,78	36	79,98
0,7	2,78	38	80,94
0,8	2,82	40	81,77
0,9	2,9	45	83,38
1	3,02	50	84,54
1,1	3,19	53	85,1
1,2	3,4	56	85,6
1,3	3,63	63	86,61
1,4	3,9	71	87,75
1,6	4,53	75	88,38
1,8	5,26	80	89,2
2	6,06	85	90,04
2,2	6,91	90	90,9
2,4	7,79	95	91,74
2,6	8,69	100	92,57
3	10,52	106	93,53
4	14,91	112	94,42
5	18,82	125	96,13
6	22,37	130	96,69
6,5	24,05	140	97,63
7	25,7	145	98,01
7,5	27,34	150	98,35
8	28,97	160	98,88
8,5	30,62	170	99,28
9	32,27	180	99,56
10	35,55	190	99,74
11	38,78	200	99,85
12	41,93	212	99,94
13	44,99	242	100
14	47,92	250	100
15	50,71	300	100
16	53,35	400	100
17	55,83	500	100

SP - 132

amostra original		
argila	6,06	%
silte	80,55	%
areia/cascalho	13,39	%

Tabela 42: Determinação granulométrica, SP-133.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,26	18	21,18
0,07	0,29	19	21,91
0,1	0,32	20	22,6
0,2	0,65	22	23,9
0,3	1,1	25	25,65
0,4	1,33	28	27,18
0,5	1,33	32	28,8
0,6	1,33	36	29,95
0,7	1,33	38	30,37
0,8	1,33	40	30,7
0,9	1,36	45	31,15
1	1,39	50	31,15
1,1	1,45	53	31,15
1,2	1,52	56	31,15
1,3	1,61	63	31,15
1,4	1,7	71	31,15
1,6	1,93	75	31,15
1,8	2,2	80	31,15
2	2,5	85	31,15
2,2	2,82	90	31,15
2,4	3,15	95	31,15
2,6	3,49	100	31,15
3	4,18	106	31,15
4	5,83	112	31,15
5	7,29	125	31,15
6	8,61	130	31,15
6,5	9,24	140	31,15
7	9,85	145	31,15
7,5	10,46	150	31,15
8	11,07	160	31,15
8,5	11,68	170	31,15
9	12,29	180	31,15
10	13,48	190	31,15
11	14,63	200	31,15
12	15,74	212	31,15
13	16,79	242	31,15
14	17,78	250	31,15
15	18,71	300	31,15
16	19,58	400	31,15
17	20,4	500	31,15

SP - 133

amostra original		
argila	2,50	%
silte	28,65	%
areia/cascalho	68,85	%

Tabela 43: Determinação granulométrica, SP-134.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,56	18	39,91	600	100
0,07	0,61	19	41,07	700	100
0,1	0,68	20	42,14	800	100
0,2	1,36	22	44,05	900	100
0,3	2,29	25	46,44	1000	100
0,4	2,73	28	48,4		
0,5	2,77	32	50,57		
0,6	2,78	36	52,36		
0,7	2,8	38	53,17		
0,8	2,91	40	53,92		
0,9	3,08	45	55,62		
1	3,27	50	57,13		
1,1	3,49	53	57,97		
1,2	3,73	56	58,75		
1,3	3,99	63	60,42		
1,4	4,27	71	62,08		
1,6	4,89	75	62,82		
1,8	5,57	80	63,67		
2	6,28	85	64,44		
2,2	7,02	90	65,14		
2,4	7,76	95	65,77		
2,6	8,51	100	66,35		
3	9,96	106	66,98		
4	13,23	112	67,55		
5	15,93	125	68,63		
6	18,27	130	69,01		
6,5	19,35	140	69,72		
7	20,41	145	70,06		
7,5	21,45	150	70,39		
8	22,49	160	71,04		
8,5	23,54	170	71,7		
9	24,59	180	72,37		
10	26,67	190	73,06		
11	28,69	200	73,78		
12	30,62	212	74,69		
13	32,46	242	77,18		
14	34,19	250	77,91		
15	35,8	300	82,8		
16	37,28	400	92,88		
17	38,65	500	98,98		

amostra analisada		
argila	6,28	%
silte	54,14	%
areia/cascalho	39,58	%

Massa Total	15,0399	g
Massa > 200 µm	8,1387	g

SP - 134

amostra original		
argila	2,88	%
silte	24,84	%
areia/cascalho	72,28	%

Tabela 44: Determinação granulométrica, SP-135.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,3	18	29,97	600	100
0,07	0,31	19	31	700	100
0,1	0,34	20	31,93	800	100
0,2	0,7	22	33,56	900	100
0,3	1,21	25	35,5	1000	100
0,4	1,45	28	36,97		
0,5	1,45	32	38,43		
0,6	1,45	36	39,5		
0,7	1,45	38	39,93		
0,8	1,49	40	40,32		
0,9	1,55	45	41,1		
1	1,63	50	41,73		
1,1	1,74	53	42,05		
1,2	1,85	56	42,35		
1,3	1,98	63	42,97		
1,4	2,13	71	43,65		
1,6	2,46	75	43,99		
1,8	2,84	80	44,41		
2	3,25	85	44,83		
2,2	3,68	90	45,25		
2,4	4,13	95	45,68		
2,6	4,6	100	46,09		
3	5,53	106	46,58		
4	7,79	112	47,06		
5	9,78	125	48,02		
6	11,56	130	48,36		
6,5	12,4	140	49		
7	13,22	145	49,28		
7,5	14,05	150	49,56		
8	14,88	160	50,1		
8,5	15,73	170	50,65		
9	16,59	180	51,23		
10	18,32	190	51,86		
11	20,03	200	52,56		
12	21,71	212	53,51		
13	23,33	242	56,54		
14	24,86	250	57,53		
15	26,3	300	65,49		
16	27,62	400	86,17		
17	28,85	500	98,02		

amostra analisada		
argila	3,25	%
silte	39,72	%
areia/cascalho	57,03	%

Massa Total	18,8969	g
Massa > 200 µm	12,0618	g

SP - 135

amostra original		
argila	1,18	%
silte	14,37	%
areia/cascalho	84,46	%

Tabela 45: Determinação granulométrica, SP-136.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,43	18	60,97
0,07	0,46	19	62,86
0,1	0,55	20	64,62
0,2	1,62	22	67,79
0,3	3,04	25	71,76
0,4	3,71	28	75
0,5	3,74	32	78,47
0,6	3,75	36	81,24
0,7	3,76	38	82,42
0,8	3,91	40	83,51
0,9	4,12	45	85,88
1	4,39	50	87,87
1,1	4,69	53	88,92
1,2	5,03	56	89,88
1,3	5,39	63	91,81
1,4	5,79	71	93,6
1,6	6,68	75	94,36
1,8	7,66	80	95,19
2	8,69	85	95,92
2,2	9,78	90	96,56
2,4	10,87	95	97,12
2,6	11,97	100	97,6
3	14,13	106	98,1
4	19,03	112	98,51
5	23,17	125	99,18
6	26,84	130	99,36
6,5	28,55	140	99,64
7	30,22	145	99,74
7,5	31,88	150	99,81
8	33,53	160	99,91
8,5	35,19	170	99,97
9	36,84	180	100
10	40,08	190	100
11	43,23	200	100
12	46,25	212	100
13	49,13	242	100
14	51,84	250	100
15	54,37	300	100
16	56,73	400	100
17	58,93	500	100

amostra analisada		
argila	8,69	%
silte	83,12	%
areia/cascalho	8,19	%

Massa Total	16,05	g
Massa > 200 µm	12,47	g

SP - 136

amostra original		
argila	1,94	%
silte	18,54	%
areia/cascalho	79,52	%

Tabela 46: Determinação granulométrica, SP-137.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,18	18	24,16	600	100
0,07	0,18	19	25,27	700	100
0,1	0,19	20	26,35	800	100
0,2	0,41	22	28,4	900	100
0,3	0,73	25	31,21	1000	100
0,4	0,87	28	33,68		
0,5	0,87	32	36,42		
0,6	0,87	36	38,6		
0,7	0,87	38	39,51		
0,8	0,92	40	40,32		
0,9	0,98	45	42		
1	1,06	50	43,26		
1,1	1,15	53	43,89		
1,2	1,25	56	44,45		
1,3	1,36	63	45,59		
1,4	1,48	71	46,87		
1,6	1,75	75	47,56		
1,8	2,05	80	48,5		
2	2,36	85	49,54		
2,2	2,69	90	50,71		
2,4	3,03	95	52,01		
2,6	3,37	100	53,42		
3	4,05	106	55,22		
4	5,67	112	57,14		
5	7,16	125	61,54		
6	8,57	130	63,27		
6,5	9,25	140	66,7		
7	9,93	145	68,4		
7,5	10,61	150	70,05		
8	11,29	160	73,21		
8,5	11,98	170	76,12		
9	12,67	180	78,75		
10	14,05	190	81,05		
11	15,42	200	83,08		
12	16,76	212	85,19		
13	18,08	242	89,2		
14	19,36	250	90,03		
15	20,61	300	93,74		
16	21,83	400	97,76		
17	23,01	500	99,68		

SP - 137		
amostra original		
argila	2,36	%
silte	43,23	%
areia/cascalho	54,41	%

Tabela 47: Determinação granulométrica, SP-138.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,24	18	28,13	600	100
0,07	0,25	19	29,16	700	100
0,1	0,27	20	30,12	800	100
0,2	0,57	22	31,81	900	100
0,3	0,99	25	33,88	1000	100
0,4	1,19	28	35,49		
0,5	1,19	32	37,14		
0,6	1,19	36	38,39		
0,7	1,19	38	38,9		
0,8	1,24	40	39,37		
0,9	1,31	45	40,36		
1	1,4	50	41,18		
1,1	1,51	53	41,63		
1,2	1,63	56	42,07		
1,3	1,76	63	43,11		
1,4	1,9	71	44,46		
1,6	2,23	75	45,23		
1,8	2,59	80	46,3		
2	2,97	85	47,49		
2,2	3,37	90	48,81		
2,4	3,79	95	50,25		
2,6	4,21	100	51,8		
3	5,06	106	53,76		
4	7,1	112	55,81		
5	8,91	125	60,43		
6	10,57	130	62,21		
6,5	11,36	140	65,72		
7	12,14	145	67,44		
7,5	12,93	150	69,11		
8	13,72	160	72,28		
8,5	14,53	170	75,18		
9	15,34	180	77,8		
10	16,97	190	80,09		
11	18,59	200	82,11		
12	20,17	212	84,22		
13	21,7	242	88,27		
14	23,15	250	89,11		
15	24,53	300	93		
16	25,82	400	97,45		
17	27,01	500	99,64		

amostra analisada		
argila	2,97	%
silte	40,14	%
areia/cascalho	56,89	%

Massa Total	10,0612	g
Massa > 200 µm	0,6154	g

SP - 138

amostra original		
argila	2,79	%
silte	37,68	%
areia/cascalho	59,53	%

Tabela 48: Determinação granulométrica, SP-139.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0,13	18	14,81	600	99,8
0,07	0,13	19	15,27	700	100
0,1	0,13	20	15,68	800	100
0,2	0,29	22	16,42	900	100
0,3	0,56	25	17,34	1000	100
0,4	0,67	28	18,11		
0,5	0,67	32	19,01		
0,6	0,67	36	19,82		
0,7	0,67	38	20,2		
0,8	0,73	40	20,58		
0,9	0,8	45	21,5		
1	0,89	50	22,38		
1,1	0,98	53	22,88		
1,2	1,07	56	23,36		
1,3	1,18	63	24,38		
1,4	1,29	71	25,38		
1,6	1,52	75	25,81		
1,8	1,77	80	26,29		
2	2,03	85	26,72		
2,2	2,29	90	27,12		
2,4	2,56	95	27,49		
2,6	2,82	100	27,85		
3	3,33	106	28,3		
4	4,46	112	28,77		
5	5,42	125	29,92		
6	6,27	130	30,44		
6,5	6,68	140	31,62		
7	7,08	145	32,29		
7,5	7,49	150	33,02		
8	7,89	160	34,59		
8,5	8,31	170	36,33		
9	8,72	180	38,21		
10	9,55	190	40,22		
11	10,36	200	42,32		
12	11,13	212	44,9		
13	11,86	242	51,51		
14	12,55	250	53,28		
15	13,19	300	64,53		
16	13,78	400	85,95		
17	14,32	500	98		

amostra analisada		
argila	2,03	%
silte	22,35	%
areia/cascalho	75,62	%

Massa Total	18,5931	g
Massa > 200 µm	5,0122	g

SP - 139

amostra original		
argila	1,48	%
silte	16,33	%
areia/cascalho	82,19	%

Tabela 49: Determinação granulométrica, SP-140.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0	18	0,7	600	60,83
0,07	0	19	0,72	700	78,4
0,1	0	20	0,74	800	89,43
0,2	0	22	0,77	900	95,57
0,3	0	25	0,83	1000	98,48
0,4	0	28	0,89	1100	99,64
0,5	0	32	0,98	1200	100
0,6	0	36	1,07	1300	100
0,7	0	38	1,11	1400	100
0,8	0	40	1,15		
0,9	0	45	1,21		
1	0	50	1,21		
1,1	0,01	53	1,21		
1,2	0,02	56	1,21		
1,3	0,04	63	1,21		
1,4	0,05	71	1,21		
1,6	0,08	75	1,21		
1,8	0,1	80	1,21		
2	0,13	85	1,21		
2,2	0,15	90	1,21		
2,4	0,17	95	1,21		
2,6	0,18	100	1,21		
3	0,22	106	1,21		
4	0,28	112	1,21		
5	0,28	125	1,21		
6	0,28	130	1,21		
6,5	0,3	140	1,21		
7	0,32	145	1,21		
7,5	0,34	150	1,21		
8	0,37	160	1,21		
8,5	0,39	170	1,21		
9	0,41	180	1,21		
10	0,46	190	1,21		
11	0,5	200	1,21		
12	0,54	212	1,21		
13	0,57	242	1,21		
14	0,61	250	1,21		
15	0,63	300	1,21		
16	0,66	400	12,91		
17	0,68	500	37,52		

amostra analisada		
argila	0,13	%
silte	1,08	%
areia/cascalho	98,79	%

Massa Total	42,8323	g
Massa > 200 µm	36,0674	g

SP - 140

amostra original		
argila	0,02	%
silte	0,17	%
areia/cascalho	99,81	%

Tabela 50: Determinação granulométrica, SP-141.

Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)	Diâmetro (µm)	% (valor cumulativo)
0,04	0	18	0,37	600	77,23
0,07	0	19	0,37	700	88,65
0,1	0	20	0,38	800	94,92
0,2	0	22	0,41	900	98,05
0,3	0	25	0,46	1000	99,38
0,4	0	28	0,5	1100	99,86
0,5	0	32	0,54	1200	100
0,6	0	36	0,58	1300	100
0,7	0	38	0,6	1400	100
0,8	0	40	0,61		
0,9	0	45	0,65		
1	0	50	0,68		
1,1	0,01	53	0,7		
1,2	0,03	56	0,73		
1,3	0,05	63	0,82		
1,4	0,07	71	0,96		
1,6	0,1	75	1,05		
1,8	0,13	80	1,18		
2	0,16	85	1,32		
2,2	0,19	90	1,47		
2,4	0,22	95	1,62		
2,6	0,24	100	1,77		
3	0,26	106	1,95		
4	0,26	112	2,12		
5	0,26	125	2,44		
6	0,26	130	2,55		
6,5	0,26	140	2,71		
7	0,26	145	2,76		
7,5	0,26	150	2,81		
8	0,26	160	2,9		
8,5	0,27	170	2,98		
9	0,29	180	3,08		
10	0,31	190	3,23		
11	0,31	200	3,44		
12	0,31	212	3,8		
13	0,33	242	5,43		
14	0,35	250	6,08		
15	0,37	300	12,35		
16	0,37	400	34,83		
17	0,37	500	59,22		

amostra analisada		
argila	0,16	%
silte	0,66	%
areia/cascalho	99,18	%

Massa Total	28,7508	g
Massa > 200 µm	26,4477	g

SP - 141

amostra original		
argila	0,01	%
silte	0,05	%
areia/cascalho	99,93	%

ANEXO C – Carbono e Nitrogênio

Tabela 51: Determinação elementar e isotópica de carbono e nitrogênio

Amostra	CARBONO					NITROGÊNIO		(C/N)	% MO terrestre
	Orgânico		Total		C _{Inorg} (%)	Total			
	C _{Org} (%)	δ ¹³ C (‰)	C _{Total} (%)	δ ¹³ C (‰)		N _{Total} (%)	δ ¹⁵ N (‰)		
SP - 101	0,97	-21,0	1,53	-17,9	0,56	0,16	6,5	7,12	103%
SP - 102	1,46	-20,9	2,40	-17,5	0,94	0,24	6,3	7,14	103%
SP - 103	1,16	-22,1	2,43	-18,3	1,26	0,20	6,9	6,70	105%
SP - 104	0,57	-20,2	0,73	-19,5	0,16	0,10	5,7	6,48	106%
SP - 105	1,95	-20,1	2,40	-18,8	0,46	0,27	7,1	8,29	97%
SP - 106	1,10	-20,5	2,38	-19,6	1,28	0,20	6,5	6,33	107%
SP - 107	1,06	-20,0	1,56	-19,0	0,50	0,20	7,0	6,18	107%
SP - 108	1,64	-20,3	1,88	-16,8	0,23	0,18	7,0	10,54	86%
SP - 109	1,17	-19,6	2,62	-17,4	1,45	0,24	6,5	5,60	110%
SP - 110	1,34	-22,8	2,11	-21,8	0,76	0,22	5,1	7,07	103%
SP - 111	1,30	-22,9	1,50	-19,9	0,20	0,18	7,0	8,32	97%
SP - 112	1,49	-21,0	2,29	-20,0	0,79	0,27	6,4	6,45	106%
SP - 113	1,00	-20,6	2,28	-19,9	1,29	0,19	6,5	6,07	108%
SP - 114	0,98	-21,5	1,85	-20,3	0,87	0,16	6,0	7,04	103%
SP - 115	1,51	-20,6	2,11	-16,5	0,59	0,14	5,7	12,84	75%
SP - 116	0,98	-19,8	1,01	-19,5	0,03	0,12	5,7	9,59	91%
SP - 117	0,84	-20,1	1,42	-18,5	0,58	0,15	6,4	6,66	105%
SP - 118	0,48	-20,3	2,60	-18,6	2,12	0,32	7,4	1,72	129%
SP - 119	1,24	-22,3	1,36	-21,0	0,12	0,14	5,8	10,49	86%
SP - 120	1,45	-20,4	2,00	-19,5	0,55	0,20	6,9	8,37	97%
SP - 121	0,75	-20,2	0,81	-18,6	0,05	0,10	5,1	8,91	94%
SP - 122	0,51	-20,0	1,85	-15,9	1,34	0,08	6,1	7,28	102%
SP - 123	1,51	-21,6	2,35	-20,4	0,84	0,25	6,8	7,10	103%
SP - 124	1,59	-19,9	2,04	-19,7	0,45	0,23	6,2	8,18	98%
SP - 125	0,29	-20,4	2,00	-1,6	1,71	0,04	4,3	8,78	95%
SP - 126	1,05	-21,0	1,12	-20,4	0,07	0,11	5,6	10,81	85%
SP - 130	0,65	-19,4	0,81	-16,5	0,16	0,08	5,1	9,86	89%
SP - 131	1,40	-21,0	2,29	-19,8	0,89	0,17	6,2	9,49	91%
SP - 132	0,60	-20,9	1,84	-16,3	1,24	0,10	6,4	6,85	104%
SP - 133	2,38	-20,6	2,93	-17,5	0,55	0,33	6,3	8,46	96%
SP - 134	0,46	-20,1	6,35	-1,4	5,89	0,08	5,4	6,68	105%
SP - 135	0,38	-19,8	1,38	-4,4	1,00	0,06	3,9	7,56	101%
SP - 136	0,87	-17,9	5,70	-1,1	4,45	0,10	5,6	10,10	88%
SP - 137	0,43	-22,1	0,82	-15,0	0,39	0,07	4,8	7,36	102%
SP - 138	0,57	-21,2	0,70	-14,1	0,14	0,07	4,2	9,37	92%
SP - 139	0,26	-21,4	0,74	-4,6	0,57	0,03	3,4	9,43	92%
SP - 140	0,09	-21,5	0,94	-1,7	0,85	<0,02	---	---	---
SP - 141	0,08	-23,3	0,29	-1,4	0,21	<0,02	---	---	---

ANEXO D – AVS / SEM

Tabela 52: Concentração de SEM e AVS, $\sum SEM$ e razão $\sum SEM/AVS$

Amostra	SEM ($\mu\text{mol g}^{-1}$)					$\sum SEM$ ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	AVS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	SEM/AVS
	zinco	chumbo	níquel	cobre	cádmio			
SP - 101	1,22E+00	1,05E-02	1,04E-02	1,38E-02	4,63E-03	1,26	4,01	0,31
SP - 102	1,28E+00	1,39E-02	< 1,02E-02	3,21E-02	4,13E-03	1,33	12,8	0,10
SP - 103	1,66E+00	1,61E-02	< 1,02E-02	3,37E-02	5,15E-03	1,72	20,0	0,09
SP - 104	7,13E-01	8,31E-03	< 1,02E-02	1,51E-02	2,26E-03	0,74	6,54	0,11
SP - 105	1,79E+00	2,37E-02	1,05E-02	4,32E-02	5,68E-03	1,87	16,1	0,12
SP - 106	1,10E+00	1,17E-02	< 1,02E-02	1,97E-02	2,99E-03	1,13	13,7	0,08
SP - 107	1,66E+00	1,45E-02	1,18E-02	2,46E-02	5,66E-03	1,71	6,13	0,28
SP - 108	4,58E+00	2,52E-02	< 1,02E-02	4,51E-02	1,26E-02	4,67	12,1	0,39
SP - 109	1,59E+00	1,39E-02	< 1,02E-02	2,40E-02	4,54E-03	1,64	11,4	0,14
SP - 110	8,43E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	4,05E-02	2,56E-03	0,89	12,3	0,07
SP - 111	1,46E+00	< 9,65E-03	2,39E-02	6,01E-02	3,49E-03	1,55	30,6	0,05
SP - 112	6,68E-01	1,28E-02	1,19E-02	2,52E-02	< 1,78E-03	0,72	4,89	0,15
SP - 113	1,46E+00	1,48E-02	< 1,02E-02	3,08E-02	3,94E-03	1,51	8,49	0,18
SP - 114	1,61E+00	1,63E-02	1,06E-02	2,64E-02	5,70E-03	1,67	5,78	0,29
SP - 115	4,28E+00	2,90E-02	1,07E-02	4,83E-02	1,28E-02	4,38	15,6	0,28
SP - 116	1,65E+00	1,71E-02	1,25E-02	2,67E-02	4,58E-03	1,71	5,81	0,29

Amostra	SEM ($\mu\text{mol g}^{-1}$)					Σ SEM ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	AVS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	$\Sigma\text{SEM}/\text{AVS}$
	zinco	chumbo	níquel	cobre	cádmio			
SP - 117	1,19E+00	1,46E-02	1,37E-02	2,71E-02	3,20E-03	1,25	6,38	0,20
SP - 118	8,64E-01	1,33E-02	1,03E-02	2,52E-02	2,45E-03	0,91	12,4	0,07
SP - 119	7,17E-01	1,38E-02	< 1,02E-02	2,55E-02	2,02E-03	0,76	6,50	0,12
SP - 120	7,12E-01	1,42E-02	1,52E-02	3,05E-02	1,82E-03	0,77	5,54	0,14
SP - 121	6,72E-01	1,16E-02	< 1,02E-02	1,76E-02	< 1,78E-03	0,70	4,50	0,16
SP - 122	4,72E-01	1,11E-02	< 1,02E-02	1,74E-02	< 1,78E-03	0,50	5,50	0,09
SP - 123	1,37E+00	1,99E-02	1,13E-02	4,16E-02	3,40E-03	1,45	6,41	0,23
SP - 124	6,03E-01	1,36E-02	< 1,02E-02	2,42E-02	1,81E-03	0,64	6,14	0,10
SP - 125	1,16E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	3,94E-03	< 1,78E-03	0,12	0,01	12,33
SP - 126	4,04E-01	1,06E-02	< 1,02E-02	1,86E-02	< 1,78E-03	0,43	3,55	0,12
SP - 130	3,06E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	1,29E-02	< 1,78E-03	0,32	3,01	0,11
SP - 131	6,23E-01	1,32E-02	< 1,02E-02	1,89E-02	1,99E-03	0,66	6,03	0,11
SP - 132	6,04E-01	1,41E-02	1,16E-02	1,67E-02	1,82E-03	0,65	4,17	0,16
SP - 133	6,64E-01	1,42E-02	1,13E-02	2,77E-02	< 1,78E-03	0,72	13,1	0,05
SP - 134	2,29E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	6,34E-03	< 1,78E-03	0,24	0,04	6,07
SP - 135	1,78E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	1,38E-02	< 1,78E-03	0,19	0,21	0,89
SP - 136	3,17E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	1,05E-02	< 1,78E-03	0,33	3,18	0,10
SP - 137	3,93E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	1,47E-02	< 1,78E-03	0,41	3,64	0,11
SP - 138	2,14E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	1,13E-02	< 1,78E-03	0,23	2,94	0,08
SP - 139	2,27E-01	< 9,65E-03	< 1,02E-02	6,00E-03	< 1,78E-03	0,23	0,04	5,76
SP - 140	2,21E-02	< 9,65E-03	< 1,02E-02	2,13E-03	< 1,78E-03	0,02	---	---
SP - 141	1,79E-02	< 9,65E-03	< 1,02E-02	1,33E-03	< 1,78E-03	0,02	---	---

ANEXO E – Metais Totais

Tabela 53: Determinação de Zn, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu e Hg em sedimentos superficiais da Baía de Sepetiba

Amostra / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)												Concentração (µg kg ⁻¹)	
	Zinco	média	Cadmio	média	Cromo	média	Chumbo	média	Níquel	média	Cobre	média	Mecúrio	média
SP - 101 A	339	347	1,9	2	113	113	20	20	14	14	10	10	67,9	64,6
SP - 101 B	360		2,0		113		20		14		10		61,3	
SP - 101 C	343		2,0		112		19		14		10		---	
SP - 102 A	443	445	2,3	2	115	116	20	21	14	14	15	15	97,8	91,8
SP - 102 B	433		2,3		115		20		14		14		85,7	
SP - 102 C	459		2,3		118		21		14		15		---	
SP - 103 A	586	584	2,8	3	128	129	25	24	15	15	16	17	96,8	92,2
SP - 103 B	590		2,5		129		24		15		17		87,6	
SP - 103 C	576		2,7		129		24		14		17		---	
SP - 104 A	113	112	0,5	0	23,1	25	4,9	5	3,6	4	2,9	3	14,1	15,1
SP - 104 B	116		0,5		24,8		5,5		3,7		3,0		16,1	
SP - 104 C	108		0,5		27,0		5,4		3,8		3,2		---	
SP - 105 A	569	556	2,8	3	131	128	26	25	14	14	18	17	139	130
SP - 105 B	537		2,5		127		25		14		17		120	
SP - 105 C	563		2,6		125		24		14		17		---	

Amostra / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)												Concentração (µg kg ⁻¹)	
	Zinco	média	Cadmio	média	Cromo	média	Chumbo	média	Níquel	média	Cobre	média	Mecúrio	média
SP - 106 A	458	457	2,1	2	120	118	20	19	15	14	14	14	99,0	92,7
SP - 106 B	460		2,0		117		19		15		14		86,5	
SP - 106 C	454		1,9		117		19		14		14		---	
SP - 107 A	440	452	2,2	2	89,9	90	15	15	11	11	8,9	9	57,4	61,0
SP - 107 B	449		2,2		89,1		15		11		8,8		64,6	
SP - 107 C	468		2,2		91,6		16		11		9,1		---	
SP - 108 A	1130	1116	4,7	5	146	142	27	26	13	13	17	17	112	114
SP - 108 B	1130		4,6		142		25		13		17		117	
SP - 108 C	1088		4,6		139		25		12		16		---	
SP - 109 A	1100	746	2,3	2	124	127	22	22	14	14	14	15	115	115
SP - 109 B	593		2,4		129		22		15		15		116	
SP - 109 C	545		2,3		127		22		14		15		---	
SP - 110 A	377	389	1,6	2	117	117	18	18	15	14	13	13	91,5	92,2
SP - 110 B	384		1,7		117		18		14		13		92,9	
SP - 110 C	405		1,6		116		18		14		13		---	
SP - 111 A	433	427	1,4	1	145	145	24	24	15	15	25	25	285	291
SP - 111 B	428		1,4		145		25		15		25		297	
SP - 111 C	421		1,5		144		24		15		25		---	
SP - 112 A	393	405	1,8	2	87,1	89	16	16	10	10	9	10	76,1	74,2
SP - 112 B	425		2,0		90,5		17		10		10		72,3	
SP - 112 C	399		2,0		88,6		16		10		10		---	

