JULIÊ ROSEMBERG SARTORETTO

Resposta do Estuário de Santos e São Vicente às pressões naturais e antropogênicas dos últimos 200 anos

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Química

Orientador: Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira

São Paulo

2019

Universidade de São Paulo

Instituto Oceanográfico

Resposta do Estuário de Santos e São Vicente às pressões naturais e
antropogênicas dos últimos 200 anos

-Versão corrigida-

Juliê Rosemberg Sartoretto

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa
de Oceanografia, área de Oceanografia Química

Julgada em 04/11/2019 por

Dra. Keila Modesto Tramonte

Conceito

Prof. Dra. Déborah Inês Teixeira Fávaro

Conceito

Dr. Lucas Buruaem Moreira

Conceito

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O Antropoceno	1
1.2. A Ocupação da zona litorânea e influência antrópica em estuários	3
1.3. O uso de colunas sedimentares estuarinas em estudos do Antropoceno	5
1.4. Metais em estudos ambientais	7
1.4.1. Contaminação por metais	7
1.4.2. Metais em associação com geocronologia.....	9
1.5. Histórico de ocupação urbano-industrial da Baixada Santista.....	10
1.6. Hipótese do trabalho.....	14
2. OBJETIVOS	16
3. ÁREA DE ESTUDO	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1. Amostragem	21
4.2. Geocronologia Recente	22
4.3. Determinação do teor de metais e As	23
4.3.1. Digestão total dos sedimentos	23
4.3.2. Digestão parcial dos sedimentos	24
4.3.3. Determinação de mercúrio (Hg) por geração de vapor	25
4.3.4. Limites de detecção do equipamento (LDE)	25
4.3.5. Controle analíticos dos resultados	26
4.4. Caracterização sedimentológica.....	29
4.4.1. Determinação da fração menor que 63µm.....	29
4.4.2. Análises de conteúdo de carbonato de cálcio, carbono orgânico e nitrogênio total e das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ por EA-IRMS.....	29

5. RESULTADOS.....	32
5.1. Modelo CRS para determinação das taxas de sedimentação e datação das colunas sedimentares.....	32
5.2. Análises de metais	37
5.2.1. Digestão parcial do sedimento	37
5.2.2. Digestão total do sedimento.....	42
5.2.3. Análise de Hg por geração de vapor.....	46
5.3. Modelagens hidrodinâmicas e teor de sedimentos finos	48
5.4. Análises de COT e isótopos de C e N	51
6. DISCUSSÃO	61
6.1. Contexto Espacial.....	61
6.1.1. Caracterização do ambiente a partir de parâmetros hidrodinâmicos e origem da matéria orgânica.....	61
6.1.2. Caracterização espacial do ambiente a partir do fluxo de metais	65
6.2. Contexto Histórico	75
6.2.1. Balanço sedimentar variando naturalmente	75
6.2.2. Intervenções antrópicas que podem alterar o balanço sedimentar natural.....	77
6.2.2.1. Mudanças na sedimentação devido ao Uso do Solo.....	77
6.2.2.2. Dragagem.....	85
6.2.2.3. Atividades industriais e portuárias	91
7.CONCLUSÃO	97
8.REFERÊNCIAS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tendências de 1750 a 2010 de alguns indicadores de influência antrópica global. (STEFFEN et al. 2015).....	3
Figura 2. Esquema do transporte de ^{210}Pb para o ambiente aquático. Fonte: Zapata; Nguyen (2010), adaptado de Crickmore et al., 1990	10
Figura 3. Histórico de movimentação de cargas do porto de Santos. Fonte: CODESP, 2019	12
Figura 4. Localização das indústrias e terminais da Baixada Santista em 1999. Fonte: Cetesb, 2001	13
Figura 5. Sistema Estuarino Santos e São Vicente	17
Figura 6. Mapa de velocidades médias de correntes obtido a partir de modelagens numéricas (Delft 3D).....	20
Figura 7. Localização dos pontos amostrados.....	21
Figura 8. Perfis de taxa de sedimentação (em cm a^{-1}) ao longo do tempo para os testemunhos estudados.	35
Figura 9. Perfis de fluxo de massa (em $\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$) ao longo do tempo para os testemunhos estudados e histórico de precipitação medida (em mm a^{-1}) e volume de material dragado (em $\text{m}^3 \times 1000$), destaca-se que S3 apresenta valores em escala diferente dos demais.	36
Figura 10. Perfis de concentração (em mg kg^{-1}) de As e metais obtidos a partir do método de digestão parcial do sedimento para os testemunhos S1 e S2.	39
Figura 11. Perfis de concentração (em mg kg^{-1}) de As e metais obtidos a partir do método de digestão parcial do sedimento para os testemunhos S3 e S4, destaca-se que S3 apresenta valores em escalas diferentes dos demais.....	40

Figura 12. Perfis de concentração (em mg kg ⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão parcial do sedimento para os testemunhos S5 e S6.	41
Figura 13. Perfis de concentração (em mg kg ⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão total do sedimento para os testemunhos S1 e S2.	43
Figura 14. Perfis de concentração (em mg kg ⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão total do sedimento para os testemunhos S3 e S4 destaca-se que S3 apresenta valores em escalas diferentes dos demais para alguns elementos....	44
Figura 15. Perfis de concentração (em mg kg ⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão total do sedimento para os testemunhos S5 e S6.	45
Figura 16. Perfis de concentração de Hg (em mg kg ⁻¹) para os testemunhos estudados, destaca-se que S2 e S3 apresentam valores em escalas diferentes dos demais.	47
Figura 17. Mapa das velocidades médias de corrente (em m s ⁻¹) no alto estuário santista.	49
Figura 18. Perfis de teores de sedimentos finos (em %) ao longo dos anos e histórico de precipitação medida (em mm a ⁻¹) e volume de sedimento dragado (em m ³ x 1000).	50
Figura 19. Mapa de estimativa de fonte de matéria orgânica, baseado no modelo de Lamb, Wilson e Leng (2006) para os testemunhos S1, S2 e S3.	52
Figura 20. Mapa de estimativa de fonte de matéria orgânica, baseado no modelo de Lamb, Wilson e Leng (2006) para os testemunhos S4, S5 e S6	52
Figura 21. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S1.	55
Figura 22. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S2.	56
Figura 23. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S3.	57
Figura 24. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S4.	58

Figura 25. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S5.	59
Figura 26. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S6.	60
Figura 27. Mapa de caracterização espacial a partir de parâmetros hidrodinâmicos (intensidade de corrente e teor de sedimentos finos) e origem da matéria orgânica	63
Figura 28. Mapa de Fluxo de Massa médio (em $\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$) para os pontos amostrados.	64
Figura 29. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para As (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	67
Figura 30. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Cr (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	68
Figura 31. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Cu (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	69
Figura 32. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Ni (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	70
Figura 33. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Pb (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	71
Figura 34. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Sc (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	72
Figura 35. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Zn (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).	73
Figura 36. Mapa de fluxo de metais para Hg (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^5$), destaca-se que os testemunhos apresentam valores em diferentes escalas.	74
Figura 37. Histórico da população residente e taxa de crescimento populacional na Baixada Santista.....	78

Figura 38. Imagens aéreas da região de estudo nos anos de 1954, 1984, 1997 e 2012.	82
Figura 39. Imagens do uso e cobertura do solo nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2012.	83
Figura 40. Cobertura do solo em São Vicente nos anos de 1963, 1972, 1987, 1994, 2001 e 2007.....	84
Figura 41. Cartas Náuticas dos anos 1960 (à esquerda) e 1975 (à direita) com as respectivas profundidades.....	88
Figura 42. Cartas Náuticas dos anos 1990 (à esquerda) e 2014 (à direita) com as respectivas profundidades.....	89
Figura 43. Crescimento e expansão do Porto de Santos.	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Coordenadas e comprimento aproximado dos testemunhos coletados no estuário de Santos e São Vicente.	22
Tabela 2. Valores de limite de detecção do método (LDM) e limite de quantificação do método (LQM) para os métodos utilizados, considerando uma imprecisão de 20%. 26	
Tabela 3. Resultados dos MRC SS-1 (n=10) e SS-2 (n=22) para o método de digestão parcial (EPA 3050B, USEPA 1996).	27
Tabela 4. Resultados do MRC SS-2 (n=12) para o método de digestão total (EPA 3052- USEPA, 1996).	28
Tabela 5. Resultados do MRC ERM (n=10) para o método de digestão de mercúrio por geração de vapor (EPA 7471A- USEPA, 1994).	28
Tabela 6. Dados de datação das amostras dos testemunhos estudados.	34
Tabela 7. Principais indústrias do complexo industrial de Cubatão.	93

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para nunca desistir.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira pela paciência, dedicação de sempre, e principalmente pela oportunidade de mais uma parceria.

Ao Prof. Dr. Eduardo Siegle, ao Prof. Dr. Felipe Toledo e à Prof. Dr. Márcia Bicego pelas contribuições durante o exame de qualificação. Ao Prof. Dr. Michel Mahiques pelo auxílio e contribuições.

À minha família: meus pais e meu irmão por estarem ao meu lado em todos os momentos, suportando meus momentos difíceis e me incentivando. Agradeço ao amor condicional.

Ao Renzo, que nunca deixou de acreditar no 'já deu tudo certo', pela cumplicidade e parceria.

Aos meus colegas de laboratório, que tornaram meus dias mais divertidos. Agradeço as parcerias que se formaram e o companheirismo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 142101/2015-0) pelo apoio financeiro e institucional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fomento através do projeto Fapesp (2011/50581-4) no qual o presente trabalho se inseriu.

A todos os professores que permitiram que meu sonho se realizasse e que fizeram crescer o meu amor por essa profissão.

Agradeço todos os funcionários do IO, que gentilmente sempre me auxiliaram, em especial as meninas da Secretaria de Pós Graduação, que sempre me atenderam com paciência e gentileza.