Amostra / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)												Concentração (µg kg ⁻¹)	
	Zinco	média	Cadmio	média	Cromo	média	Chumbo	média	Níquel	média	Cobre	média	Mecúrio	média
SP - 113 A	439	439	1,8	2	119	121	18	18	14	14	12	12	82,7	79,9
SP - 113 B	435		1,8		123		18		15		13		77,1	
SP - 113 C	443		1,7		120		18		14		12		---	---
SP - 114 A	420	434	2,1	2	114	114	19	19	14	14	10	10	60,5	61,0
SP - 114 B	428		2,1		113		19		14		10		61,6	
SP - 114 C	454		2,2		114		19		14		11		---	---
SP - 115 A	818	799	3,9	4	72,4	72	21	20	7,4	8	12	12	75,0	71,0
SP - 115 B	821		4,0		76,1		21		8,2		13		67,0	
SP - 115 C	759		3,6		66,7		19		7,2		12		---	---
SP - 116 A	248	265	1,0	1	60,7	63	11	11	6,8	7	5,7	6	36,9	37,2
SP - 116 B	280		1,0		66,2		11		7,1		6,4		37,5	
SP - 116 C	268		1,0		63,2		11		6,9		6,0		---	---
SP - 117 A	226	217	0,9	1	77,2	78	11	11	8,8	9	6,2	6	32,1	33,9
SP - 117 B	195		0,9		79,0		12		9,2		6,4		35,7	
SP - 117 C	232		0,9		76,7		11		8,7		6,2		---	---
SP - 118 A	276	273	1,1	1	117	115	17	17	15	15	12	12	60,0	63,0
SP - 118 B	264		1,0		114		17		14		11		65,9	
SP - 118 C	278		1,0		116		16		15		12		---	---
SP - 119 A	176	187	0,7	1	78,5	79	13	13	10	9	8,8	9	81,7	81,7
SP - 119 B	190		0,7		78,9		13		9,1		8,8		81,7	
SP - 119 C	194		0,7		79,9		13		8,7		9,0		---	---

Amostra / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)												Concentração (µg kg ⁻¹)	
	Zinco	média	Cadmio	média	Cromo	média	Chumbo	média	Níquel	média	Cobre	média	Mecúrio	média
SP - 120 A	198	202	0,6	1	99,0	100	15	15	13	13	10	10	66,2	66,8
SP - 120 B	189		0,7		100		16		13		10		67,3	
SP - 120 C	220		0,7		102		15		13		10		---	
SP - 121 A	106	118	0,4	0	43,9	44	6,8	7	5,0	5	3,4	3	21,5	23,0
SP - 121 B	113		0,4		44,7		6,9		5,1		3,4		24,4	
SP - 121 C	135		0,4		43,5		6,8		4,8		3,4		---	
SP - 122 A	178	181	0,4	0	82,9	76	10	10	8,7	8	5,9	6	31,7	31,3
SP - 122 B	191		0,4		75,1		10		8,5		5,7		30,8	
SP - 122 C	173		0,4		70,7		10		8,0		5,5		---	
SP - 123 A	466	466	1,4	1	134	134	20	20	15	15	15	15	75,0	75,4
SP - 123 B	463		1,3		135		21		15		15		75,8	
SP - 123 C	469		1,3		133		19		15		15		---	
SP - 124 A	277	261	0,7	1	128	126	19	18	13	13	12	12	85,3	86,9
SP - 124 B	259		0,7		125		18		13		12		88,6	
SP - 124 C	248		0,7		124		18		13		12		---	
SP - 125 A	56,3	53	< 0,2	< 0,2	15,8	14	2,7	2	< 0,5	< 0,5	0,8	1	3,9	3,9
SP - 125 B	52,1		< 0,2		12,0		2,2		< 0,5		0,6		3,9	
SP - 125 C	51,6		< 0,2		14,4		1,9		< 0,5		0,8		---	
SP - 126 A	96,6	101	< 0,2	< 0,2	48,9	46	6,8	6	5,0	5	3,3	3	22,5	21,7
SP - 126 B	104		< 0,2		46,3		6,4		4,7		3,2		21,0	
SP - 126 C	101		< 0,2		42,6		6,2		4,1		3,0		---	

Amostra / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)												Concentração (µg kg ⁻¹)	
	Zinco	média	Cadmio	média	Cromo	média	Chumbo	média	Níquel	média	Cobre	média	Mecúrio	média
SP - 130 A	79,1	69	< 0,2	< 0,2	35,3	30	7,0	6	3,2	3	2,1	2	12,3	12,6
SP - 130 B	67,1		< 0,2		27,1		5,9		2,4		1,7		13,0	
SP - 130 C	60,4		< 0,2		27,4		5,6		2,6		2,2		---	---
SP - 131 A	163	170	0,4	1	81,1	85	11	12	8,8	9	5,6	6	34,1	35,7
SP - 131 B	178		0,5		86,3		12		10		6		37,3	
SP - 131 C	171		0,7		87,4		12		9,5		6,6		---	---
SP - 132 A	188	186	0,6	1	90,3	90	14	13	9,3	9	5,6	6	36,9	36,3
SP - 132 B	183		0,6		89,4		13		9,4		5,5		35,7	
SP - 132 C	188		0,8		89,8		13		10		6,1		---	---
SP - 133 A	280	276	0,7	1	132	131	20	19	16	16	12	13	69,4	64,9
SP - 133 B	277		0,8		132		18		16		12		60,5	
SP - 133 C	271		1,0		130		18		15		13		---	---
SP - 134 A	81,0	79	< 0,2	< 0,2	33,8	33	4,2	4	2,8	3	1,9	2	9,0	8,6
SP - 134 B	76,6		< 0,2		32,0		4,7		2,6		1,9		8,2	
SP - 134 C	78,9		< 0,2		32,4		3,6		2,7		2,4		---	---
SP - 135 A	49,7	48	< 0,2	< 0,2	16,2	14	2,6	2	< 0,5	< 0,5	1,3	1	5,5	5,8
SP - 135 B	46,2		< 0,2		13,5		2,3		< 0,5		1,0		6,1	
SP - 135 C	49,5		< 0,2		13,6		1,8		< 0,5		1,4		---	---
SP - 136 A	70,1	83	< 0,2	< 0,2	28,6	28	4,3	4	2,5	2	2,3	2	10,7	11,5
SP - 136 B	93,9		< 0,2		29,0		3,6		2,3		2,4		12,2	
SP - 136 C	86,1		< 0,2		27,1		3,8		2,3		2,6		---	---

Amostra / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)												Concentração (µg kg ⁻¹)	
	Zinco	média	Cadmio	média	Cromo	média	Chumbo	média	Níquel	média	Cobre	média	Mecúrio	média
SP - 137 A	87,6	91	< 0,2	< 0,2	43,5	44	6,1	6	4,2	4	2,7	3	14,4	14,2
SP - 137 B	91,5		< 0,2		44,5		7,0		4,1		3,0		14,1	
SP - 137 C	93,6		< 0,2		43,5		6,0		4,1		3,3		---	
SP - 138 A	63,0	63	< 0,2	< 0,2	30,7	29	5,7	5	2,4	2	2,0	2	9,9	10,5
SP - 138 B	63,1		< 0,2		29,0		5,4		2,4		1,9		11,1	
SP - 138 C	62,9		< 0,2		28,5		4,9		2,2		2,4		---	
SP - 139 A	60,5	60	< 0,2	< 0,2	18,9	19	3,8	4	0,7	1	0,8	1	2,5	2,3
SP - 139 B	61,5		< 0,2		19,4		3,6		0,8		0,8		2,1	
SP - 139 C	57,3		< 0,2		19,4		4,3		0,8		1,2		---	
SP - 140 A	27,5	30	< 0,2	< 0,2	1,7	2	< 1,0	< 1,0	< 0,5	< 0,5	0,3	0	< 2,0	< 2,0
SP - 140 B	30,0		< 0,2		1,5		< 1,0		< 0,5		0,2		< 2,0	
SP - 140 C	31,8		< 0,2		1,5		< 1,0		< 0,5		0,6		---	
SP - 141 A	33,1	30	< 0,2	< 0,2	1,9	2	< 1,0	< 1,0	< 0,5	< 0,5	0,2	0	< 2,0	< 2,0
SP - 141 B	28,0		< 0,2		1,8		< 1,0		< 0,5		0,1		< 2,0	
SP - 141 C	27,9		< 0,2		2,0		< 1,0		< 0,5		0,6		---	

Tabela 54: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-3.

Testemunho T-3												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	186,7	185,6	21,7	21,6	29,1	28,9	363,5	362,3	1,1	1,1	27,8	27,9
1 - B	184,4		21,5		28,8		361,1		1,1		27,9	
3 - A	196,6	195,6	22,8	22,7	28,3	28,1	387,6	394,7	1,1	1,1	28,7	28,7
3 - B	194,6		22,5		27,8		401,8		1,1		28,6	
5 - A	200,8	197,4	23,2	22,8	29,2	28,6	415,1	408,0	1,2	1,2	29,8	29,5
5 - B	194,0		22,4		28,0		400,9		1,2		29,3	
7 - A	197,7	195,7	22,9	22,8	29,3	29,1	412,7	408,5	1,2	1,2	30,1	30,3
7 - B	193,7		22,7		28,9		404,3		1,2		30,4	
9 - A	203,7	200,2	23,7	23,3	31,7	30,6	419,2	412,8	1,2	1,2	32,6	32,3
9 - B	196,8		22,9		29,5		406,5		1,2		31,9	
11 - A	196,6	196,6	23,1	23,2	29,6	29,7	403,3	405,2	1,2	1,2	32,1	32,4
11 - B	196,7		23,3		29,7		407,0		1,2		32,7	
13 - A	194,0	194,3	23,0	23,0	28,8	28,7	389,5	378,2	1,2	1,2	33,0	33,0
13 - B	194,5		23,0		28,6		366,8		1,2		33,0	
15 - A	192,8	190,7	23,5	23,1	28,3	27,9	372,6	375,1	1,1	1,1	33,2	33,0
15 - B	188,6		22,8		27,5		377,6		1,1		32,8	
17 - A	191,9	194,4	23,4	23,6	28,0	28,2	374,4	375,4	1,1	1,1	33,2	33,7
17 - B	196,9		23,9		28,5		376,4		1,1		34,2	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	195,1	194,9	23,8	23,8	29,7	29,5	350,1	346,8	1,0	1,0	33,3	33,2
19 - B	194,6		23,8		29,2		343,5		1,0		33,1	
21 - A	203,5	200,8	24,4	23,9	32,6	32,2	343,7	342,5	1,1	1,1	35,8	35,4
21 - B	198,2		23,4		31,7		341,3		1,0		35,0	
23 - A	202,5	196,6	24,3	23,6	32,4	31,5	348,7	341,3	1,1	1,0	35,7	34,9
23 - B	190,6		22,9		30,6		333,9		1,0		34,2	
25 - A	196,6	195,1	23,4	22,7	30,3	30,2	395,1	395,0	1,2	1,2	35,1	34,8
25 - B	193,7		22,1		30,1		394,9		1,2		34,5	
27 - A	195,8	196,0	22,3	22,2	31,4	31,4	406,6	404,2	1,3	1,3	35,4	35,4
27 - B	196,2		22,1		31,5		401,7		1,2		35,4	
29 - A	198,3	200,2	22,8	22,9	30,6	30,9	419,4	419,3	1,2	1,2	35,3	35,6
29 - B	202,1		23,1		31,2		419,2		1,2		35,9	
31 - A	200,7	202,5	23,1	23,3	31,0	31,4	403,6	404,5	1,3	1,3	35,6	36,0
31 - B	204,4		23,4		31,9		405,4		1,3		36,3	
33 - A	205,0	204,0	23,8	23,9	31,4	31,3	410,3	412,4	1,2	1,2	36,5	36,4
33 - B	203,1		23,9		31,2		414,4		1,2		36,4	
35 - A	200,6	201,2	23,7	23,7	30,8	31,0	384,5	390,7	1,2	1,2	35,3	35,2
35 - B	201,7		23,7		31,2		396,9		1,1		35,2	
37 - A	201,9	202,6	23,3	23,3	30,7	30,8	400,7	404,8	1,2	1,2	35,4	35,2
37 - B	203,3		23,3		30,9		409,0		1,2		35,0	
39 - A	213,3	210,5	23,2	23,0	32,2	31,9	501,3	498,7	1,5	1,5	36,8	36,6
39 - B	207,6		22,7		31,5		496,2		1,5		36,4	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	chromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	204,0	204,5	22,3	22,6	29,2	31,4	491,6	492,3	1,4	1,5	34,1	34,2
41 - B	205,1		22,9		33,7		492,9		1,5		34,2	
43 - A	202,6	204,4	22,2	22,4	29,5	29,8	486,2	492,7	1,5	1,5	34,4	34,5
43 - B	206,3		22,6		30,0		499,2		1,5		34,6	
45 - A	204,9	205,5	22,6	22,7	30,1	30,1	481,7	511,5	1,4	1,4	33,9	34,0
45 - B	206,0		22,8		30,1		541,4		1,5		34,1	
47 - A	210,2	210,7	22,6	22,7	29,5	29,8	526,4	528,8	1,6	1,6	34,0	34,2
47 - B	211,2		22,8		30,1		531,3		1,6		34,5	
49 - A	210,3	210,1	22,6	22,5	29,2	29,3	497,8	500,1	1,5	1,5	32,8	32,8
49 - B	209,9		22,4		29,4		502,4		1,5		32,7	
51 - A	205,0	204,0	21,5	21,6	30,1	29,9	488,4	486,7	1,6	1,6	33,7	33,4
51 - B	202,9		21,6		29,7		485,0		1,6		33,1	
53 - A	210,9	210,7	22,1	22,1	30,1	30,2	491,9	487,5	1,5	1,5	33,5	33,6
53 - B	210,5		22,1		30,2		483,1		1,5		33,7	
55 - A	199,6	200,8	21,0	21,1	28,6	28,8	469,0	470,2	1,3	1,4	31,8	31,8
55 - B	202,0		21,3		29,0		471,4		1,4		31,9	
57 - A	201,8	201,7	21,5	21,5	30,2	30,0	517,1	498,6	1,6	1,5	33,4	33,5
57 - B	201,6		21,5		29,9		480,1		1,5		33,6	
59 - A	210,1	209,4	22,4	22,4	29,9	29,9	548,1	541,6	1,7	1,7	34,9	34,8
59 - B	208,7		22,3		29,8		535,2		1,7		34,7	
61 - A	212,3	214,3	22,6	22,8	29,3	29,3	551,5	554,9	1,7	1,7	34,2	34,3
61 - B	216,2		23,0		29,3		558,2		1,7		34,4	

Tabela 55: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-8.

Testemunho T-8												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	126,1	125,2	13,8	13,5	13,3	13,0	358,2	357,5	1,8	1,7	20,9	20,5
1 - B	124,3		13,3		12,7		356,7		1,7		20,2	
3 - A	113,5	115,1	11,9	12,2	11,7	11,8	323,0	330,8	1,5	1,5	18,5	18,7
3 - B	116,6		12,5		11,8		338,6		1,5		18,9	
5 - A	97,2	97,9	10,3	10,3	9,5	9,5	292,3	298,4	1,3	1,3	16,7	16,7
5 - B	98,6		10,3		9,5		304,5		1,3		16,7	
7 - A	108,3	105,9	11,4	11,3	10,5	10,4	352,2	350,2	1,9	1,9	21,0	20,6
7 - B	103,5		11,1		10,3		348,2		1,8		20,1	
9 - A	121,0	120,7	12,8	12,9	11,9	11,9	440,7	437,0	2,7	2,7	28,8	28,8
9 - B	120,4		13,0		11,9		433,4		2,6		28,8	
11 - A	136,8	135,9	14,4	14,3	13,6	13,5	549,1	543,9	3,4	3,4	36,2	35,9
11 - B	135,1		14,1		13,4		538,6		3,4		35,7	
13 - A	138,4	139,1	14,6	14,6	13,7	13,7	523,1	531,3	3,4	3,4	36,7	37,0
13 - B	139,9		14,5		13,8		539,4		3,5		37,3	
15 - A	172,6	174,0	18,4	18,5	17,3	17,5	651,3	669,7	4,6	4,6	47,4	48,3
15 - B	175,4		18,7		17,7		688,1		4,7		49,2	
17 - A	159,4	159,1	17,1	17,3	15,9	16,0	573,5	574,0	3,9	4,0	41,1	41,8
17 - B	158,8		17,5		16,1		574,4		4,1		42,4	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	150,4	147,8	16,5	16,2	15,2	14,8	476,0	472,2	3,2	3,1	34,5	34,0
19 - B	145,2		15,9		14,4		468,4		3,1		33,5	
21 - A	128,3	126,7	14,1	13,9	12,8	12,6	399,5	389,3	2,4	2,3	27,8	27,4
21 - B	125,1		13,7		12,5		379,0		2,3		27,0	
23 - A	126,1	125,0	14,1	14,0	12,4	12,3	366,0	369,1	2,3	2,3	26,8	26,5
23 - B	124,0		13,9		12,3		372,1		2,2		26,2	
25 - A	127,6	126,8	14,7	14,8	12,5	12,5	339,7	338,3	2,1	2,1	26,3	26,2
25 - B	126,0		14,8		12,5		336,9		2,1		26,1	
27 - A	121,8	121,8	14,4	14,3	11,9	11,8	274,2	275,6	1,6	1,6	24,6	24,5
27 - B	121,7		14,2		11,8		277,0		1,6		24,4	
29 - A	101,5	102,8	12,0	12,0	9,5	9,6	209,3	212,4	1,2	1,2	20,3	20,5
29 - B	104,1		12,0		9,6		215,5		1,2		20,6	
31 - A	86,3	86,3	10,1	10,1	7,8	7,7	159,1	160,1	0,8	0,8	16,4	16,5
31 - B	86,3		10,1		7,7		161,1		0,8		16,6	
33 - A	102,3	100,6	12,0	11,9	9,5	9,3	206,5	203,0	1,2	1,2	20,2	19,9
33 - B	99,0		11,7		9,1		199,5		1,2		19,6	
35 - A	92,8	94,9	11,0	11,1	8,5	8,6	189,4	191,7	1,0	1,0	18,6	19,1
35 - B	97,0		11,3		8,7		194,0		1,1		19,6	
37 - A	91,2	92,0	10,7	10,7	8,4	8,4	181,6	186,1	0,9	0,9	18,5	18,5
37 - B	92,8		10,7		8,4		190,6		1,0		18,5	
39 - A	100,3	103,9	11,6	12,0	9,5	9,8	231,7	231,2	1,2	1,3	21,1	21,8
39 - B	107,4		12,4		10,1		230,6		1,3		22,4	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	126,0	123,3	14,9	14,6	12,3	12,1	280,0	275,0	1,5	1,5	26,5	25,8
41 - B	120,5		14,2		11,9		270,0		1,4		25,1	
43 - A	86,3	88,6	10,3	10,6	8,0	8,3	152,8	156,7	0,7	0,7	16,3	16,6
43 - B	91,0		10,9		8,5		160,6		0,7		16,9	
45 - A	61,3	61,2	7,0	7,0	5,0	5,0	108,5	106,6	0,4	0,4	12,0	11,8
45 - B	61,0		6,9		5,0		104,8		0,4		11,7	
47 - A	52,1	54,3	5,8	6,0	4,0	4,2	87,5	90,7	0,3	0,3	10,2	10,6
47 - B	56,5		6,2		4,4		94,0		0,3		11,0	

Tabela 56: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-13.

Testemunho T-13												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	159,9	160,1	13,9	13,8	12,5	12,4	525,2	529,0	1,2	1,2	22,8	22,8
1 - B	160,2		13,8		12,2		532,7		1,2		22,9	
3 - A	164,8	161,5	13,9	13,5	12,5	12,1	532,9	537,7	1,2	1,2	24,5	24,3
3 - B	158,3		13,1		11,7		542,6		1,2		24,2	
5 - A	147,5	148,9	11,4	11,7	10,0	10,1	526,0	526,2	1,2	1,2	23,4	23,4
5 - B	150,3		11,9		10,2		526,4		1,2		23,5	
7 - A	151,8	150,7	12,1	11,8	10,2	9,8	599,4	585,7	1,4	1,3	24,3	24,2
7 - B	149,6		11,4		9,5		572,1		1,3		24,1	
9 - A	154,5	151,8	12,3	11,9	10,6	10,0	682,4	669,0	1,6	1,6	25,7	25,5
9 - B	149,1		11,4		9,5		655,6		1,5		25,3	
11 - A	155,0	156,4	12,5	12,5	10,2	10,2	734,7	737,6	1,7	1,8	26,9	27,1
11 - B	157,8		12,6		10,3		740,5		1,8		27,4	
13 - A	154,8	155,5	12,0	12,2	9,8	9,9	757,2	753,5	1,8	1,8	27,0	27,2
13 - B	156,2		12,4		10,0		749,9		1,7		27,4	
15 - A	150,6	150,4	11,4	11,6	9,2	9,3	754,0	751,4	1,9	1,9	27,2	27,1
15 - B	150,2		11,7		9,3		748,9		1,9		27,0	
17 - A	153,6	153,1	11,8	11,8	9,1	9,1	781,6	777,1	2,0	2,0	28,1	28,1
17 - B	152,5		11,9		9,2		772,5		1,9		28,2	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	152,7	153,5	11,7	11,9	9,0	9,1	775,0	783,2	2,1	2,1	29,0	29,0
19 - B	154,3		12,0		9,1		791,5		2,1		29,0	
21 - A	177,6	176,5	15,2	15,1	11,1	11,1	865,5	850,8	2,5	2,5	35,3	35,2
21 - B	175,5		15,0		11,0		836,1		2,5		35,0	
23 - A	189,2	191,2	16,6	16,8	12,5	12,5	958,5	970,3	3,0	3,0	38,9	39,3
23 - B	193,2		17,1		12,5		982,1		3,0		39,8	
25 - A	143,4	143,9	10,2	10,4	6,5	6,6	718,4	732,0	2,3	2,3	30,2	30,2
25 - B	144,3		10,5		6,8		745,6		2,3		30,2	
27 - A	158,8	157,9	12,6	12,3	8,4	8,2	747,5	750,0	2,3	2,3	33,6	33,5
27 - B	156,9		12,0		7,9		752,5		2,3		33,5	
29 - A	178,9	178,1	15,0	14,9	10,0	10,0	785,4	770,6	2,5	2,5	38,5	38,2
29 - B	177,2		14,8		9,9		755,9		2,4		37,9	
31 - A	149,2	148,1	11,7	11,7	6,3	6,3	590,5	590,6	2,0	2,0	32,4	32,1
31 - B	147,0		11,6		6,3		590,8		2,0		31,7	
33 - A	157,6	156,6	13,4	13,3	6,9	6,9	520,7	523,3	1,8	1,8	32,0	31,8
33 - B	155,5		13,2		6,9		525,8		1,8		31,6	
35 - A	185,9	185,4	16,9	16,9	9,9	9,8	580,4	582,2	2,0	2,0	37,0	36,8
35 - B	184,9		16,9		9,7		584,0		2,0		36,7	
37 - A	165,6	167,1	15,1	15,2	7,7	8,0	435,0	440,3	1,5	1,5	31,6	31,9
37 - B	168,7		15,3		8,4		445,7		1,5		32,2	
39 - A	124,7	124,8	9,5	9,6	3,0	3,0	263,1	263,5	0,9	0,9	22,5	22,3
39 - B	124,9		9,7		2,9		263,8		0,9		22,1	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	114,5	114,9	8,3	8,4	1,7	1,7	222,8	223,9	0,7	0,7	20,2	20,2
41 - B	115,4		8,5		1,6		225,0		0,7		20,2	

Tabela 57: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-18.

Testemunho T-18												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	142,7	142,2	12,4	12,2	15,7	15,6	445,3	455,8	1,1	1,1	19,3	19,3
1 - B	141,6		12,1		15,5		466,3		1,1		19,3	
3 - A	143,4	143,8	12,5	12,4	15,7	15,6	450,8	455,2	1,1	1,1	19,5	19,5
3 - B	144,2		12,2		15,6		459,7		1,1		19,6	
5 - A	137,3	139,3	11,1	11,5	14,8	14,9	476,5	480,2	1,1	1,1	19,0	19,2
5 - B	141,3		11,9		15,0		484,0		1,1		19,5	
7 - A	140,2	141,5	11,4	11,6	14,9	15,0	550,4	549,0	1,3	1,3	19,2	19,4
7 - B	142,8		11,8		15,1		547,6		1,3		19,7	
9 - A	140,8	141,9	11,7	11,7	14,7	14,8	604,0	616,2	1,4	1,4	19,5	19,7
9 - B	142,9		11,7		15,0		628,4		1,4		20,0	
11 - A	136,9	138,8	10,9	11,1	14,9	14,9	681,2	697,2	1,6	1,6	19,7	20,1
11 - B	140,7		11,3		14,8		713,2		1,6		20,4	
13 - A	147,9	145,7	12,0	11,7	15,2	15,0	786,9	784,3	1,9	1,9	21,3	21,1
13 - B	143,5		11,4		14,8		781,8		1,8		21,0	
15 - A	146,7	145,0	11,7	11,6	14,6	14,5	762,0	767,7	1,9	1,9	21,5	21,4
15 - B	143,2		11,5		14,4		773,3		1,9		21,2	
17 - A	130,0	132,1	9,8	10,0	13,2	13,3	653,2	659,4	1,6	1,6	19,9	20,0
17 - B	134,3		10,3		13,4		665,5		1,6		20,1	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	130,7	129,7	9,5	9,5	13,0	12,8	627,9	630,5	1,7	1,7	20,3	20,2
19 - B	128,7		9,4		12,6		633,0		1,7		20,0	
21 - A	127,1	126,0	8,8	8,7	12,3	12,1	549,4	550,4	1,6	1,6	20,2	20,0
21 - B	124,9		8,7		12,0		551,4		1,6		19,7	
23 - A	131,5	130,0	9,6	9,3	12,4	12,3	597,5	591,7	1,8	1,8	21,1	20,7
23 - B	128,4		8,9		12,1		586,0		1,8		20,4	
25 - A	124,8	127,1	8,4	8,9	12,0	12,0	559,7	565,5	1,6	1,6	19,8	20,2
25 - B	129,5		9,3		12,0		571,3		1,7		20,6	
27 - A	127,8	128,8	9,5	9,5	5,9	6,0	545,8	549,4	1,6	1,7	20,5	20,6
27 - B	129,8		9,5		6,0		552,9		1,7		20,7	
29 - A	129,9	129,3	9,1	9,2	7,0	6,3	519,7	521,4	1,6	1,6	20,3	20,3
29 - B	128,8		9,2		5,7		523,2		1,5		20,4	
31 - A	130,7	131,5	9,6	9,6	5,9	6,0	555,8	556,8	1,7	1,7	20,7	20,8
31 - B	132,4		9,6		6,0		557,7		1,7		21,0	
33 - A	123,4	122,6	8,3	8,3	5,2	5,2	477,3	481,1	1,5	1,5	19,9	19,9
33 - B	121,8		8,4		5,2		485,0		1,5		19,8	
35 - A	119,4	118,8	6,7	6,7	3,9	3,9	401,3	393,4	1,2	1,2	17,4	17,3
35 - B	118,1		6,7		3,8		385,5		1,2		17,3	
37 - A	127,7	128,4	7,1	6,9	3,2	3,1	288,0	289,9	1,0	0,9	17,2	17,0
37 - B	129,2		6,8		3,0		291,8		0,9		16,9	
39 - A	133,3	131,0	9,3	8,9	5,0	4,8	345,5	338,9	1,2	1,2	20,3	20,0
39 - B	128,7		8,5		4,6		332,2		1,2		19,7	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	122,7	124,7	7,7	7,9	4,0	4,2	310,0	313,9	1,0	1,0	18,8	19,0
41 - B	126,7		8,1		4,3		317,7		1,0		19,3	
43 - A	127,1	128,5	8,4	8,5	4,3	4,3	299,4	302,5	1,0	1,0	19,1	20,1
43 - B	129,9		8,6		4,4		305,6		1,0		21,1	
45 - A	133,8	133,8	9,6	9,6	4,5	4,5	238,3	237,4	0,7	0,7	18,2	18,3
45 - B	133,8		9,6		4,5		236,6		0,7		18,3	
47 - A	131,9	133,0	9,6	9,7	4,4	4,4	205,7	208,7	0,6	0,6	17,2	17,3
47 - B	134,2		9,8		4,4		211,7		0,7		17,4	
49 - A	128,9	129,2	9,2	9,2	4,1	4,2	201,2	197,6	0,6	0,6	17,0	17,0
49 - B	129,5		9,3		4,4		193,9		0,6		17,0	
51 - A	136,1	137,1	9,6	9,6	5,0	4,5	149,7	150,5	0,4	0,4	16,3	16,3
51 - B	138,1		9,6		3,9		151,2		0,4		16,3	
53 - A	136,7	135,4	9,3	9,0	3,5	3,4	110,6	108,8	0,3	0,3	15,6	15,3
53 - B	134,1		8,8		3,3		106,9		0,3		15,1	

Tabela 58: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-19.