RESUMO

Embora geologicamente recente, a atividade antrópica tem tido grande influência no ambiente global. O termo Antropoceno vem sendo utilizado para marcar uma era na qual os impactos humanos na Terra vem tomando grande força. Embora essa influência seja evidente, muito se discute a respeito do período que se iniciaria. Entre os marcos sugeridos para o início dessa nova era, destaca-se a Revolução Industrial. O estuário de Santos e São Vicente localiza-se em um dos locais mais amplamente povoados e explorados do Estado de São Paulo. Ao longo do Antropoceno, sofreu um intenso processo de urbanização e industrialização que acabou por afetar diretamente seus equilíbrios naturais. O objetivo do presente trabalho foi compreender as variações ocorridas nesse sistema no que diz respeito à deposição de sedimentos e fluxo de metais ao longo dos últimos 150 anos. Para atingir tal objetivo foram analisados: teor de sedimentos finos, isótopos de C e N, fluxos de metais disponíveis e residuais e fluxo de massa em seis colunas sedimentares. A partir desses, foi possível observar que os parâmetros analisados foram efetivos na interpretação das mudanças naturais e antropogênicas ocorridas ao longo do tempo. A origem da matéria orgânica e teor de sedimentos finos permitiram constatar variações naturais ocorridas, demonstrando períodos de maior e menor pluviosidade. Os fluxos de massa coincidiram com o histórico de ocupação da região, aumentando significativamente ao longo do tempo. Testemunhos localizados em regiões primeiramente ocupadas apresentaram variações de fluxo anteriores aos demais. As oscilações no teor de sedimentos finos coincidiram com as atividades de dragagem na região. Já os fluxos de metais residuais e disponíveis permitiram notar uma influência antrópica na deposição de alguns metais no sedimento, coincidindo com o histórico industrial e portuário. Destacou-se, entre os elementos estudados o Hg, que apresentou significativo aumento de fluxo no sistema nos últimos 50 anos.

Palavras chave: Sistema Estuarino de Santos e São Vicente, Fluxo de massa, Geocronologia, Metais, Fluxo de metais

ABSTRACT

Although geologically recent, anthropic activity has had a major influence on the global environment. The term Anthropocene has been used to mark an era in which human impacts on the Earth have been taking great force. Even though this influence is evident, much is discussed about the beginning of such period. Among the milestones suggested as the starting point of this new era is the Industrial Revolution. The Santos and Sao Vicente estuary is located in one of the most widely populated and exploited places in the state of Sao Paulo. Throughout the Anthropocene, the region underwent an intense process of urbanization and industrialization that directly affected its natural balances. The purpose of this work was to understand the variations in this system regarding sediment deposition and metal flow over the last 150 years. To achieve this objective, the following parameters were analyzed: fine sediment content, C and N isotopes, available and residual metal flows and mass flow in six sedimentary columns. From these, it was possible to observe that the parameters analyzed were effective in interpreting the natural and anthropogenic changes that occurred over time. The origin of organic matter and fine sediment content allowed the observation of natural variations, demonstrating periods of higher and lower rainfall. Mass flows coincided with the region's historical occupation, and they have increased significantly over time. Testimonials located in the firstly occupied regions presented previous flow variations when compared to the other. Fluctuations in fine sediment content coincided with dredging activities in the region. The residual and available metal fluxes showed an anthropic influence on the deposition of some metals in the sediment, coinciding with the industrial and portuary history. Among the studied elements, Hg stood out, as its flow has presented a significant increase within the system over the last 50 years.

Keyword: Estuarine System of Santos and São Vicente, Mass accumulation rates, Geochronology, Metals, Metal fluxes

1. INTRODUÇÃO

1.1. O Antropoceno

Embora geologicamente recente, a atividade humana tem tido grande influência no ambiente global. A magnitude, a variedade e a longevidade das mudanças induzidas pelo ser humano levam à reflexão sobre a época geológica a qual vivemos. O termo Antropoceno vem sendo utilizado para marcar uma era na qual os impactos humanos na Terra vêm tomando grande força. (LEWIS e MASLIN, 2015; STEFFEN; CRUTZEN; McNEIL, 2007; ZALASIEWICZ et al., 2011).

Segundo Lewis e Maslin (2015), a atividade humana afeta profundamente o meio ambiente, desde os principais ciclos biogeoquímicos da Terra até a evolução da vida. Diversos são os exemplos dessas intervenções, como é o caso da conversão de nitrogênio em amônia para o uso de fertilizantes, que desde o início do século XX vem alterando o ciclo global do nitrogênio de forma que a comparação geológica mais próxima sugerida refere-se a cerca de 2,5 bilhões de anos (CANFIELD; GLAZER; FALKOWSKI, 2010). Observa-se um aumento significativo de carbono na atmosfera, estimando uma liberação de 555 Pg de carbono oriundos de atividades humanas desde 1750. Esse aumento levou os níveis de CO₂ atmosféricos a patamares não vistos por pelo menos 800.000 anos (MASSON-DELMOTTE et al., 2013). O mesmo carbono pôde aumentar a acidez da água do oceano a uma taxa provavelmente não alcançada nos últimos 300 milhões de anos (International Geosphere-Biosphere Programme, 2013).

As ações humanas podem constituir a pressão evolutiva mais importante da Terra (LEWIS e MASLIN, 2015). O desenvolvimento de diversos produtos (como antibióticos e pesticidas), o movimento de espécies para novos habitats, a intensa ocupação do solo (principalmente devido à agricultura) e as temperaturas mais elevadas do ar (resultantes das emissões de gases estufa), podem alterar os resultados evolutivos. Sendo assim, a humanidade tem claramente alterado a superfície terrestre, os oceanos e a atmosfera, reordenando a vida na Terra (DARIMONT et al., 2009; TABASHNIK et al., 2014; STUART et al., 2014).

Embora a influência do homem no meio ambiente seja evidente, muito se discute a respeito do período em que se iniciaria o Antropoceno. Diversos eventos são

sugeridos, dentre os quais: a origem da agricultura (aproximadamente 11.000 anos antes do presente); o início da produção do arroz (aproximadamente 6.500 anos antes do presente); a alteração da superfície da Terra por diversas atividades humanas (2.000 anos antes do presente); a Revolução Industrial em 1750; a detonação de bombas nucleares, em 1945; os produtos químicos industriais desde 1950, chamados por muitos como período da “Grande Aceleração”.

Destaca-se, entre os marcos sugeridos para o início dessa nova era, a Revolução Industrial. Nesse período, proposto por Crutzen e Stoermer (2000), a aceleração das atividades humanas, como uso do solo, desmatamento, e queima de combustíveis fósseis vem causando múltiplos efeitos interativos que alteram o meio ambiente em escalas sem precedentes. Esse fato coincide com evidências no crescimento de dióxido de carbono, metano e outros gases estufas na atmosfera, assim como em depósitos terrestres e marinhos.

A Figura 1 apresenta tendências de alguns indicadores de influência antrópica no período entre 1750 e 2010. Observa-se uma inclinação geral de aumento nos parâmetros analisados desde 1750. A partir de 1950 a influência da atividade humana na Terra é claramente notada, a “Grande Aceleração” é marcada por uma maior expansão na população humana e grandes mudanças nos processos naturais, além do desenvolvimento de materiais de plástico, poluentes orgânicos persistentes e compostos inorgânicos. Além disso, sugere-se o *fallout* global oriundo dos testes de bombas nucleares como um possível marcador global do Antropoceno (WATERS, et al., 2014; ZALASIEWICZ; WILLIAMS; WATERS, 2014).

Nesse período o entendimento das Mudanças Globais é o tema principal. Estas vão muito além da análise das mudanças no sistema climático global e compreendem o Sistema Terra como processos físicos, bio-geoquímicos e sociais como um todo. As causas, mecanismos e efeitos das interações humanas com outros componentes do Sistema Terra estão no centro das pesquisas de Mudanças Globais.

Segundo Vitousek *et al.* (1997), cerca de 30-50% da superfície terrestre vêm sendo transformados por ações humanas. Como grande parte da população mundial concentra-se nas zonas costeiras, estes sistemas são os mais afetados no Antropoceno. Devido a esses fatos, desde a década de 1990, muitos estudos têm tido como objetivo descobrir as consequências do estresse de atividades humanas em ambientes naturais e seus efeitos nas condições climáticas do planeta Terra.

Figura 1. Tendências de 1750 a 2010 de alguns indicadores de influência antrópica global.
(STEFFEN et al. 2015)

1.2. A Ocupação da zona litorânea e influência antrópica em estuários

Historicamente, devido à sua alta atratividade, as regiões costeiras têm sido áreas densamente povoadas. Segundo Oliveira (2009), estas aglomerações levaram à formação de grandes metrópoles regionais e mundiais, estabelecendo condições de grande demanda dos recursos naturais. Este processo faz com que estes ambientes se tornem locais estratégicos para o desenvolvimento ocupacional e de atividades

industriais. No entanto, a utilização inadequada de tais recursos tem gerado alterações no equilíbrio desses ecossistemas, comprometendo o ciclo natural dos seus componentes e aumentando sua vulnerabilidade.

Localizados na interface entre a terra e o mar, os estuários são ambientes de grande importância ecológica, econômica e social. Enquanto sua alta produtividade biológica sustenta um alto nível de produção alimentar, atraindo significativa ocupação humana, o uso de rios e estuários como importantes rotas de transporte é aspecto fundamental para a economia e o desenvolvimento social. Cerca de 60% das grandes cidades distribuídas ao redor do mundo estão localizadas nas proximidades de estuários e, no Brasil, 14 das 25 regiões metropolitanas são encontradas em estuários onde os principais polos petroquímicos e sistemas portuários se encontram (LINDEBOOM; PORTRAIT; VAN DER BERG, 2002, LUIZ-SILVA et al., 2006).