Testemunho T-19												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	170,5	165,6	18,3	17,8	16,9	16,3	550,2	547,0	1,5	1,4	22,5	22,0
1 - B	160,7		17,2		15,8		543,7		1,4		21,5	
3 - A	162,8	160,3	17,3	17,1	16,1	15,9	554,8	546,9	1,4	1,4	22,0	21,9
3 - B	157,8		16,9		15,7		539,1		1,4		21,8	
5 - A	160,6	159,4	17,4	17,1	15,9	15,8	551,2	555,0	1,4	1,4	22,1	22,0
5 - B	158,2		16,9		15,8		558,8		1,4		22,0	
7 - A	161,7	163,7	17,1	17,2	15,9	16,0	619,3	623,7	1,5	1,6	22,5	22,9
7 - B	165,7		17,3		16,0		628,0		1,6		23,2	
9 - A	171,8	170,2	18,3	18,3	16,8	16,7	654,8	643,6	1,6	1,6	23,6	23,6
9 - B	168,6		18,3		16,6		632,4		1,7		23,5	
11 - A	176,1	176,6	18,9	19,0	17,4	17,4	671,1	663,5	1,7	1,7	24,6	24,5
11 - B	177,2		19,2		17,4		656,0		1,7		24,4	
13 - A	179,4	178,0	19,4	19,2	17,7	17,6	655,6	650,2	1,7	1,7	24,8	24,9
13 - B	176,7		18,9		17,4		644,9		1,7		24,9	
15 - A	175,1	175,8	18,7	18,8	17,4	17,5	645,2	655,7	1,6	1,7	24,4	24,7
15 - B	176,4		18,9		17,6		666,3		1,7		25,1	
17 - A	178,0	178,0	18,7	18,8	18,6	18,0	689,5	705,9	1,9	1,8	25,4	25,3
17 - B	178,0		18,8		17,3		722,3		1,7		25,1	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	180,6	176,6	18,8	18,6	17,7	17,4	758,8	744,3	1,9	1,9	25,9	25,6
19 - B	172,6		18,3		17,1		729,8		1,8		25,2	
21 - A	175,9	180,1	18,2	18,7	17,1	17,4	789,3	807,1	2,0	2,0	25,5	26,1
21 - B	184,3		19,2		17,7		824,9		2,0		26,6	
23 - A	174,8	174,4	18,1	18,1	16,5	16,6	859,9	847,8	2,0	2,0	25,3	25,3
23 - B	173,9		18,1		16,7		835,8		2,0		25,4	
25 - A	172,8	171,3	17,6	17,4	16,3	16,2	1197,0	1190,3	2,7	2,7	26,1	25,9
25 - B	169,8		17,2		16,0		1183,6		2,7		25,7	
27 - A	164,6	164,1	16,6	16,5	15,3	15,2	1257,0	1255,2	2,8	2,8	25,1	25,0
27 - B	163,6		16,4		15,1		1253,3		2,8		24,9	
29 - A	161,2	159,3	16,1	15,8	14,8	14,6	1168,8	1178,0	2,8	2,8	25,3	25,1
29 - B	157,5		15,6		14,4		1187,2		2,7		25,0	
31 - A	155,7	157,8	15,4	15,6	13,9	14,1	1050,8	1090,8	2,7	2,8	25,1	25,4
31 - B	159,8		15,9		14,3		1130,9		2,9		25,8	
33 - A	149,0	146,7	15,0	14,6	12,6	12,4	859,3	845,5	2,6	2,5	24,7	24,5
33 - B	144,3		14,2		12,2		831,7		2,5		24,4	
35 - A	140,8	137,8	13,4	13,0	11,3	10,9	666,6	657,4	2,3	2,1	24,1	23,4
35 - B	134,8		12,6		10,6		648,2		2,0		22,7	
37 - A	134,1	134,4	12,4	12,6	10,3	10,4	569,4	576,3	2,0	2,0	22,4	22,6
37 - B	134,8		12,7		10,5		583,2		2,0		22,9	
39 - A	136,7	138,5	12,9	13,1	10,5	10,7	584,9	595,8	2,0	2,0	23,0	23,2
39 - B	140,2		13,2		10,8		606,8		2,1		23,4	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	135,7	137,6	12,5	12,9	10,2	10,4	562,0	575,5	1,9	2,0	22,2	22,8
41 - B	139,5		13,2		10,6		588,9		2,0		23,4	
43 - A	142,1	140,9	13,4	13,3	10,7	10,7	595,7	594,9	2,0	2,0	23,4	23,3
43 - B	139,7		13,1		10,7		594,2		2,0		23,1	
45 - A	143,5	141,9	13,7	13,7	11,0	10,9	585,7	576,9	2,0	2,0	23,8	23,6
45 - B	140,4		13,6		10,8		568,1		2,1		23,4	
47 - A	141,9	142,5	13,6	13,7	10,7	10,7	525,6	535,5	2,0	2,0	23,6	23,7
47 - B	143,0		13,8		10,8		545,5		2,0		23,7	
49 - A	138,6	140,6	13,2	13,3	10,3	10,5	493,3	500,1	1,9	1,9	23,1	23,4
49 - B	142,5		13,5		10,6		506,8		1,9		23,8	
51 - A	144,9	143,9	14,0	13,9	10,6	10,6	480,0	475,5	1,8	1,8	23,9	23,9
51 - B	142,9		13,8		10,5		471,0		1,8		23,8	
53 - A	143,2	142,5	13,6	13,5	10,2	10,2	443,0	441,0	1,7	1,7	23,5	23,3
53 - B	141,9		13,3		10,2		438,9		1,7		23,1	
55 - A	137,7	139,3	12,7	12,9	9,4	9,7	381,8	384,9	1,5	1,5	22,3	22,6
55 - B	140,9		13,1		10,0		388,0		1,5		22,9	
57 - A	131,1	133,6	11,7	11,9	8,5	24,0	312,2	319,8	1,2	1,2	20,0	20,4
57 - B	136,1		12,2		39,6		327,4		1,3		20,7	
59 - A	146,1	146,4	14,4	14,3	10,0	10,0	348,0	352,5	1,3	1,4	22,2	22,2
59 - B	146,7		14,2		10,0		357,1		1,4		22,3	

Tabela 59: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-20.

Testemunho T-20												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	157,8	159,0	17,1	17,3	16,9	17,1	497,3	490,6	1,4	1,4	21,2	21,3
1 - B	160,2		17,5		17,2		484,0		1,4		21,4	
3 - A	165,9	166,8	18,3	18,5	17,6	17,7	522,6	523,3	1,5	1,5	22,3	22,4
3 - B	167,8		18,7		17,8		523,9		1,5		22,6	
5 - A	171,5	170,7	18,9	18,7	17,6	17,5	555,9	551,8	1,6	1,6	22,7	22,6
5 - B	169,8		18,6		17,5		547,6		1,6		22,6	
7 - A	174,8	179,1	19,0	19,7	17,9	18,3	581,6	590,8	1,7	1,7	23,1	23,5
7 - B	183,4		20,3		18,7		600,0		1,8		24,0	
9 - A	174,8	175,9	19,2	19,2	18,3	18,2	597,9	603,4	2,0	1,9	24,2	24,0
9 - B	177,0		19,2		18,1		608,8		1,8		23,9	
11 - A	173,6	174,3	18,9	19,0	18,0	18,0	594,1	591,4	1,8	1,8	23,6	23,6
11 - B	174,9		19,1		18,0		588,7		1,8		23,7	
13 - A	175,1	172,8	19,1	19,0	18,2	18,0	566,0	565,8	1,7	1,7	23,6	23,4
13 - B	170,4		18,8		17,7		565,6		1,7		23,3	
15 - A	167,7	169,7	18,4	18,5	17,5	17,6	568,5	568,4	1,6	1,6	26,4	26,6
15 - B	171,6		18,6		17,7		568,4		1,6		26,9	
17 - A	173,4	172,4	19,3	19,1	18,1	17,9	562,8	554,1	1,6	1,6	23,6	23,5
17 - B	171,3		18,9		17,7		545,4		1,6		23,3	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	169,5	167,8	18,6	18,3	17,6	17,4	558,4	546,6	1,6	1,6	23,2	23,1
19 - B	166,1		18,0		17,2		534,7		1,6		23,1	
21 - A	169,4	171,0	18,4	18,6	17,5	17,6	514,6	523,7	1,5	1,5	23,3	23,4
21 - B	172,7		18,9		17,7		532,9		1,6		23,5	
23 - A	165,5	166,3	18,1	18,2	17,3	17,4	520,2	518,4	1,5	1,5	22,8	23,0
23 - B	167,2		18,4		17,5		516,6		1,5		23,1	
25 - A	162,8	162,5	17,7	17,7	17,1	17,1	546,5	534,4	1,6	1,6	22,9	22,9
25 - B	162,2		17,6		17,1		522,3		1,6		23,0	
27 - A	165,6	166,1	18,3	18,2	17,3	17,3	525,5	528,8	1,6	1,6	23,2	23,3
27 - B	166,5		18,1		17,3		532,0		1,6		23,4	
29 - A	162,6	161,2	17,8	17,5	16,8	16,6	557,3	555,0	1,7	1,8	23,5	23,4
29 - B	159,8		17,2		16,5		552,7		1,8		23,4	
31 - A	164,5	162,6	17,8	17,4	16,9	16,7	627,0	616,5	1,9	1,8	23,6	23,2
31 - B	160,6		17,0		16,4		606,0		1,8		22,9	
33 - A	172,8	173,4	18,6	18,8	18,2	18,3	601,6	619,3	1,9	1,9	24,5	24,4
33 - B	174,1		19,1		18,3		637,0		1,8		24,2	
35 - A	176,8	174,3	19,2	19,0	18,6	18,3	593,0	583,1	1,8	1,8	24,7	24,6
35 - B	171,8		18,8		18,1		573,2		1,8		24,6	
37 - A	170,5	167,6	18,1	17,8	18,0	17,7	707,7	695,0	2,1	2,1	24,9	24,5
37 - B	164,7		17,5		17,4		682,3		2,0		24,2	
39 - A	162,9	164,5	16,9	17,0	15,7	15,8	1367,7	1366,7	3,4	3,5	26,2	26,3
39 - B	166,1		17,2		15,9		1365,7		3,5		26,4	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	151,3	150,4	15,4	15,3	14,3	14,1	1066,1	1077,5	3,1	3,1	24,3	24,1
41 - B	149,6		15,1		13,9		1088,9		3,1		23,9	
43 - A	150,4	149,7	15,2	15,2	13,7	13,6	909,6	920,1	2,9	2,9	24,3	24,2
43 - B	149,1		15,3		13,5		930,6		2,9		24,1	
45 - A	149,7	152,1	15,1	15,5	13,3	13,5	785,2	800,2	2,9	3,0	24,8	25,1
45 - B	154,5		15,9		13,7		815,1		3,0		25,3	
47 - A	134,4	132,9	13,3	13,2	10,5	10,4	512,8	517,0	2,1	2,1	21,7	21,6
47 - B	131,4		13,0		10,3		521,3		2,0		21,5	
49 - A	124,4	128,2	12,0	12,4	9,6	9,8	436,8	441,9	1,8	1,9	20,5	21,0
49 - B	132,1		12,7		10,1		447,0		1,9		21,4	
51 - A	140,3	140,9	14,1	14,1	10,7	10,8	494,6	501,8	2,0	2,0	22,4	22,4
51 - B	141,6		14,0		10,8		509,1		2,0		22,5	
53 - A	137,0	133,5	13,6	13,2	10,5	10,3	498,2	483,1	2,1	2,0	22,1	21,7
53 - B	130,1		12,8		10,0		468,0		1,9		21,3	
55 - A	136,7	133,5	13,5	13,2	10,4	10,1	459,7	462,4	1,9	1,8	22,0	21,5
55 - B	130,4		12,8		9,9		465,1		1,7		21,0	
57 - A	132,3	131,8	12,9	12,9	9,6	9,6	410,3	411,3	1,7	1,7	21,1	21,0
57 - B	131,4		12,9		9,6		412,2		1,7		20,9	
59 - A	121,6	121,2	11,7	11,6	8,5	8,5	329,1	331,7	1,3	1,3	19,1	19,1
59 - B	120,8		11,5		8,5		334,2		1,4		19,1	
61 - A	116,7	119,0	11,0	11,3	8,1	8,3	284,4	290,4	1,2	1,3	18,6	19,0
61 - B	121,2		11,6		8,5		296,4		1,3		19,3	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
63 - A	126,9	126,5	12,4	12,4	8,7	8,6	291,8	286,7	1,3	1,3	20,2	20,1
63 - B	126,0		12,3		8,6		281,5		1,2		20,0	
65 - A	115,9	121,5	11,1	11,6	7,7	8,1	243,2	253,9	1,0	1,1	19,0	19,5
65 - B	127,1		12,1		8,4		264,5		1,2		20,0	

Tabela 60: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-26.

Testemunho T-26												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	163,7	161,3	18,4	18,0	18,1	17,8	555,5	556,1	1,8	1,8	22,6	22,3
1 - B	159,0		17,7		17,5		556,6		1,8		22,0	
3 - A	168,3	166,4	18,6	18,4	18,3	18,1	628,3	620,5	2,0	2,0	23,2	23,1
3 - B	164,4		18,2		17,8		612,8		1,9		22,9	
5 - A	172,3	169,5	19,2	18,8	19,0	18,6	630,8	604,8	2,1	2,1	24,0	23,5
5 - B	166,7		18,5		18,1		578,8		2,1		23,1	
7 - A	170,8	170,6	19,0	19,0	18,6	18,7	622,9	624,8	2,1	2,0	24,1	23,9
7 - B	170,4		19,0		18,7		626,6		2,0		23,6	
9 - A	174,6	170,6	19,7	19,3	19,3	18,9	686,3	696,0	2,3	2,3	24,5	24,2
9 - B	166,7		18,9		18,6		705,7		2,2		24,0	
11 - A	157,5	159,2	17,5	17,6	17,5	17,7	749,5	750,8	2,3	2,3	23,3	23,5
11 - B	160,9		17,8		17,9		752,0		2,3		23,6	
13 - A	169,1	168,0	18,5	18,5	18,3	18,0	922,9	903,5	3,0	2,9	25,2	25,0
13 - B	166,8		18,5		17,7		884,0		2,9		24,9	
15 - A	169,0	166,6	18,6	18,3	17,7	17,4	1147,8	1145,1	3,5	3,6	25,5	25,4
15 - B	164,2		18,0		17,2		1142,4		3,6		25,3	
17 - A	165,8	166,4	18,2	18,4	17,6	17,6	1392,3	1369,9	4,1	4,1	25,6	25,7
17 - B	166,9		18,5		17,7		1347,5		4,0		25,9	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	159,2	158,4	17,8	17,6	15,5	15,8	937,7	934,3	3,3	3,2	25,4	25,3
19 - B	157,6		17,4		16,0		930,9		3,1		25,2	
21 - A	174,9	171,8	20,0	19,7	15,0	14,7	616,7	616,2	3,0	2,9	27,3	26,9
21 - B	168,7		19,4		14,4		615,7		2,8		26,5	
23 - A	168,7	168,4	18,9	19,0	13,4	13,2	408,8	413,0	2,1	2,1	25,1	25,1
23 - B	168,2		19,1		12,9		417,2		2,1		25,1	
25 - A	163,5	161,3	18,6	18,2	12,2	12,1	348,4	339,5	1,8	1,8	24,0	23,8
25 - B	159,2		17,8		11,9		330,5		1,8		23,6	
27 - A	166,0	165,7	18,8	18,7	13,1	12,7	351,3	352,0	1,9	1,9	24,6	24,5
27 - B	165,4		18,6		12,3		352,6		1,8		24,5	
29 - A	165,3	162,5	18,6	18,3	12,1	12,0	339,7	340,6	1,8	1,8	24,5	24,3
29 - B	159,6		18,0		11,9		341,5		1,8		24,0	
31 - A	161,4	161,5	18,1	18,1	11,7	11,8	314,6	315,4	1,7	1,7	23,7	23,7
31 - B	161,7		18,1		11,9		316,2		1,7		23,8	
33 - A	165,3	172,3	18,8	19,1	11,8	11,9	307,3	303,5	1,6	1,6	23,7	24,2
33 - B	179,4		19,4		12,1		299,7		1,7		24,7	
35 - A	170,6	171,1	19,4	19,5	11,7	11,6	263,3	266,6	1,4	1,4	23,1	23,2
35 - B	171,5		19,6		11,5		270,0		1,3		23,3	
37 - A	170,2	169,1	19,7	19,6	11,3	11,2	252,5	252,1	1,3	1,3	23,1	23,0
37 - B	168,1		19,5		11,1		251,6		1,3		22,9	
39 - A	174,1	175,7	20,0	20,4	11,4	11,5	250,2	248,6	1,3	1,3	23,2	23,4
39 - B	177,3		20,8		11,6		247,0		1,3		23,6	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	169,1	169,6	19,6	19,7	10,9	10,9	225,0	230,0	1,1	1,2	22,4	22,5
41 - B	170,0		19,8		10,9		235,0		1,2		22,6	
43 - A	172,5	174,1	20,1	20,1	10,8	10,8	199,8	198,3	1,0	1,0	22,4	22,4
43 - B	175,7		20,1		10,8		196,8		1,0		22,3	
45 - A	168,1	169,8	19,5	19,6	10,6	10,7	179,5	179,9	0,9	0,9	21,8	21,9
45 - B	171,5		19,7		10,8		180,2		0,9		22,0	
47 - A	164,5	165,8	18,6	18,8	9,5	9,7	108,7	112,8	0,4	0,4	20,4	20,6
47 - B	167,1		18,9		9,8		116,9		0,4		20,8	
49 - A	169,0	168,0	19,2	18,8	9,6	9,6	99,0	98,8	0,2	0,2	20,2	20,2
49 - B	166,9		18,5		9,6		98,6		0,2		20,2	
51 - A	165,3	165,0	18,2	18,0	9,3	9,3	91,2	91,2	0,2	0,2	19,4	19,5
51 - B	164,7		17,9		9,2		91,1		0,2		19,6	
53 - A	163,9	163,0	17,9	17,9	9,1	9,0	87,0	87,2	0,2	0,2	19,2	19,2
53 - B	162,1		17,9		9,0		87,5		0,2		19,1	
55 - A	160,3	161,8	17,2	17,6	8,8	8,9	79,6	81,3	0,1	0,1	18,7	18,8
55 - B	163,3		18,0		9,0		83,1		0,1		18,8	
57 - A	162,7	160,8	17,5	17,3	8,8	8,7	81,2	81,0	0,1	0,1	18,6	18,4
57 - B	158,9		17,1		8,6		80,8		0,1		18,3	
59 - A	164,9	163,5	17,5	17,5	8,6	8,6	77,8	78,1	0,1	0,1	18,4	18,4
59 - B	162,2		17,4		8,6		78,4		0,1		18,3	

Tabela 61: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-28.

Testemunho T-28												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	153,7	151,3	14,0	13,5	16,4	16,1	483,7	477,1	1,8	1,9	25,8	26,2
1 - B	148,9		13,1		15,7		470,4		1,9		26,7	
3 - A	160,0	159,3	14,9	14,7	16,6	16,5	492,0	486,9	1,9	1,9	26,8	26,6
3 - B	158,5		14,5		16,5		481,8		1,9		26,3	
5 - A	167,3	169,4	15,5	15,8	16,8	16,9	530,5	610,6	1,9	1,9	26,1	26,0
5 - B	171,4		16,2		17,1		690,6		1,8		26,0	
7 - A	161,3	158,9	14,7	14,4	17,5	17,2	549,7	544,6	2,1	2,1	28,1	28,1
7 - B	156,5		14,1		16,8		539,6		2,1		28,0	
9 - A	161,0	160,8	14,9	14,9	16,4	16,4	579,4	579,9	2,3	2,2	28,1	28,3
9 - B	160,6		14,9		16,4		580,4		2,2		28,6	
11 - A	155,9	161,2	14,8	15,1	15,9	16,3	578,8	592,7	2,2	2,3	28,7	29,0
11 - B	166,6		15,3		16,7		606,6		2,3		29,4	
13 - A	160,8	162,2	15,2	15,4	16,0	16,3	592,8	598,4	2,1	2,1	26,4	26,3
13 - B	163,5		15,5		16,6		604,0		2,2		26,1	
15 - A	162,3	159,3	15,3	14,7	16,1	15,7	648,9	637,1	2,4	2,4	27,9	28,1
15 - B	156,2		14,2		15,4		625,2		2,4		28,2	
17 - A	147,9	150,4	12,7	12,9	14,2	14,5	623,3	631,7	2,4	2,5	28,4	28,5
17 - B	152,9		13,1		14,8		640,1		2,6		28,7	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	153,4	153,0	13,9	13,9	15,7	15,6	664,1	659,7	2,7	2,7	30,0	29,7
19 - B	152,5		13,9		15,4		655,3		2,6		29,5	
21 - A	152,2	152,2	13,0	13,4	15,6	15,6	668,9	676,2	2,6	2,6	28,0	28,3
21 - B	152,2		13,8		15,5		683,5		2,6		28,6	
23 - A	150,0	152,3	12,9	13,4	13,7	14,0	771,5	786,9	2,6	2,7	29,2	29,1
23 - B	154,7		13,8		14,2		802,3		2,7		29,0	
25 - A	152,7	157,7	13,2	14,2	13,5	14,1	807,3	838,5	3,3	3,2	30,3	29,9
25 - B	162,8		15,2		14,6		869,6		3,1		29,5	
27 - A	152,9	158,6	13,6	14,2	13,5	14,0	807,8	832,7	3,2	3,2	30,6	30,5
27 - B	164,3		14,9		14,5		857,5		3,1		30,5	
29 - A	154,0	155,8	13,4	13,6	13,6	13,7	834,8	845,7	3,2	3,2	29,5	30,0
29 - B	157,6		13,7		13,8		856,7		3,3		30,5	
31 - A	148,3	149,9	12,1	12,2	12,4	12,4	802,4	797,9	3,2	3,1	28,8	28,9
31 - B	151,4		12,3		12,3		793,5		3,1		29,0	
33 - A	157,0	155,7	13,7	13,7	11,7	11,6	676,4	671,3	3,2	3,2	30,3	30,6
33 - B	154,3		13,7		11,5		666,2		3,2		31,0	
35 - A	156,8	159,1	13,6	14,0	11,1	11,2	532,8	536,1	2,8	2,7	30,1	30,0
35 - B	161,3		14,4		11,2		539,4		2,7		30,0	
37 - A	159,9	159,1	14,5	14,4	11,0	11,1	513,8	512,9	2,7	2,7	30,6	30,4
37 - B	158,4		14,4		11,2		512,0		2,6		30,2	
39 - A	157,3	157,6	14,1	14,0	10,9	11,0	487,0	490,7	2,5	2,6	30,1	30,5
39 - B	157,9		14,0		11,2		494,5		2,6		30,8	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
41 - A	154,2	152,2	13,6	13,2	10,6	10,4	475,5	470,6	2,4	2,3	28,7	28,5
41 - B	150,3		12,7		10,1		465,6		2,3		28,2	
43 - A	152,9	155,2	13,5	13,7	10,6	10,7	485,7	486,9	2,5	2,5	29,3	29,5
43 - B	157,6		13,9		10,8		488,1		2,5		29,7	
45 - A	169,5	167,6	15,6	15,4	12,0	11,8	553,7	546,3	3,0	3,0	32,5	32,5
45 - B	165,6		15,1		11,7		538,8		3,0		32,5	
47 - A	168,1	169,0	15,7	15,9	12,1	12,1	535,2	540,9	3,0	3,0	33,2	33,2
47 - B	169,9		16,1		12,2		546,7		3,1		33,2	
49 - A	146,0	152,0	13,0	13,7	9,7	10,1	381,1	393,6	2,1	2,1	29,2	29,2
49 - B	158,0		14,4		10,5		406,0		2,2		29,1	
51 - A	155,6	154,7	14,1	13,9	9,7	9,6	342,6	340,6	1,9	1,8	29,3	28,6
51 - B	153,8		13,7		9,5		338,7		1,8		27,9	
53 - A	156,6	154,2	13,8	13,6	9,8	9,4	321,7	315,4	1,6	1,6	27,2	27,5
53 - B	151,8		13,4		9,0		309,0		1,7		27,7	
55 - A	144,2	143,7	11,9	12,1	8,5	8,4	263,3	262,2	1,3	1,3	25,3	25,4
55 - B	143,1		12,3		8,3		261,1		1,3		25,5	
57 - A	157,7	149,1	14,1	12,8	9,3	8,5	260,5	244,5	1,3	1,3	25,8	25,3
57 - B	140,5		11,5		7,8		228,6		1,2		24,8	
59 - A	142,5	145,4	12,0	12,4	7,8	8,3	197,9	204,5	0,9	0,9	24,3	24,1
59 - B	148,3		12,8		8,7		211,0		0,9		23,8	
61 - A	141,9	143,2	12,1	12,1	7,7	7,6	160,1	161,3	0,7	0,7	22,5	22,6
61 - B	144,4		12,2		7,6		162,5		0,7		22,7	

Tabela 62: Determinação de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb em testemunho sedimentar, T-31.

Testemunho T-31												
Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
1 - A	150,0	150,9	18,6	18,8	17,3	17,4	563,5	556,2	1,5	1,5	21,6	21,7
1 - B	151,7		18,9		17,5		548,9		1,6		21,7	
3 - A	167,7	168,8	21,3	21,1	19,5	19,5	504,7	503,9	1,8	1,8	24,2	24,1
3 - B	169,8		21,0		19,5		503,0		1,9		24,0	
5 - A	168,0	165,4	21,3	20,8	19,4	19,3	581,0	568,4	1,8	1,7	24,0	23,7
5 - B	162,8		20,4		19,1		555,8		1,7		23,4	
7 - A	166,0	166,3	20,9	20,9	19,2	19,2	581,9	579,7	1,8	1,8	23,7	23,8
7 - B	166,6		20,8		19,2		577,5		1,8		23,9	
9 - A	153,6	150,5	19,4	19,0	18,0	17,5	572,3	568,8	1,6	1,6	21,9	21,4
9 - B	147,4		18,7		16,9		565,3		1,5		20,8	
11 - A	165,7	166,3	20,8	20,9	19,4	19,5	566,4	568,5	1,8	1,8	23,7	23,6
11 - B	167,0		21,0		19,6		570,6		1,8		23,6	
13 - A	169,3	169,6	21,2	21,2	20,0	19,9	581,6	584,5	1,8	1,8	24,0	24,0
13 - B	170,0		21,2		19,9		587,5		1,8		24,0	
15 - A	163,7	164,8	20,8	21,0	19,3	19,5	571,8	577,5	1,8	1,8	23,8	23,7
15 - B	165,8		21,1		19,6		583,3		1,9		23,6	
17 - A	162,3	162,4	20,5	20,6	19,5	19,3	704,5	710,3	2,4	2,3	23,4	23,3
17 - B	162,4		20,6		19,0		716,0		2,3		23,3	

Profundidade média (cm) / replicata	Concentração (mg kg ⁻¹)											
	cromo	média	níquel	média	cobre	média	zinco	média	cádmio	média	chumbo	média
19 - A	152,4	153,2	19,4	19,5	16,7	16,8	1001,1	1035,5	3,1	3,1	23,0	23,3
19 - B	154,0		19,6		16,8		1069,9		3,1		23,6	
21 - A	173,3	171,8	22,4	21,9	19,7	19,2	1002,2	994,4	3,4	3,4	26,8	26,5
21 - B	170,4		21,4		18,6		986,6		3,4		26,2	
23 - A	170,7	168,4	21,7	21,5	18,9	18,5	1025,4	1045,3	3,6	3,5	27,1	26,6
23 - B	166,2		21,3		18,1		1065,2		3,4		26,0	
25 - A	171,2	169,7	21,8	21,7	17,8	17,7	1038,7	1051,7	4,0	4,0	27,4	27,5
25 - B	168,3		21,6		17,6		1064,6		4,0		27,5	
27 - A	162,9	166,5	21,0	21,2	17,1	17,3	1033,4	1042,9	3,9	3,9	26,8	27,2
27 - B	170,1		21,4		17,6		1052,3		3,9		27,6	
29 - A	168,1	167,2	21,4	21,3	17,6	17,5	1089,4	1089,7	4,0	4,0	27,6	27,5
29 - B	166,2		21,2		17,4		1089,9		3,9		27,4	
31 - A	169,3	170,8	21,7	21,8	17,7	17,8	1015,3	1029,7	4,0	4,0	28,4	28,5
31 - B	172,3		21,8		17,8		1044,1		4,0		28,5	
33 - A	162,7	165,8	20,9	21,3	16,5	16,7	954,5	954,4	3,8	3,9	27,4	28,0
33 - B	168,8		21,6		17,0		954,2		4,0		28,6	
35 - A	169,5	169,3	21,5	21,5	16,8	16,8	913,5	919,1	4,0	3,9	29,7	29,6
35 - B	169,2		21,5		16,7		924,6		3,9		29,5	
37 - A	171,0	170,8	22,0	21,8	16,8	16,6	911,3	911,0	4,1	4,0	29,4	29,0
37 - B	170,5		21,6		16,4		910,7		3,9		28,6	