Estuários são ecossistemas complexos e extremamente dinâmicos devido aos expressivos gradientes de salinidade, pH, variações nas propriedades químicas da água, grandes variações de material em suspensão e inúmeros processos hidrodinâmicos controlados por marés, ventos e ondas. Os estuários são, muitas vezes, a conexão mais importante na transferência de materiais para o oceano (SALOMONS; FORSTNER, 1984). Estão propensos a um conjunto de influências de substâncias que são introduzidas por diversas fontes, incluindo rios, deposição atmosférica, efluentes e escoamento de água superficial. Essas áreas, em geral, apresentam forte gradiente de concentração de substâncias químicas, constituindo regiões nas quais a matéria orgânica e os nutrientes são transformados, retidos ou eliminados (TOMMASI, 1979).

Sob o ponto de vista ambiental, as regiões estuarinas contribuem na disponibilização de grande diversidade de ambientes potencialmente disponíveis para colonização, refúgio e criadouro de espécies economicamente importantes. Em consequência desta intrínseca diversidade, possuem uma complexa trama trófica, com energia suficiente para sustentar os grandes ambientes costeiros. Devido à forte ocupação das áreas litorâneas, regiões estuarinas são receptáculos de substâncias e produtos antrópicos, os quais podem ocasionar a degradação da qualidade da água (KNOPPERS; EKAU; FIGUEIREDO, 1999, MAGESH et al., 2013; NATHAJI et al., 2017).

Neste âmbito, a introdução direta ou indireta de substâncias e de energia pelo homem pode atingir níveis de concentração que causam a contaminação do estuário, com efeitos nocivos aos recursos vivos, riscos à saúde humana, obstáculos para as atividades marinhas e de pesca, deterioração da qualidade da água e redução de seus atrativos naturais. Uma importante função da região estuarina consiste ainda na formação de barreiras biogeoquímicas ao transporte de metais pesados, sendo que as propriedades de retenção destes compostos podem ser afetadas por atividades naturais ou antrópicas, contribuindo para a complexidade do sistema (GESAMP, 1995; SAMANTA et al, 2017).

Aproximadamente dois terços da humanidade habitam zonas costeiras, sendo que a maior parte das metrópoles contemporâneas situa-se próxima aos mares. Os litorais abrigam, portanto, um contingente populacional elevado que apresenta grande concentração de atividades industriais e domésticas, as quais produzem elevados volumes de dejetos por unidade de tempo. O perfil concentrado da ocupação costeira emerge, portanto, como uma preocupação comum às civilizações atuais e reforça a necessidade imediata de evolução no conhecimento científico que contribua para ações efetivas de preservação, monitoramento e remediação de áreas impactadas.

A zona costeira é uma das áreas de maior estresse ambiental, devido à excessiva exploração de seus recursos naturais e o uso desordenado do solo. Esta zona é um setor estratégico e prioritário para uma diversidade de atividades humanas, suportando grandes modificações e deteriorações como aterros, dragagens e poluição, causadas pelas indústrias, ocupação urbana e agricultura (GRUBER; BARBOZA; NICOLODI, 2003). Além destes, os efeitos antrópicos podem também modificar a morfologia e os parâmetros ambientais e ecológicos (TRAINI et al., 2015).

1.3. O uso de colunas sedimentares estuarinas em estudos do Antropoceno

Os sedimentos têm a capacidade de preservar a história ambiental de uma bacia de drenagem, além de dar informações sobre o comportamento dinâmico atual. Fornece informações sobre a origem do material, os meios de transporte e as características do ambiente de deposição. Dessa forma, geram subsídios para a compreensão dos processos pretéritos e atuais em um ambiente e suas relações

ecológicas. Características texturais e composicionais dos sedimentos são de extrema importância, conduzindo a uma melhor compreensão das tendências do ambiente estudado, bem como sendo úteis em previsões sobre como mudanças futuras podem alterar um determinado ambiente (SANDERS et al., 2006, OLIVEIRA et al., 2014). Estuários são ambientes preferenciais para deposição de sedimentos. São áreas de baixos gradientes e podem receber grandes cargas de sedimentos, tornando-os locais interessantes para o estudo de elementos reativos a partículas, incluindo metais e traçadores radioativos derivados da atmosfera (JHA et al., 2003, SANDERS et al., 2006).

Do ponto de vista geológico, os estuários funcionam como armadilhas de sedimentos fluviais e marinhos. A função natural deste ambiente é atuar como verdadeiro filtro sedimentar. A sedimentação estuarina é um assunto de grande complexidade. Ela é consequência de muitos fatores, como diferentes origens, partículas com grandes variações de formas, tamanhos e densidades, quantidade de material em suspensão, atividade biológica assim como as atividades antrópicas (e.g. desenvolvimento urbano, construção de estradas, agricultura, industrialização, mudanças hidrológicas), que podem alterar drasticamente, a composição do sedimento (FRIEDMAN; SANDERS, 1978, ALVEIRINHO, 1987, LARGIER, 1993, UNCLES, 2002, JHA et al., 2003, SMOAK;SWARZENSKI, 2004, BARCELLOS et al., 2017).

O desenvolvimento urbano e industrial adjacente a áreas estuarinas pode causar desequilíbrio ambiental, alterando as propriedades químicas da coluna de água, padrões de sedimentação, desmatamento de manguezais e áreas florestais típicas, aterro de áreas inundáveis para expansão urbana, construção de barragens, contaminação de metais e outros (LACERDA et al., 2006). Alguns parâmetros são empregados para entender a evolução ambiental em ambientes costeiros como: (a) parâmetros sedimentológicos (tamanho de grão, matéria orgânica e carbonato de cálcio); (b) concentração de metais, utilizados para identificar fontes naturais ou antrópicas e níveis de contaminação; (c) radionuclídeos, utilizados para determinar as fontes de sedimentos e as taxas de sedimentação em bacias de drenagem (KIM et al., 2018).

Os estudos com testemunhos são utilizados para compreender a evolução ambiental em áreas costeiras. A coluna sedimentar pode, então, guardar em si

registros da história evolutiva desse ambiente e de seu comportamento dinâmico atual, fornecendo informações sobre a origem do material, os meios de transporte e as características do ambiente de deposição, que geram subsídios para a compreensão dos processos que nele estão ocorrendo e suas relações ecológicas. Dessa forma, características texturais e composicionais dos sedimentos podem fornecer registros históricos, a indicar as linhas de base naturais e as alterações causadas por modificações antrópicas durante o tempo, conduzindo a uma melhor compreensão das tendências naturais do ambiente estudado, e auxiliando em análises ambientais. (LI, et al., 2000, OLIVEIRA et al., 2014, BARCELLOS et al., 2017).

1.4. Metais em estudos ambientais

1.4.1. Contaminação por metais

Em estuários, sedimentos que não foram alterados antrópicamente constituem um registro histórico da qualidade natural do ambiente estuarino. Os sedimentos, dependendo de sua fonte, incorporam um "componente litogênico natural" (SCHROPP; WINDOM, 1988) e um "componente biogênico natural" (ALVAREZ-IGLESIAS; RUBIO; MILLOS, 2012). Quando os sedimentos se tornam contaminados, passam a incluir o suprimento derivado de atividades humanas, usualmente referido como o "componente antrópico", que inclui insumos inorgânicos e orgânicos. Isto tem sido especialmente significativo desde o início do século 20, quando muitos estuários foram severamente afetados por ações humanas (MEYBECK; VOROSMARTY, 2005) como resultado de uma 'liberação drástica' de diferentes contaminantes para o meio ambiente (GAILLARDET; VIERS; DUPRÉ, 2003).

Devido à sua persistência e toxicidade, o estudo de contaminação por metais vem recebendo crescente atenção, uma vez que podem afetar tanto o ecossistema quanto a saúde humana (KIM et al., 2018). Metais traço estão sendo introduzidos no meio aquático através de uma variedade de fontes naturais e antrópicas. O escoamento terrestre é uma das formas mais comuns de entrada de metais no meio ambiente costeiro. Sedimentos costeiros atuam como repositório final de vários contaminantes e importantes sumidouros de metais por meio da sedimentação (MONIKH et al. 2013). No entanto, atividades humanas têm liberado grandes

quantidades de substâncias tóxicas em estuários, causando muitos problemas, como o aumento da quantidade de espécies ameaçadas e deterioração ecológica (MATHIVANAN; RAJARAM, 2014). Os sedimentos são componentes importantes dos ecossistemas estuarinos e são as principais fontes e sumidouros das substâncias tóxicas no meio aquático (MONIKH et al. 2013). Portanto, é crucial avaliar a contaminação de sedimentos em áreas estuarinas.

Entre as substâncias tóxicas, os metais pesados são poluentes ambientais prioritários nos estuários (ALVES et al. 2014). A maioria dos metais pesados na água é adsorvida e continua se acumulando no sedimento (FISHER-POWER; CHENG; RASTGHALAM, 2016). Enquanto houver algumas alterações na condição ambiental, metais pesados adsorvidos no sedimento se dissolverão na água, causando contaminação secundária (KIM; KIM; KIM, 2010, GILLAN et al., 2012, LIU et al., 2016, LI et al., 2017). Os metais pesados também mostraram citotoxicidade óbvia e danos duradouros, provavelmente causando sérios danos a organismos. Devido à sua capacidade de bioacumulação e persistência ambiental, deve-se dar atenção especial aos metais pesados sedimentares (VENKATESHA et al., 2012, SAYADI; RENZAEI; RENZAEI, 2015).

Para avaliar a influência antrópica em uma área, é muito importante conhecer suas concentrações naturais de metais, os denominados valores de *background* (RUIZ, 2001; ALVAREZ-IGLESIAS; RUBIO; PEREZ-ARLUCEA, 2006; PREGO; FILGUEIRAS; SANTOS-ECHENDÍA, 2008, XAVIER, 2017). O estudo de sedimentos não perturbados, ou camadas pré-industriais de testemunhos, é valioso na determinação do grau de contaminação em áreas estuarinas e costeiras (SANTSCHI et al., 2001). Isso possibilita o estabelecimento de um padrão na qualidade ambiental e uma comparação desses valores em estudos de impactos antrópicos ou na identificação de fontes poluidoras (REIMANN; FILZMOSER; GARRETT, 2005, REIMANN; GARRETT, 2005, FADIGAS et al., 2006, GALUSZKA, 2007). Com os valores de *background* estabelecidos, é possível preparar mapas geoquímicos com foco ambiental, considerados ferramentas importantes na gestão ambiental (MATSCHULLAT, 2000, MATSCHULLAT; OTTENSTEIN; REIMANN, 2000, REIMANN; FILZMOSER; GARRETT, 2005 , REIMANN; GARRETT, 2005, GALUSZKA, 2007). Além disso, quando acoplado a técnicas geocronológicas pela determinação de radionuclídeos (por exemplo, ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am), permite que a

concentração de metais esteja relacionada a uma data de deposição e, assim, reconstrua a evolução temporal desses sedimentos (ÁLVAREZ-VÁZQUEZ et al., 2017).

1.4.2. Metais em associação com geocronologia

Os radionuclídeos são amplamente utilizados em estudos de reconstrução ambiental e de dinâmica sedimentar marinha, destacando-se a determinação de taxas de sedimentação e a datação de seções de colunas sedimentares. Devido ao fato de que a concentração de elementos radioativos diminui com o tempo a uma taxa constante (constante de decaimento), o conhecimento da meia-vida e também da geoquímica de um determinado radioelemento leva a uma compreensão aprofundada da variação do aporte de sedimentos em um determinado sistema marinho (FERREIRA, 2014).

O ^{210}Pb e o ^{137}Cs são exemplos de radionuclídeos bastante usados a datação de sedimento e na reconstrução ambiental de, aproximadamente, 200 anos (CARROLL; LERCHE, 2010). As taxas de sedimentação determinadas por esses elementos são ditas recentes devido à meia-vida de ambos os elementos. O uso de ^{137}Cs , por ser um isótopo artificial, está limitado a tratar de sedimentos depositados a partir do final da década de 40, quando foram iniciados o uso e os testes de armamentos nucleares. Já ^{210}Pb é limitado temporalmente, em termos práticos, a trabalhar com sedimentos com cerca de 150 anos (aproximadamente 7 meias-vidas deste nuclídeo), já que, após 7 meias-vidas, 99,22% do ^{210}Pb não suportado ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) já decaiu e tornou-se ^{210}Bi .

O ^{210}Pb é um radionuclídeo natural que ocorre na série de decaimento do ^{238}U . Segundo Ferreira (2014), o ^{210}Pb total analisado em uma coluna sedimentar pode ser dividido em não suportado ou alóctone (estritamente conectado aos processos sedimentares) e o suportado ou autigênico ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$). O $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ provém do decaimento do isótopo ^{222}Rn , que, por sua vez, é o resultado do decaimento de ^{226}Ra em sistemas abertos, como solos e sedimentos. Esse gás nobre escapa do solo e se difunde para a atmosfera, decaindo a ^{210}Pb por uma série de filhos de meia-vida curta (FIGUEIRA, 2000). O ^{210}Pb chega ao ambiente aquático pelo resultado da deposição atmosférica e da lixiviação de solo e das rochas. O ^{210}Pb formado no sedimento pelo decaimento

do ^{226}Ra em sistemas fechados, está em equilíbrio radioativo com o mesmo, e é chamado de $^{210}\text{Pb}_{\text{suportado}}$. A Figura 2 demonstra a transferência de ^{210}Pb para o ambiente aquático (FIGUEIRA, 2014).

Figura 2. Esquema do transporte de ^{210}Pb para o ambiente aquático. Fonte: Zapata; Nguyen'(2010), adaptado de Crickmore et al., 1990

A concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ diminui com o aumento da profundidade da coluna sedimentar, devido a seu decaimento radioativo. O gradiente de tal diminuição fornece a base para a determinação da taxa de sedimentação. A análise do ^{210}Pb pode auxiliar em estudos de reconstrução ambiental através do cálculo da taxa de sedimentação, fluxo de massa e da idade de cada secção sedimentar.

O ^{137}Cs é um elemento produzido artificialmente pela fissão nuclear do ^{235}U , e pode ser utilizado como um marcador temporal. O ^{137}Cs foi introduzido no meio ambiente como resultado das explosões e testes de armas nucleares realizados entre os anos de 1945 a 1962. Quantidades significativas de ^{137}Cs foram espalhadas por todas as regiões do mundo e começaram a ser depositadas a partir de 1953, atingindo máxima concentração no sedimentos nos anos de 1963 no hemisfério norte e 1965 no hemisfério sul (FERREIRA, 2014).

1.5. Histórico de ocupação urbano-industrial da Baixada Santista

A Baixada Santista foi um dos locais mais amplamente povoados e explorados do estado. Esta significativa ocupação ocorreu, principalmente, devido ao grande desenvolvimento econômico da região durante o século XX, com melhorias na estrutura portuária de Santos, a implantação do polo petroquímico de Cubatão e a construção de rodovias ligando a capital ao litoral. Como consequência, intensas interferências no ambiente costeiro devido ao despejo de resíduos industriais e os dejetos domésticos, geraram mudanças nas áreas estuarinas.

O intenso processo de urbanização e industrialização da Baixada Santista acabou por afetar diretamente seus equilíbrios naturais. O resultado mais notável desse cenário são as mudanças físicas do meio, como a aceleração no uso e ocupação do solo. Nos últimos anos, construções de rodovias, ferrovias e núcleos habitacionais nas encostas da Serra do Mar foram crescentes. Observa-se a eliminação da vegetação em áreas da planície costeira. A abertura de canais e a secagem de manguezais por redes de drenagem artificiais devem, também, ser considerados, já que modificam, ao menos localmente, os processos de remoção e deposição de sedimentos. Reflexos, talvez menos visíveis, dessas mudanças são as alterações das condições químicas das águas superficiais. Lançamentos de resíduos industriais e domésticos alteram, não só a composição das águas, como também a deposição de sedimentos finos (FUKUMOTO, 2007). O Anexo 2 apresenta uma linha do tempo com os principais eventos históricos da região no período estudado.

Estuário de Santos e a instalação do Porto

O Porto de Santos foi criado em 1532 por Braz Cubas. No período entre 1532 e 1822, o processo de urbanização da região deu-se, basicamente, em torno do Porto de Santos. No entanto, devido ao baixo fluxo e o pequeno porte das embarcações, não foi necessária qualquer intervenção nos canais do estuário até essa data. As primeiras obras de expansão do porto foram realizadas apenas em 1891, sendo que até esse período o cais não excedia 70 metros de extensão. A partir desse período o canal do porto passou a ser dragado (ZUNDT, 2006). Devido à sua intensa atividade, passa por um processo de ampliação na década de 1940 (FUKUMOTO, 2007). Desde a década de 1970, o Porto de Santos vem passando por constantes modificações.

Atualmente, o Porto de Santos é operado pela CODESP (Companhia Docas do Estado de São Paulo), movimenta por ano mais de 100 milhões de toneladas de cargas diversas (Figura 3) e tem 12 km de extensão (CODESP, 2019). O Anexo 3 apresenta um histórico das principais atividades ligadas ao porto de Santos.

Figura 3. Histórico de movimentação de cargas do porto de Santos. Fonte: CODESP, 2019

Complexo industrial de Cubatão

Diversos fatores favoráveis, como a proximidade da região metropolitana de São Paulo e a construção de uma desenvolvida infraestrutura de transporte (rodoviário, ferroviário e portuário) levaram, a partir da década de 1950, à implantação de múltiplas indústrias de base em Cubatão.

Figura 4. Localização das indústrias e terminais da Baixada Santista em 1999. Fonte: Cetesb, 2001

A região contempla: indústrias siderúrgicas com potencial de emissão dos elementos metálicos Cu, Mn, Ni e Zn; refinarias de petróleo com potencial de emissão de Cu, Cr, Ni, Hg e Zn; indústrias químicas e petroquímicas com potencial de emissão de Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn e Hg; e indústrias de fertilizantes com potencial de emissão de Pb, Ni e Zn. Esse complexo industrial, de alto potencial poluidor, faz do Sistema Estuarino de Santos e São Vicente um grande receptor de metais (CETESB, 2001). A localização das principais indústrias da região é apresentada na Figura 4.

Usina Henry Borden

A Usina de Henry Borden (UHE) foi inaugurada em 1926, projetada pelo engenheiro Asa White Billings. Historicamente, teve entre as décadas de 1930 e 1960 sua potência ampliada até atingir os 880 MW. Para obter uma vazão de água compatível com sua capacidade, foi criado um sistema de reversão do fluxo do rio Pinheiros, que nasce na Billings, cruza a cidade de São Paulo e deságua no rio Tietê.

Esse sistema permitiu o caminho contrário: as águas do Tietê podiam ser desviadas para a represa. Essa obra, que levou mais água para a Billings, realizada nos anos 1940, proporcionou uma importante oferta de energia para a Baixada Santista, impulsionando o crescimento das indústrias de Cubatão e da cidade de São Paulo (VASCONCELOS, 2015).

A UHE possui capacidade de transportar, por meio de tubulações de grandes diâmetros, até 157 m³/s de água oriunda do reservatório Billings, funcionando como um rio artificial que deságua diretamente no principal afluyente do sistema estuarino, o rio Cubatão. De acordo com o relatório da Hidroconsult de 1975 *apud* Baptistelli (2008), a vazão média da usina era de 90 m³/s.

Entretanto, desde outubro de 1992, a operação desse sistema vem atendendo às condições estabelecidas na Resolução Conjunta SMA/SES 03/92, de 04/10/92, atualizada pela Resolução SMA-SSE-02, de 19/02/2010, permitindo o bombeamento das águas do Rio Pinheiros para o Reservatório Billings somente para controle de cheias, reduzindo em aproximadamente 75% o bombeamento de água e a produção de energia pela usina. Segundo os gestores da Empresa Metropolitana de Água e Energia (EMAE), atualmente a usina trabalha com geração mínima de energia nos horários de carga leve e média, o que corresponde a um bombeamento de água de 6 m³/s, e no horário de pico de consumo de energia elétrica, com um bombeamento suficiente para atender às demandas de energia. Conforme a Resolução n.º 453 - ANEEL (BRASIL, 1998), a energia assegurada da Usina Henry Borden é de 108 MW em média, o que corresponde a uma vazão média turbinada da ordem de 19,2 m³/s.