ANEXO F – Datação com ^{210}Pb

Testemunho T-13 / modelo CF:CR							
Profundidade média (cm)	Massa Acumulada (g cm^{-2})	$^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ (mBq g^{-1})	erro	$^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ (mBq g^{-1})	erro	Idade	erro
1	0,19	77,23	1,67	61,86	2,01	2016,8	---
3	0,60	73,40	1,58	58,02	1,93	2015,0	0,1
5	1,13	67,26	1,60	51,88	1,95	2013,5	0,2
7	1,74	63,61	1,56	48,23	1,92	2011,7	0,3
9	2,39	55,23	1,55	39,85	1,91	2009,8	0,5
11	3,09	55,23	1,51	39,85	1,88	2007,7	0,6
13	3,91	54,67	1,45	39,29	1,83	2005,3	0,7
15	4,73	50,97	1,55	35,59	1,91	2002,8	0,9
17	5,57	48,16	1,45	32,78	1,83	2000,3	1,0
19	6,44	47,23	1,41	31,85	1,80	1997,8	1,1
21	7,30	45,88	1,35	30,50	1,75	1995,2	1,2
23	8,19	43,72	1,35	28,34	1,76	1992,6	1,4
25	9,13	31,23	1,26	15,85	1,68	1989,8	1,4
27	10,17	32,57	5,13	17,19	5,25	1986,8	6,4
29	11,22	40,40	5,36	25,02	5,48	1983,7	7,3
31	12,31	31,44	1,33	16,06	1,73	1980,4	2,0
33	13,58	32,65	1,40	17,27	1,79	1976,7	2,3
35	14,94	29,88	1,27	14,50	1,69	1972,7	2,3
37	16,36	29,82	1,29	14,44	1,71	1968,5	2,6
39	18,03	20,98	1,12	5,60	1,58	1963,5	2,5
41	19,69	15,38	1,12				

Testemunho T-18 / modelo CF:CR							
Profundidade média (cm)	Massa Acumulada (g cm ⁻²)	²¹⁰ Pb _{total} (mBq g ⁻¹)	erro	²¹⁰ Pb _{exc} (mBq g ⁻¹)	erro	Idade	erro
1	0,16	79,37	1,80	63,67	2,16	2016,8	---
3	0,59	79,14	1,70	63,44	2,08	2014,6	0,4
5	1,15	73,14	1,68	57,44	2,06	2012,4	0,6
7	1,87	65,13	1,61	49,43	2,00	2009,6	0,7
9	2,73	57,13	1,78	41,43	2,15	2006,3	0,9
11	3,61	58,23	1,75	42,54	2,12	2003,0	0,9
13	4,44	56,44	1,59	40,74	1,99	1999,8	0,8
15	5,31	44,71	1,52	29,02	1,93	1996,5	0,8
17	6,26	42,30	1,39	26,60	1,83	1992,8	0,9
19	7,27	33,82	1,32	18,12	1,78	1989,0	0,9
21	8,32	35,81	1,36	20,11	1,81	1984,9	0,9
23	9,45	30,72	1,29	15,02	1,76	1980,6	1,0
25	10,70	28,45	1,29	12,75	1,76	1975,9	1,1
27	11,91	29,45	5,13	13,75	5,27	1971,2	3,1
29	13,13	32,34	5,36	16,64	5,49	1966,6	3,3
31	14,40	31,38	1,26	15,68	1,74	1961,7	1,1
33	15,76	23,58	1,26	7,88	1,74	1956,5	1,2
35	17,26	23,47	1,24	7,77	1,73	1950,8	1,3
37	18,98	19,54	1,16	3,84	1,67	1944,2	1,4
39	20,76	27,02	1,19	11,32	1,69	1937,4	1,5
41	22,55	22,03	1,18	6,33	1,68	1930,5	1,5
43	24,42	23,49	1,18	7,79	1,68	1923,4	1,5
45	26,31	22,09	1,32	6,39	1,78	1916,1	1,7
47	28,27	22,82	1,29	7,12	1,76	1908,6	1,7
49	30,29	23,35	1,18	7,65	1,68	1900,9	1,7
51	32,21	18,17	1,22	2,48	1,71	1893,5	1,6
53	33,76	15,70	1,20				

Testemunho T-19 / modelo CF:CR							
Profundidade média (cm)	Massa Acumulada (g cm ⁻²)	²¹⁰ Pb _{total} (mBq g ⁻¹)	erro	²¹⁰ Pb _{exc} (mBq g ⁻¹)	erro	Idade	erro
1	0,16	90,88	1,80	75,68	2,16	2016,8	---
3	0,53	91,12	1,77	75,92	2,13	2015,1	0,1
5	0,96	87,81	1,77	72,61	2,14	2013,7	0,4
7	1,43	81,77	1,71	66,57	2,09	2012,2	0,6
9	1,97	78,92	1,74	63,72	2,11	2010,5	0,8
11	2,54	81,00	1,78	65,80	2,15	2008,6	1,0
13	3,11	89,84	1,76	74,64	2,13	2006,8	1,2
15	3,68	78,29	1,73	63,09	2,11	2005,0	1,4
17	4,27	76,40	1,67	61,20	2,06	2003,1	1,7
19	4,86	81,61	1,72	66,41	2,10	2001,2	1,9
21	5,44	93,89	1,72	---	2,10	1999,3	2,1
23	6,05	69,82	1,60	54,62	2,00	1997,3	2,4
25	6,67	72,89	1,71	57,69	2,09	1995,4	2,6
27	7,26	62,12	5,13	46,92	5,27	1993,4	2,8
29	7,86	54,74	5,36	39,54	5,49	1991,5	3,1
31	8,49	50,39	1,47	35,19	1,90	1989,5	3,3
33	9,18	40,75	1,48	25,55	1,90	1987,3	3,6
35	9,98	37,98	1,43	22,78	1,86	1984,7	3,9
37	10,91	29,68	1,26	14,48	1,74	1981,7	4,3
39	11,92	47,33	1,39	32,13	1,84	1978,5	4,6
41	12,96	43,44	1,59	28,24	1,99	1975,1	5,0
43	13,99	38,90	1,47	23,70	1,90	1971,8	5,4
45	14,99	35,07	1,50	19,87	1,92	1968,6	5,8
47	16,05	36,91	1,62	21,71	2,02	1965,2	6,3
49	17,14	36,08	1,45	20,88	1,88	1961,7	6,7
51	18,31	20,06	1,22	4,86	1,71	1957,9	7,1
53	19,54	27,54	1,30	12,34	1,77	1953,9	7,6
55	20,88	23,69	1,34	8,49	1,80	1949,6	8,1
57	22,28	---	---	---	---	1945,1	8,7
59	23,51	28,67	1,28	13,47	1,75	1941,2	9,2

Testemunho T-28 / modelo CF:CR							
Profundidade média (cm)	Massa Acumulada (g cm ⁻²)	²¹⁰ Pb _{total} (mBq g ⁻¹)	erro	²¹⁰ Pb _{exc} (mBq g ⁻¹)	erro	Idade	erro
1	0,15	90,31	1,83	74,91	2,15	2016,8	---
3	0,45	92,21	1,85	76,81	2,16	2015,2	0,3
5	0,79	91,71	1,84	76,31	2,15	2013,9	0,4
7	1,17	79,07	1,69	63,67	2,03	2012,5	0,4
9	1,59	82,08	1,82	66,68	2,14	2011,0	0,5
11	2,05	89,06	1,87	73,66	2,18	2009,3	0,5
13	2,55	80,40	1,71	65,00	2,04	2007,4	0,5
15	3,06	68,31	1,56	52,91	1,92	2005,6	0,5
17	3,58	79,24	1,81	63,84	2,13	2003,7	0,6
19	4,11	72,25	1,72	56,85	2,06	2001,7	0,5
21	4,64	64,24	1,65	48,84	2,00	1999,8	0,5
23	5,19	53,46	1,43	38,06	1,82	1997,8	0,5
25	5,75	43,04	1,42	27,64	1,81	1995,7	0,5
27	6,35	54,64	1,54	39,24	1,91	1993,6	0,6
29	6,96	45,45	1,38	30,05	1,78	1991,3	0,5
31	7,57	50,99	1,54	35,59	1,90	1989,1	0,6
33	8,22	42,23	1,53	26,83	1,90	1986,7	0,6
35	8,98	41,39	1,37	25,99	1,77	1983,9	0,7
37	9,75	33,55	1,28	18,15	1,70	1981,1	0,7
39	10,51	36,29	1,42	20,89	1,81	1978,3	0,7
41	11,30	29,72	1,39	14,32	1,79	1975,4	0,7
43	12,08	35,02	1,29	19,62	1,72	1972,5	0,7
45	12,87	35,45	1,36	20,05	1,77	1969,6	0,7
47	13,64	36,89	1,40	21,49	1,79	1966,8	0,7
49	14,40	33,35	1,34	17,95	1,75	1964,0	0,7
51	15,23	28,33	1,21	12,93	1,65	1961,0	0,7
53	16,11	27,12	1,32	11,72	1,73	1957,8	0,8
55	17,11	31,77	1,48	16,37	1,86	1954,1	0,9
57	18,19	25,07	1,25	9,67	1,69	1950,2	0,9
59	19,26	23,17	1,28	7,77	1,71	1946,2	0,9
61	20,39	23,08	1,25	7,68	1,68	1942,1	1,0

Testemunho T-26 / modelo CRS										
Profundidade média (cm)	Massa (g cm ⁻²)	²¹⁰ Pb _{total} (mBq g ⁻¹)	erro	²¹⁰ Pb _{exc} (mBq g ⁻¹)	erro	Fluxo ²¹⁰ Pb (mBq cm ⁻² ano ⁻¹)	Inventário ²¹⁰ Pb (mBq g ⁻¹)	Idade (ano)	Data	erro
1	0,29	78,86	2,76	63,16	3,01	18,48	528,25	0,00	2016,8	---
3	0,33	83,10	1,87	67,40	2,22	22,27	509,76	-1,15	2015,7	2,1
5	0,43	83,03	1,67	67,33	2,05	28,72	487,49	-2,58	2014,2	2,0
7	0,39	77,15	1,68	61,45	2,06	23,91	458,77	-4,53	2012,3	1,6
9	0,44	74,08	1,71	58,38	2,09	25,67	434,86	-6,26	2010,5	1,7
11	0,51	78,72	1,69	63,02	2,08	31,96	409,19	-8,21	2008,6	1,8
13	0,54	66,54	1,53	50,84	1,95	27,29	377,23	-10,83	2006,0	1,8
15	0,42	63,38	1,50	47,68	1,92	20,10	349,94	-13,24	2003,6	1,6
17	0,54	67,17	1,52	51,47	1,94	27,87	329,84	-15,14	2001,7	1,6
19	0,54	59,71	1,49	44,01	1,91	23,63	301,97	-17,98	1998,8	1,6
21	0,72	40,88	1,30	25,18	1,77	18,15	278,34	-20,60	1996,2	1,4
23	0,65	34,26	1,32	18,56	1,78	12,12	260,20	-22,77	1994,0	1,4
25	0,74	35,53	1,33	19,83	1,79	14,68	248,08	-24,30	1992,5	1,6
27	0,69	36,12	5,13	20,42	5,27	14,00	233,40	-26,26	1990,5	5,0
29	0,72	31,27	5,36	15,57	5,49	11,22	219,40	-28,25	1988,5	5,3
31	0,70	33,41	1,32	17,71	1,78	12,31	208,18	-29,94	1986,9	1,5
33	0,70	44,39	1,47	28,69	1,90	20,18	195,86	-31,90	1984,9	1,5
35	0,86	57,15	1,53	41,50	1,94	35,56	175,69	-35,40	1981,4	1,6
37	0,95	33,92	1,31	18,22	1,77	17,25	140,12	-42,67	1974,1	1,4
39	0,98	43,33	1,43	27,63	1,87	27,18	122,88	-46,89	1969,9	1,6
41	1,07	40,23	1,41	24,53	1,85	26,23	95,69	-54,93	1961,9	1,6

Testemunho T-26 / modelo CRS

Profundidade média (cm)	Massa (g cm ⁻²)	²¹⁰ Pb _{total} (mBq g ⁻¹)	erro	²¹⁰ Pb _{exc} (mBq g ⁻¹)	erro	Fluxo ²¹⁰ Pb (mBq cm ⁻² ano ⁻¹)	Inventário ²¹⁰ Pb (mBq g ⁻¹)	Idade (ano)	Data	erro
43	0,90	31,26	1,30	15,56	1,77	14,05	69,47	-65,23	1951,6	1,3
45	1,02	26,19	1,64	10,49	2,03	10,72	55,41	-72,50	1944,3	1,7
47	1,01	21,12	1,23	5,42	1,72	5,46	44,69	-79,41	1937,4	1,3
49	1,07	22,05	1,33	6,35	1,72	6,79	39,23	-83,60	1933,2	0,8
51	0,95	22,98	1,20	7,28	1,70	6,93	32,44	-89,71	1927,1	1,6
53	1,05	23,02	1,21	7,32	1,76	7,68	25,51	-97,44	1919,4	0,9
55	1,20	23,06	1,24	7,36	1,72	8,83	17,84	-108,95	1907,8	1,3