Indiretamente, a restrição estabelecida teve como consequência uma relativa melhoria na qualidade de água do rio Cubatão. Estima-se que esse histórico aporte de água doce no rio Cubatão trouxe alteração no comportamento hidráulico do sistema estuarino, uma vez que o volume máximo de água descartado pela usina pode ser responsável pelo aumento de quase 15 vezes a vazão média de longo período do rio Cubatão, descarga de água que não ocorria naturalmente antes da construção da UHE.

1.6. Hipótese do trabalho

A partir do exposto anteriormente, a hipótese do presente estudo é investigar o quanto a análise textural e composicional dos sedimentos pode indicar uma mudança no padrão deposicional do sistema estuarino de Santos e São Vicente, ao longo do Antropoceno.

2. OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo principal compreender as variações ocorridas no sistema estuarino de Santos e São Vicente no que diz respeito à deposição de sedimentos e fluxo de metais ao longo do Antropoceno, ou seja, os últimos 150 anos.

Para atingir este objetivo, foram realizadas as seguintes etapas:

- I. Determinação do fluxo de massa e geocronologia dos testemunhos coletados a partir de radionuclídeos ^{210}Pb , ^{137}Cs e ^{226}Ra .
- II. Determinação dos níveis de metais utilizando duas técnicas de digestão: parcial e total, seguida da análise dos elementos por espectrometria de emissão óptica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)
- III. Determinação dos níveis de mercúrio (Hg) baseados na técnica de digestão por geração de vapor acoplado a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (VGA-ICP-OES)
- IV. Determinação do tamanho dos grãos sedimentares
- V. Determinação de isótopos de carbono e nitrogênio
- VI. Relação entre os fluxos de massa e eventos naturais, buscando entender se essa ferramenta responde às variações naturais no meio.
- VII. Relação entre os fluxos de massas e o uso e ocupação do solo ao longo dos anos, utilizando como ferramenta auxiliar imagens aéreas.
- VIII. Relação entre os fluxos de massa e o histórico da região, buscando entender como atividades antrópicas contribuíram ou não no acúmulo de sedimentos.
- IX. Cálculo do fluxo de metais, a fim de realizar uma comparação entre as variações de fluxos naturais e fluxos antrópicos.

3. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no Complexo Estuarino Santos e São Vicente (Figura 5), no litoral de São Paulo. A área de estudo está situada entre as latitudes 23°52'S e 24°00'S e as longitudes de 46°30'W e 46°50'W. O sistema estuarino, inserido na Baixada Santista, é formado por rios, entre os quais, Cubatão, Perequê, Mogi-Piaçaguera e Itapanhaú.

Figura 5. Sistema Estuarino Santos e São Vicente

Suguio e Martin (1978) dividiram o litoral paulista em quatro grandes unidades (Cananéia-Iguape, Itanhaém-Santos, Bertioga, Ilha de São Sebastião e Ilha de São Sebastião-Serra de Paratí), cujos limites naturais são dados pela presença de pontões do embasamento pré-cambriano. A Baixada Santista está localizada no domínio da Província Costeira (IPT, 1981), inserida no compartimento geológico litorâneo, limitada a oeste pela falha de Cubatão, e a leste pela falha de Santos, compondo-se de rochas do Complexo Costeiro e da Suite Granítica Indiferenciada. O domínio da Província Costeira subdivide-se nas subzonas Serra do Mar e Baixada Litorânea (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998).

A subzona Serra do Mar apresenta relevo abrupto formado predominantemente por escarpas festonadas, com desníveis totais da ordem de 800 a 1200 metros entre as bordas do Planalto Atlântico e as baixadas litorâneas. A subzona das baixadas litorâneas apresenta relevo de terrenos baixos, predominantemente planos, com baixa densidade de drenagem, de padrão meandrante, e com altitudes pouco elevadas em relação ao nível do mar atual. (IPT, 1981).

A planície costeira de Santos tem a forma de um crescente de 40 km de extensão por 15 km de largura máxima, sendo delimitada nas suas extremidades, pela serra de Mongaguá, ao sul, e pela parte rochosa da ilha de Santo Amaro ao norte. Na parte central e nordeste a planície é drenada por uma rede de lagunas e canais de maré que delimitam as ilhas de São Vicente e Santo Amaro.

Hidrodinâmica e sedimentação no Estuário de Santos e São Vicente

Em relação à circulação, o Sistema Estuarino de Santos e São Vicente é constituído por quatro compartimentos determinados em função do padrão de circulação existente: Baía de Santos, Canal de Santos, Canal de São Vicente e Canal de Bertioga. A onda de maré é semidiurna e se propaga simultaneamente pelos canais de Santos e São Vicente e pelo Canal de Bertioga. As amplitudes médias variam de 27 cm na quadratura a 123 cm na sizígia (HARARI et al., 1990).

O processo básico que ocorre na circulação estuarina é a mistura de água doce oriunda da drenagem continental com a água salgada do oceano. Os fatores essenciais que controlam esse processo são as marés e as correntes fluviais residuais, com efeito de ondas e diferenças de salinidade e, conseqüentemente, densidade causadas pela mistura entre águas fluviais e as advindas do oceano adjacente.

O estuário Santista não se enquadra num modelo simples de circulação estuarina, possuindo transições entre diversos tipos; no Canal do Porto tem-se uma circulação do tipo cunha salina com transição para uma circulação de estuário, não restrito, de contato misto (FÚLFARO; PONÇANO, 1976). Na

circulação de um estuário misto, a forçante predominante consiste na variação periódica do nível do mar, sendo que o fluxo de água doce pode ocorrer na camada superior ou inferior, além de se misturar com a água salgada (FÚLFARO; PONÇANO, 1976).

Na região do Alto Estuário, as águas dos rios provenientes da Serra do Mar adentram o sistema, originando um predomínio de fluxo unidirecional que se propagam em direção à baía (HARARI et al., 1990). Este padrão é corroborado por Fúlfaro e Ponçano (1976), que indicam que essa característica é notada principalmente no Canal do Porto. Na parte centro-oriental da baía, o fluxo resultante unidirecional segue em direção à Ponta da Munduba, saindo para o mar aberto entre as Ilhas da Moela e de Santo Amaro

Nos canais estreitos do Estuário Santista, a maré vazante implica a predominância de água doce, enquanto a maré enchente atua em favorecer a manutenção de águas salobras nesta região, definindo uma circulação estuarina homogênea. Nos largos (Pombebe e São Vicente) ocorrem efeitos mínimos dos fluxos fluviais residuais, havendo circulação predominantemente por correntes de marés, constituindo-se em zonas de baixa energia. O mesmo ocorre no Canal de Bertioga, que mostra áreas de influência de correntes de maré junto à cidade de Bertioga, mas de pouca penetração em direção à desembocadura do Rio Sandi, local em que ocorrem barras mais arenosas que dificultam o transporte de fundo no sentido Bertioga-Canal do Porto.

A Figura 6 mostra um esquema geral de circulação no interior do Canal de Santos. Tommasi (1979) discutiu com base nesta circulação a existência de uma área de assoreamento em frente ao cais do Valongo e de Paquetá e, entre o primeiro e a Ilha de Barnabé. Isso leva a tendência de formação de um giro de água no largo, em rente ao Canal de Bertioga, Ilha de Barnabé, Ilha de São Vicente e Ilha de Santo Amaro.

O Estuário de Santos apresenta a predominância de depósitos de silte fino, passando pelas gradações de silte até areia muito fina, configurando-o como ambiente de sedimentação caracterizado por baixa energia e baixa taxa de floculação. Segundo Fúlfaro e Ponçano (1976), o Sistema Estuarino de Santos e São Vicente apresenta como característica uma taxa de sedimentação equilibrada. Taxas elevadas ocorrem apenas localmente, destacando-se as

extremidades sul dos canais de São Vicente e do Porto, junto à desembocadura da baía, o Canal de Bertioga e o Largo do Canéu.

Figura 6. Mapa de velocidades médias de correntes obtido a partir de modelagens numéricas (Delft 3D)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Amostragem

Em abril de 2012 foram coletados seis testemunhos distribuídos ao longo do estuário santista, como parte do projeto Fapesp (2011/50581-4) “Susceptibilidade e resiliência de sistemas estuarinos urbanos a mudanças globais: balanço hidro-sedimentar; elevação do nível do mar; resposta a eventos extremos”. A localização dos testemunhos pode ser observada na Figura 7, com suas coordenadas expressas na Tabela 1.

As colunas sedimentares foram amostradas utilizando a técnica de mergulho. Após coletadas, foram subamostradas a cada 2 cm e, em seguida, liofilizadas. Os testemunhos foram submetidos às análises geocronológicas e químicas.

Figura 7. Localização dos pontos amostrados

Tabela 1. Coordenadas e comprimento aproximado dos testemunhos coletados no estuário de Santos e São Vicente.

Testemunho	Latitude	Longitude	Comprimento (cm)
Santos 1 (S1)	23° 55,152'	46° 18,658'	148
Santos 2 (S2)	23° 54,859'	46° 19,874'	172
Santos 3 (S3)	23° 53,670'	46° 22,7652'	132
Santos 4 (S4)	23° 55,088'	46° 24,344'	192
Santos 5 (S5)	23° 56,170'	46° 26,258'	188
Santos 6 (S6)	23° 58,493'	46° 25,069'	116

4.2. Geocronologia Recente

As atividades dos elementos ^{137}Cs , ^{210}Pb e ^{226}Ra foram determinadas por espectrometria gama de alta resolução, com o uso de um espectrômetro gama constituído de um detector de Ge hiperpuro (HPGe) de modelo GMX25190P da EG&G ORTEC, com resolução média de 1,9 keV para o pico de 1332,35 keV do ^{60}Co , eletrônica acoplada e software MAESTRO versão 5.1. As taxas de sedimentação e datação dos testemunhos foram calculadas a partir dos níveis de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ de acordo com os trabalhos de Figueira et al.(2007) e Ferreira et al. (2013).

Para a análise, o sedimento foi macerado até sua homogeneização. Pesou-se, em seguida, entre 10 e 20 g de sedimento liofilizado de cada amostra em recipiente de polietileno próprio para esse tipo de análise, posteriormente selado. A selagem das amostras ocorreu dentro de um período de aproximadamente 20 dias, até que o radionuclídeo ^{226}Ra entrasse em equilíbrio radioativo com o ^{222}Rn , possibilitando a análise dos radionuclídeos de interesse deste trabalho.

O cálculo da taxa de sedimentação foi realizado através dos níveis de ^{210}Pb . Diversos modelos calculam a taxa de sedimentação dessa maneira. Optou-se por utilizar o modelo CRS (*Constant Rate of Supply*) (APPLEBY; OLDFIELD, 1978). Este modelo considera que: (1) o fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ na interface água-sedimento não é constante; (2) a taxa de sedimentação local é dependente

do tempo; (3) não há migração pós-deposicional do radionuclídeo ^{210}Pb ; (4) a atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ por ^{226}Ra nos sedimentos não depende da profundidade; e (5) o suprimento de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ para os sedimentos é o mesmo em cada intervalo de tempo. A escolha por esse modelo levou em consideração, principalmente, a complexa hidrodinâmica da área de estudo, não sendo viável considerar uma taxa de sedimentação constante.

A taxa de sedimentação no modelo CRS é calculada através da Equação 1:

$$R(z) = \lambda \frac{1}{\rho} \left[\frac{I(^{210}\text{Pb}_{\text{xs}})_t - I(^{210}\text{Pb}_{\text{xs}})_z}{(^{210}\text{Pb}_{\text{xs}})_z} \right] \quad (1)$$

onde,

$R(z)$ = taxa de sedimentação de acordo com a profundidade, em cm ano^{-1} ;

λ = constante de decaimento do ^{210}Pb , em ano^{-1} ;

ρ =densidade do sedimento, em g cm^{-3} , calculada através do método de Ferreira et al.(2013);

$I(^{210}\text{Pb}_{\text{xs}})_z$ = Inventário do $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ do topo até a profundidade z da coluna sedimentar, em Bq cm^{-2} ;

$I(^{210}\text{Pb}_{\text{xs}})_t$ =Inventário do $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ da coluna sedimentar, em Bq cm^{-2} .

A idade de cada secção sedimentar pode ser calculada pela Equação 2:

$$t = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{A_{(0)}}{A} \right) \quad (2)$$

onde,

k =constante do decaimento radioativo do ^{210}Pb , em ano^{-1} ;

$A_{(0)}$ = $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ residual total na coluna sedimentar, em Bq kg^{-1} ;

A = $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ residual cumulativo, em Bq kg^{-1} .

4.3. Determinação do teor de metais e As

4.3.1. Digestão total dos sedimentos

Para a digestão completa das amostras de sedimento, utilizou-se, com algumas modificações, o procedimento EPA 3052 (USEPA, 1996), recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. O procedimento é adotado quando se deseja fazer uma digestão total da amostra de sedimento, em forno de micro-ondas, para a determinação de metais.

Pesou-se cerca de 0,25 g de amostra em tubo de digestão de Teflon, ao qual foram adicionados 10 mL de HNO_3 concentrado. A mistura foi levada ao forno de micro-ondas (sistema fechado), e a digestão foi feita usando-se um programa recomendado pelo fabricante do equipamento, com 40 minutos de duração. Ao término do programa, os tubos de digestão foram abertos, e adicionou-se cerca de 2 a 5 mL de HF 40%, para o ataque dos silicatos. Repetiu-se o programa de digestão fechada. Novamente, ao término da etapa, adicionou-se ao tubo de digestão 1 mL de H_2O_2 30%, para o ataque da matéria orgânica, e repetiu-se mais uma vez o programa de dissolução ácida fechada. A solução obtida foi, então, filtrada em papel de filtro Whatman nº 40, para a retenção de eventuais partículas que estivessem em suspensão. O filtrado foi transferido para um béquer de *teflon*, levado a uma chapa de aquecimento. A solução foi evaporada à secura e retomada com 20 mL de solução diluída de HNO_3 a 5% (v/v), por três vezes. O resíduo remanescente foi transferido para um balão de 15 mL com água destilada.

Foram analisados arsênio (As) e os metais: cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), escândio (Sc) e zinco (Zn), utilizando o equipamento ICP-OES.

4.3.2. Digestão parcial dos sedimentos

Para analisar a disponibilidade no ambiente, a abertura das amostras foi realizada mediante lixiviação por ataque ácido, segundo o método SW 846 US EPA 3050B (USEPA, 1996). Trata-se de digestão ácida capaz de dissolver a maior parte dos elementos de origem antrópica. Aqueles ligados a estruturas silicáticas não são dissolvidos por este procedimento. O equipamento utilizado foi um ICP-OES, marca Varian, modelo 710-ES (Vista MPX).

Digeriu-se 1 g de sedimento seco com 5 mL de HNO_3 (1:1) sob aquecimento a 95°C por 15 minutos em chapa elétrica. Adicionaram-se 2,5 mL de HNO_3 concentrado e o aquecimento continua por mais 30 minutos. Adicionaram-se 2,5 mL de HNO_3 concentrado até a completa oxidação da amostra, verificada pela ausência de vapores marrons, e se continua o aquecimento por mais 1 hora e 30 minutos. A solução foi resfriada e foram adicionados, então, 1 mL de água e 1,5 mL de H_2O_2 30%, sob aquecimento. O procedimento continuou com a adição de 1 mL de H_2O_2 30%, até a completa eliminação da matéria orgânica. Adicionaram-se, enfim, 5 mL de HCl concentrado. A solução foi filtrada em papel de filtro faixa lenta e, a seguir, diluída para 50 mL em balão volumétrico, procedeu-se à análise por ICP-OES. Foram analisados As e os metais: Cr, Cu, Ni, Pb, Sc e Zn.

4.3.3. Determinação de mercúrio (Hg) por geração de vapor

O princípio da geração de vapor possibilita a determinação de elementos metálicos, em amostras marinhas e geológicas, destacando-se o Hg, além de outros elementos importantes do ponto de vista de impacto ambiental.

O processo de digestão do Hg foi baseado no método descrito em SW 846 US EPA 7471 A (USEPA, 1994). Nessa metodologia, pesou-se aproximadamente 0,6g de amostra seca. Foram adicionados 1,7 mL de água mili-Q e 1,7 mL de água régia ($\text{HNO}_3\text{:HCl}$). A solução foi aquecida por 2 minutos a 95°C . Resfriou-se a amostra; em seguida foram adicionados 16,4 mL de água mili-Q e 4,9 mL de permanganato de potássio (KMnO_4 5%). A solução foi então aquecida por 30 minutos a 95°C . Esfriou-se a amostra e adicionaram-se 2,0 mL de cloridrato de hidroxilamina (NH_2OHCl 12%) a fim de reduzir o excesso de permanganato de potássio. A solução foi filtrada em papel de filtro faixa lenta e, a seguir, diluída para 40 mL em balão volumétrico. A leitura foi efetuada por meio da técnica de geração de vapor acoplado a espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (VGA-ICP-OES).

4.3.4. Limites de detecção do equipamento (LDE)

O limite de detecção do equipamento (LD) é a menor concentração que um analito pode ser detectado, mensurado e reportado com 99 % de confiança de que a sua concentração é maior do que zero (WADE; CANTILLO, 1994).

Tabela 2. Valores de limite de detecção do método (LDM) e limite de quantificação do método (LQM) para os métodos utilizados, considerando uma imprecisão de 20%.

Elemento	LDM EPA 3050B (mg kg ⁻¹)	LQM EPA 3050B (mg kg ⁻¹)	LDM EPA 3052 (mg kg ⁻¹)	LQM EPA 3052 (mg kg ⁻¹)	LDM EPA 7471A (mg kg ⁻¹)	LQM EPA 7471A (mg kg ⁻¹)
As	0,40	2,00	0,53	2,66	-	-
Cr	0,09	0,45	0,12	0,60	-	-
Cu	0,14	0,71	0,19	0,95	-	-
Hg	-	-	-	-	0,0059	0,0177
Ni	0,18	0,89	0,24	1,19	-	-
Pb	0,30	1,48	0,40	1,98	-	-
Sc	0,08	0,38	0,10	0,50	-	-
Zn	0,29	1,45	0,39	1,93	-	-

Para a determinação do limite de detecção do método (LDM) dos elementos em estudo, foi realizada a análise de sete replicatas com concentrações conhecidas, preparadas a partir de soluções-padrão. Esta concentração foi a menor que o equipamento conseguiu detectar para cada elemento; o desvio-padrão das sete medidas foi multiplicado pelo valor de t-Student (3,143), para um nível de confiança de 99%.

O limite de quantificação do método (LQM) é a menor concentração de um analito que pode ser determinado com um nível aceitável de exatidão e precisão. Ele foi determinado considerando-se cinco vezes o LD, o fator de diluição e a massa de sedimento utilizada no método de extração. Os limites de detecção do método (LDM) e o limite de quantificação do método (LQM) para cada metodologia utilizada estão apresentados na Tabela 2, considerando uma imprecisão de 20%.

4.3.5. Controle analíticos dos resultados

A fim de manter a qualidade dos resultados analíticos, alguns controles foram realizados. A cada dez amostras analisadas, uma amostra padrão, com concentração conhecida, foi medida novamente para realizar a variação do equipamento. Para certificar que não houve efeito de memória no ICP-OES, um branco foi analisado após a leitura das amostras.