ANEXO G – Perfis Sedimentares

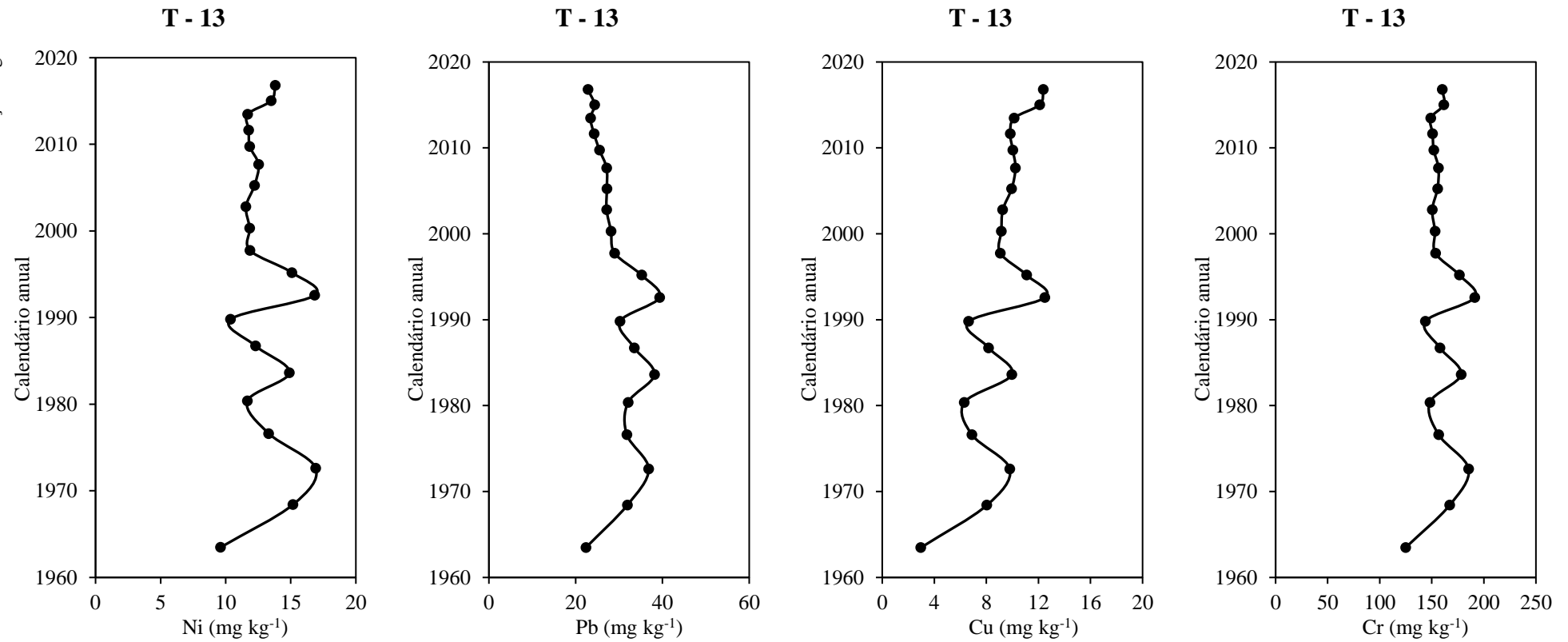


Figura 48: Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-13

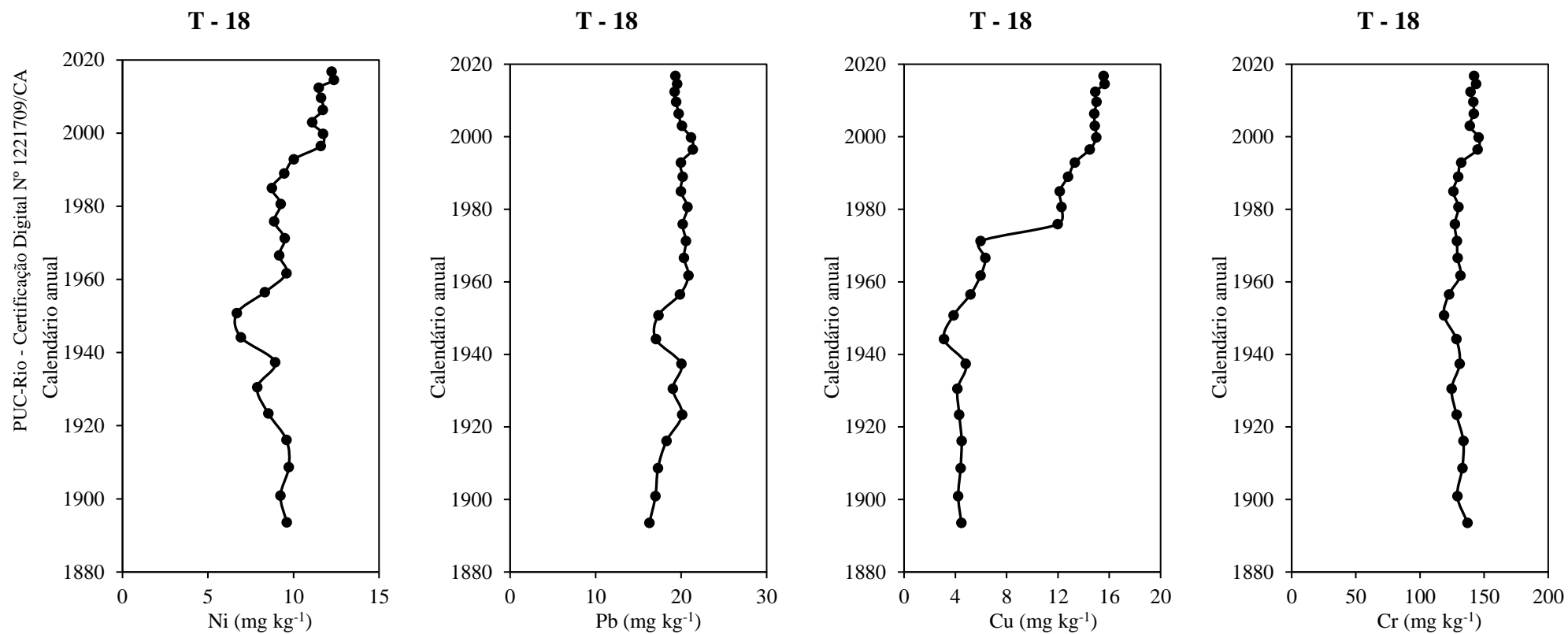


Figura 49: Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-18

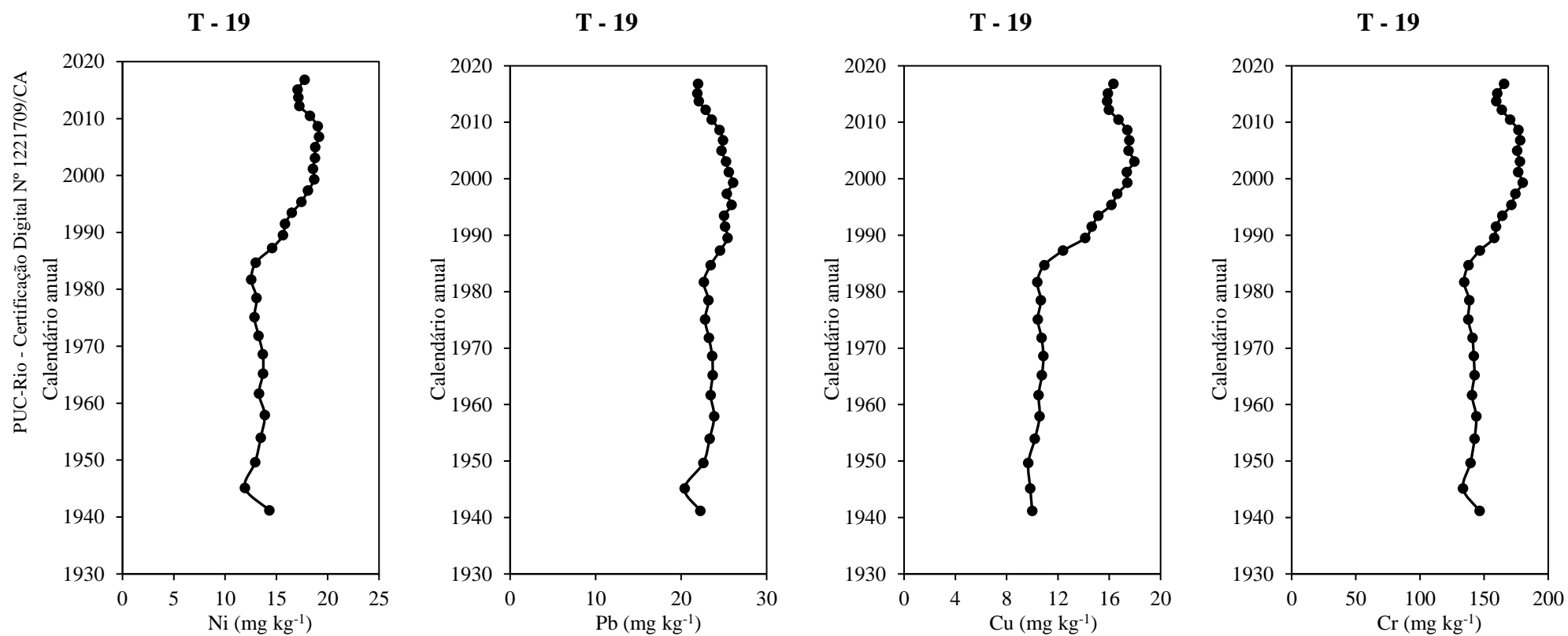


Figura 50: Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-19

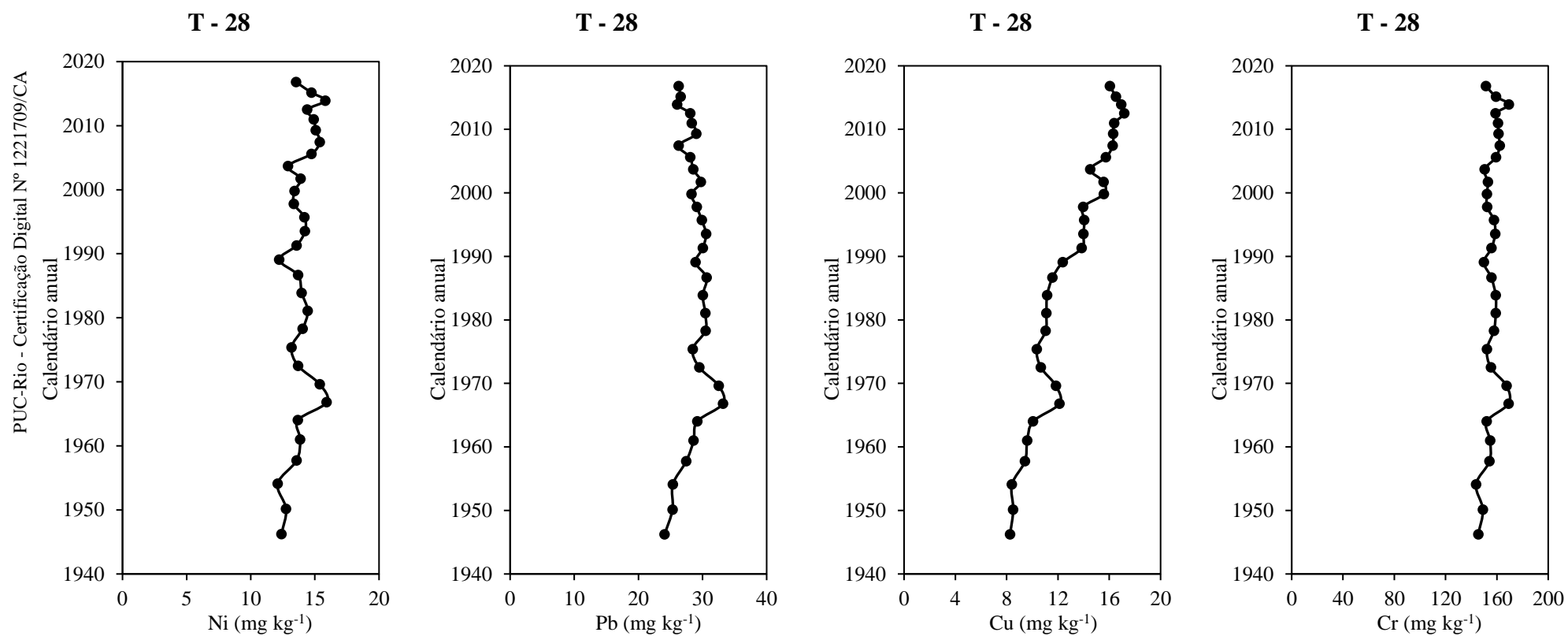


Figura 51 Idade versus concentração de níquel, chumbo, cobre e cromo, testemunho T-28

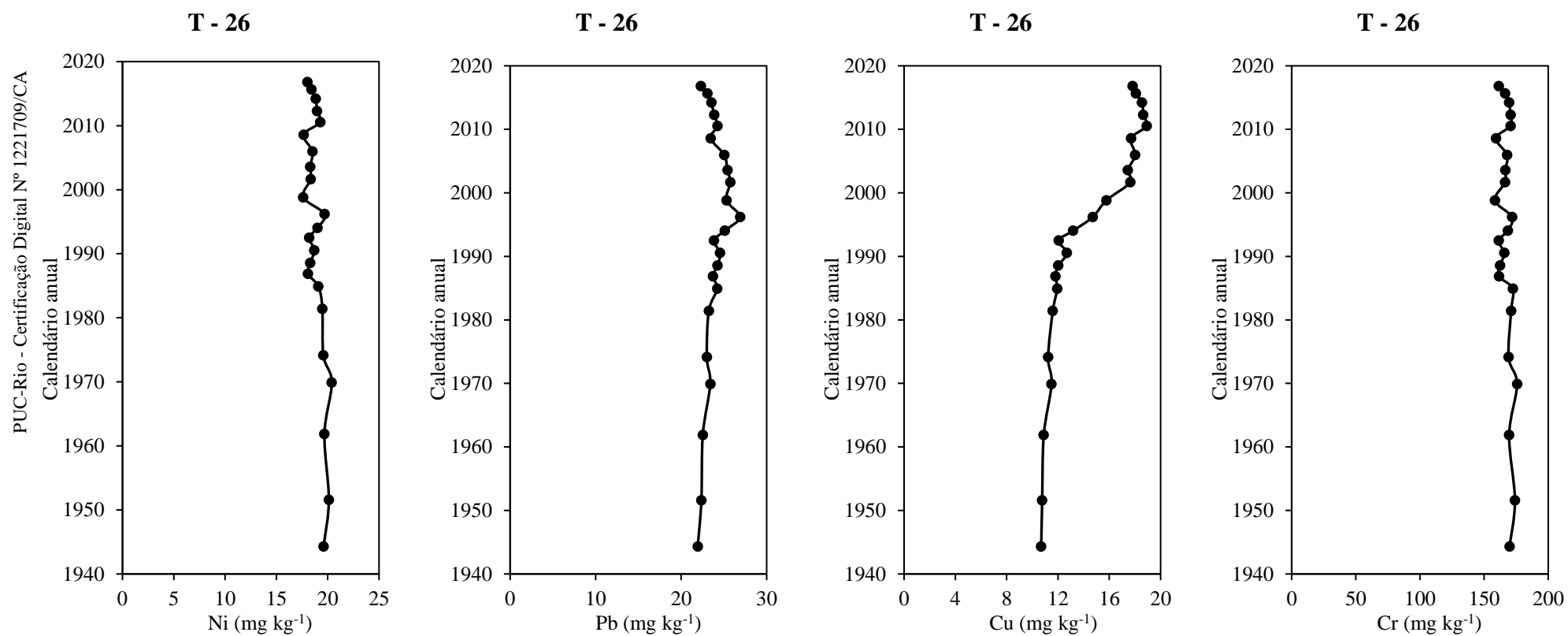


Figura 52: Idade versus concentração de níquel, chumbo e cromo, testemunho T-26