Dois materiais de referência certificados (MRC) de solos contaminados SS-1 e SS-2 (*EnviroMAT Contaminated Soil*) foram submetidos ao mesmo método de extração das amostras EPA 3050B para controle da qualidade analítica, verificando a eficiência da extração. Para o método EPA 3052 foi utilizado como MRC o solo SS-2. Já para o método EPA 7471A, foi utilizado o MCR ERM. Foram realizados brancos de reagentes também sujeitos a mesma extração, a fim de eliminar as possibilidades de contaminações através dos mesmos.

Tabela 3. Resultados dos MRC SS-1 (n=10) e SS-2 (n=22) para o método de digestão parcial (EPA 3050B, USEPA 1996).

Elemento	MRC	Valor de Referência (mg kg ⁻¹)	Intervalo de Confiança (mg kg ⁻¹)	Intervalo de Tolerância (mg kg ⁻¹)	Média (mg kg ⁻¹)	Taxa de recuperação (%)
As	SS-1	18	17 – 19	13 – 23	17,97	99,85
	SS-2	75	65 – 85	25 – 125	74,99	99,99
Cr	SS-1	64	55 – 73	13 – 115	51,33	80,2
	SS-2	34	30 – 38	14 – 54	28,13	82,74
Cu	SS-1	690	657 – 723	503 – 877	657,45	95,28
	SS-2	191	182 – 200	139 – 243	162,28	84,96
Ni	SS-1	231	218 – 244	157 – 305	204,62	88,58
	SS-2	54	50 – 58	33 – 75	44,1	81,67
Pb	SS-1	233	219 – 247	152 – 314	186,7	80,13
	SS-2	126	116 – 136	68 – 184	101,64	80,67
Zn	SS-1	6775	6467 - 7083	5066 - 8484	6594,1	97,33
	SS-2	467	444 - 490	337 – 597	408,63	87,5

Para verificação da eficiência de extração dos elementos dos métodos foram utilizados os materiais de referência certificados de solos contaminados. Nas Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos das

médias dos materiais de referência utilizados: SS-1, SS-2, e ERM bem como o valor certificado, o intervalo de tolerância e as porcentagens de recuperação.

Os resultados dos valores de recuperação obtidos para os materiais de referência analisados confirmaram a eficácia dos métodos para todos os elementos em estudo, com porcentagem de recuperação dentro da faixa recomendada pela USEPA (1994 e 1996) entre 75 e 125 %.

A fim de eliminar as possíveis fontes de contaminação da amostra, foi realizado um branco de reagentes. Nele os reagentes utilizados nas análises foram submetidos ao mesmo método de extração. O resultado do branco analítico demonstrou que não houve contaminações por conta dos reagentes utilizados durante as solubilizações.

Tabela 4. Resultados do MRC SS-2 (n=12) para o método de digestão total (EPA 3052-USEPA, 1996).

Elemento	Valor de Referência (mg/kg)	Intervalo de Confiança (mg/kg)	Intervalo de Tolerância (mg/kg)	Média SS-2 (mg/kg)	Taxa de recuperação (%)
As	78	62-94	5-151	75,44	96,72
Cr	58	51-65	21-95	45,89	79,12
Cu	198	189-207	155-241	171,93	86,83
Ni	59	55-63	42-76	46,68	79,12
Pb	148	130-166	63-233	115,95	78,34
Zn	509	479-539	362-656	444,16	87,26

Tabela 5. Resultados do MRC ERM (n=10) para o método de digestão de mercúrio por geração de vapor (EPA 7471A- USEPA, 1994).

Comprimento de onda (nm)	MCR	Valor de referência (mg kg ⁻¹)	Incerteza (mg kg ⁻¹)	Média (mg kg ⁻¹)	Taxa de Recuperação (%)
184,887	ERM	0,132	0,003	0,128	97,16
194,164	ERM			0,129	98,07
253,652	ERM			0,157	119,59

4.4. Caracterização sedimentológica

4.4.1. Determinação da fração menor que 63µm

O termo granulometria significa medida de tamanho dos grãos, sendo uma de suas características físicas fundamentais. A análise, que permite estabelecer uma expressão quantitativa da distribuição granulométrica, é conhecida como análise granulométrica (SUGUIO, 1973). Ela possibilita a quantificação dos componentes, areia, silte e argila, expressos em percentagem de cada fração granulométrica.

Optou-se por determinar nas amostras de sedimento deste estudo apenas a porcentagem da fração fina (silte + argila) que é fração menor do que 0,062 mm, isso devido a maior parte dos contaminantes serem adsorvidos nos grãos finos, onde a superfície de contato é maior (FORSTNER; SALOMONS, 1980). Variações nas concentrações dos elementos em função da granulometria do sedimento são atribuídas a diferenças no seu potencial de sorção sobre minerais argilosos, óxidos metálicos e matéria orgânica, os quais tendem a estar concentrados em agregados menores (KERSTEN; FORSTNER, 1995).

A determinação de silte e argila foi feita por peneiramento úmido passando-se uma alíquota da amostra (~10 g de sedimento seco) pela peneira de 0,062 mm. O material que ficou retido na peneira foi seco em estufa a 60 °C e pesado novamente para determinação do teor de areia (> 0,062 mm). A diferença da massa inicial menos a massa de areia é a fração fina (< 0,062 mm) que corresponde às frações silte mais argila, as quais são importantes para o estudo dos metais.

4.4.2. Análises de conteúdo de carbonato de cálcio, carbono orgânico e nitrogênio total e das razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ por EA-IRMS

O conteúdo em carbonato de cálcio (CaCO_3) foi determinado com a pesagem de aproximadamente 1 g de sedimento, digerido com 2 mL de HCl 10%, permanecendo nessa solução por 24 horas. Adicionaram-se algumas gotas de HCl concentrado a fim de certificar a total eliminação de carbonato de

cálcio, verificada pela ausência de formação de bolhas; em seguida completou-se o volume até 9 mL com água Milli-Q, e as amostras são centrifugadas a 2100 rpm por 11 minutos. O líquido sobrenadante foi descartado, e a lavagem repetida por 5 vezes ou mais até a total eliminação do ácido, com a verificação do sobrenadante com papel indicador de pH. As amostras foram secas em estufa a 60 °C, e o teor de CaCO₃ foi determinado por diferença em massa antes e após o ataque.

A porcentagem de carbono orgânico total (COT) e a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ foram determinados em alíquota de sedimento submetido ao ataque de HCl (sem CaCO₃). Aproximadamente 10 mg da amostra foram acondicionados em cápsulas de estanho e submetidas no analisador elementar Costech Instruments Elemental Combustion System acoplado ao detector de espectrometria de massas com razão isotópica Thermo Scientific Delta V Advantage Isotope Ratio MS (EA-IRMS).

O teor de nitrogênio total (NT) e a razão isotópica $\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ foram determinados pesando-se 10 mg de sedimento sem o ataque ácido e acondicionadas em cápsula de estanho, sendo submetidas a análise no espectrômetro de massas EA-IRMS (Elemental Analyzer – Isotope Ratio Mass Spectrometer).

Os conteúdos de COT e NT foram apresentados em porcentagem (%), e as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram expressas na forma de δ ‰, de acordo com a Equação 3:

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) \times 1000 \quad (3)$$

onde:

R_{amostra}: razão isotópica determinada na amostra de interesse;

R_{referência}: razão isotópica determinada no padrão de referência (gás: CO₂ para $\delta^{13}\text{C}$ e N₂ para $\delta^{15}\text{N}$).

A porcentagem em massa de COT e NT foi obtida através da relação entre as proporções do padrão e das áreas correspondentes aos picos obtidos do padrão e da amostra:

$$\%Amostra = \left(\frac{\%padrão \times m_{padrão}}{A_{padrão}} \right) \times A_{amostra} \quad (4)$$

onde:

$m_{padrão}$: massa do padrão utilizada;

$A_{padrão}$: área do pico do padrão;

$A_{amostra}$: área do pico da amostra.

5. RESULTADOS

Nesse capítulo será realizada uma breve apresentação dos resultados obtidos a partir de diversos métodos analíticos. Os resultados aqui obtidos serão utilizados de forma combinada e discutidos no capítulo 6.

5.1. Modelo CRS para determinação das taxas de sedimentação e datação das colunas sedimentares

Os radionuclídeos são amplamente utilizados em estudos de sedimentação. Os padrões de dinâmica sedimentar são influenciados por diversos fatores, sejam variações naturais ou induzidas pelo homem, que de alguma maneira alteram o balanço de sedimentos, como alteração de canais de drenagem, processos de dragagem, construção de barragens e espigões (TEIXEIRA et al, 2009; FERREIRA, 2014).

A avaliação de taxas de sedimentação, fluxo de massa e datação tem sido uma ferramenta de grande relevância e utilidade em estudos que visam o estabelecimento de taxas de processos geológicos e geomorfológicos e idades de amostras. (SANTOS; BURNETT; GODOY, 2008; FERREIRA, 2014).

As datações obtidas são apresentadas na Tabela 6; valores de taxa de sedimentação (TS) e fluxo de massa (FM) ao longo do tempo foram apresentados nas Figura 8 e Figura 9. O Anexo 5 apresenta os resultados de TS e FM para cada secção dos perfis sedimentares. Observou-se que os perfis desses dois parâmetros são semelhantes, optando-se por descrevê-los em conjunto.

Os maiores valores foram encontrados nos testemunhos S3 e S6, enquanto os valores mais baixos estão em S2. O testemunho S1 apresentou uma tendência de aumento da TS e FM ao longo do tempo. A coluna sedimentar S2 foi a mais homogênea dentre todas as estudadas. Assim como nos casos anteriores, observou-se em S3 uma tendência de aumento da sedimentação e acumulação

O ponto S5 caracterizou-se por um aumento ao longo do tempo, iniciado na década de 1930. Os períodos de incremento no fluxo e sedimentação dataram: entre as décadas de 1930 a 1940, 1960 a 1970, 1980 a 1990 e 1996 a 2000, sendo o maior acúmulo de sedimento ocorrido em meados de 1988. O ponto S6 apresentou características semelhantes ao ponto anterior, no entanto, o crescimento no acúmulo de sedimentos passou a ser observado mais tardiamente, iniciado na década de 1940. Destacaram-se os períodos: décadas de 1960 a 1970, 1982 a 1984, 1995 a 1997 e 2008 a 2012.

A pluviosidade influencia diretamente as variações da vazão desses no sistema. Utilizar-se-ão, nesse trabalho, os dados medidos de precipitação, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). A Figura 9 e, posteriormente, a Figura 18 indicam o perfil de pluviosidade medida ao longo do tempo. Os valores considerados foram obtidos a partir da média de 20 estações localizadas na área estudada. De maneira geral, foi possível identificar alguns períodos de maiores chuvas: 1928 a 1929, 1934, 1956, 1965 a 1967 e 1973. Já as menores precipitações foram observadas em: 1914, 1933, 1984, 2009 e mais significativamente entre 1990 e 1993.

A dragagem é um dos fatores antrópicos que mais afeta as mudanças de sedimentação. A fim de compreender como essa influência afetou o sistema ao longo do tempo, serão analisados, posteriormente, as variações dos volumes dragados. O histórico de volume dragado, de acordo com dados da CODESP, pode ser observado nas Figura 9 e Figura 18. Destaca-se que há uma diferenciação entre o trecho dragado no qual a CODESP é responsável, aqui denominado Porto de Santos, e o Canal de Piaçaguera, pelo qual as empresas USIMINAS (antiga CODESP) e Ultrafétil são responsáveis. Há uma ausência de dados de dragagem no Canal de Piaçaguera, com dados apenas de alguns períodos. Com relação ao trecho do Porto de Santos, foi possível observar alguns períodos de maior volume dragado: 1966 (11,15 milhões de m³), 1972 a 1973 (12,5 e 19,95 milhões de m³, respectivamente) e 2010 a 2012 (16,03 milhões de m³).

Tabela 6. Dados de datação das amostras dos testemunhos estudados.

Profundidade (cm)	Ano de deposição					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0-2	2012	2012	2012	2012	2012	2012
2-4	2011	2010	2011	2011	2009	2012
4-6	2008	2008	2010	2009	2006	2011
6-8	2006	2007	2008	2008	2003	2010
8-10	2005	2003	2007	2006	2000	2008
10-12	2000	2000	2005	2005	1998	2005
12-14	1996	1997	2003	2003	1995	2001
14-16	1994	1992	2002	2002	1993	1998
16-18	1993	1988	2000	2001	1991	1997
18-20	1992	1985	1998	2000	1990	1995
20-22	1991	1981	1997	1999	1988	1991
22-24	1987	1979	1995	1998	1988	1986
24-26	1982	1978	1993	1997	1983	1984
26-28	1976	1975	1991	1996	1979	1984
28-30	1973	1969	1990	1995	1976	1984
30-32	1973	1963	1889	1994	1972	1984
32-34	1972	1958	1987	1994	1970	1982
34-36	1972	1954	1985	1993	1967	1976
36-38	1972	1946	1984	1993	1963	1972
38-40	1972	1944	1983	1992	1960	1970
40-42	1971	1936	1982	1990	1956	1966
42-44	1966	1936	1979	1987	1945	1964
46-48	1961	1931	1978	1984	1944	1963
50-52	1958	1925	1976	1980	1940	1959
60-62	1949	1924	1974	1970	1931	1938
70-72	1948	1922	1967	1957	1921	1925
80-72	1946	1920	1958	1947	1916	1887
90-92	1941	1918	1946	1932	1895	1814
100-102	1935	1916	1920			
110-112	1933	1912				
120-122	1927	1907				
130-132	1905	1879				
140-142		1859

Figura 8. Perfis de taxa de sedimentação (em cm a^{-1}) ao longo do tempo, para os testemunhos estudados.

Figura 9. Perfis de fluxo de massa (em $\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$) ao longo do tempo para os testemunhos estudados e histórico de precipitação medida (em mm a^{-1}) e volume de material dragado (em $\text{m}^3 \times 1000$), destaca-se que S3 apresenta valores em escala diferente dos demais.

5.2. Análises de metais

A análise de sedimento de testemunhos é de suma importância na avaliação histórica de poluentes. Os sedimentos funcionam como indicadores a longo e médio prazo do fluxo de metais em ambientes industrializados, que ajudam a melhorar as estratégias de gestão, assim como são eficientes para avaliar o sucesso dos controles recentes de poluição. O estudo de colunas sedimentares fornece o registro histórico da acumulação de metais no sistema aquático, indicando tanto os níveis basais de metais como fontes antrópicas (RAVICHANDRAN et al., 1995).

5.2.1. Digestão parcial do sedimento

A análise de digestão parcial do sedimento é procedimento amplamente aplicado em estudos geoquímicos na solubilização de metais em amostras ambientais. É um método que utiliza os ácidos nítrico e clorídrico (HCl, HNO₃). Essas misturas ácidas colocam em solução os metais que estão ligados às frações geoquímicas consideradas ambientalmente disponíveis dos sedimentos (AGUIAR, 2007).

Os resultados obtidos a partir da digestão parcial foram utilizados para a análise da porção disponível dos metais e As no ambiente e são indicados nas Figura 10, Figura 11 e Figura 12. O Anexo 4 apresenta os valores de concentração para todos os elementos analisados, para cada seção do perfil sedimentar. Pode-se observar que, de maneira geral, o testemunho que apresentou as maiores concentrações de metais e As disponíveis foi S3, seguido de S2.

Os menores teores foram observados em S6. Destacou-se, entre os elementos estudados, o semimetal As, que apresentou altas concentrações em alguns períodos. Os metais Cu, Pb e Zn demonstraram perfis semelhantes em todos os testemunhos, podendo indicar uma fonte semelhante desses no sistema, com aumento de concentração ao longo da coluna sedimentar. Os testemunhos S2 e S4 evidenciaram um aumento nas concentrações nas porções mais superficiais para a maioria dos elementos. Já as colunas sedimentares S1,

S3 e S5 indicaram uma diminuição dos teores nas porções mais recentes. S6 apresentou os perfis mais homogêneos no que se diz respeito ao teor de metais e As disponíveis.

Figura 10. Perfis de concentração (em mg kg⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão parcial do sedimento para os testemunhos S1 e S2.

Figura 11. Perfis de concentração (em mg kg⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão parcial do sedimento para os testemunhos S3 e S4, destaca-se que S3 apresenta valores em escalas diferentes dos demais.

Figura 12. Perfis de concentração (em mg kg⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão parcial do sedimento para os testemunhos S5 e S6.

5.2.2. Digestão total do sedimento

O procedimento de digestão total inclui as misturas dos ácidos nítrico e fluorídrico (HNO_3 e HF). Essas misturas são capazes de colocar em solução os elementos químicos que estejam associados a todas as fases ou frações geoquímicas: frações adsorvidas, trocáveis, oxidáveis, reduzidas e residuais. As quatro primeiras correspondem às frações potencialmente lábeis e a última à fração associada à estrutura cristalina dos minerais. (FISZMAN; PFEIFFER; LACERDA, 1984; SASTRE et al., 2002).

Os resultados de digestão total auxiliaram na interpretação dos níveis basais (*background*) dos elementos no ambiente estudado, e são apresentados nas Figura 13,

e Figura 15. O Anexo 5 apresenta os resultados de concentração, para cada elemento analisado, em todas as secções dos perfis sedimentares. As maiores concentrações foram encontradas no testemunho S3, enquanto as menores foram, novamente, observadas em S6. De maneira geral, as colunas sedimentares evidenciaram perfis menos homogêneos do que aqueles encontrados anteriormente na digestão parcial.

Novamente, observaram-se aumentos nas concentrações nas porções superficiais para a maioria dos elementos das colunas sedimentares de S2 e S4, enquanto S3 e S5 demonstraram o oposto, havendo uma diminuição nos teores. Foi possível observar a partir da digestão total dos sedimentos alguns períodos anômalos nas colunas sedimentares, principalmente evidenciados em S5 e S6.

Os elementos que se destacaram foram: As, Cu, Pb e Zn. O primeiro apresentou altas concentrações, enquanto os demais metais apresentaram, em alguns pontos, aumentos recentes.

Figura 13. Perfis de concentração (em mg kg^{-1}) de As e metais obtidos a partir do método de digestão total do sedimento para os testemunhos S1 e S2.

Figura 14. Perfis de concentração (em mg kg⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão total do sedimento para os testemunhos S3 e S4 destaca-se que S3 apresenta valores em escalas diferentes dos demais para alguns elementos.

Figura 15. Perfis de concentração (em mg kg⁻¹) de As e metais obtidos a partir do método de digestão total do sedimento para os testemunhos S5 e S6.

5.2.3. Análise de Hg por geração de vapor

O mercúrio é um dos poluentes ambientais potencialmente perigosos, podendo causar diversos danos significativos à saúde humana (LI et al., 2008). A toxicidade do mercúrio está associada ao seu caráter cumulativo nos diferentes compartimentos ambientais, na biota e na cadeia alimentar (MELAED; LUZ, 2005).

Devido a sua alta volatilidade, o método de análise de Hg se difere dos demais metais, portanto, será analisado separadamente. Os perfis de Hg para os testemunhos estudados são apresentados na Figura 16. O Anexo 5 apresenta os resultados de concentração de Hg, em todas as secções dos perfis sedimentares. Foi possível notar, de maneira geral, um aumento recente desse elemento no sistema. As maiores concentrações foram encontradas em S2 e S3, enquanto S6 apresentou, novamente, os menores valores.

Os aumentos mais acentuados ocorreram em S2, S3 e S4, embora se iniciem em períodos distintos. As colunas sedimentares S1 e S5 demonstram maiores variações ao longo do tempo, com alguns períodos de pico de concentrações. Já em S6, observaram-se as menores variações, caracterizando novamente uma coluna sedimentar mais homogênea.

Figura 16. Perfis de concentração de Hg (em mg kg⁻¹) para os testemunhos estudados, destaca-se que S2 e S3 apresentam valores em escalas diferentes dos demais.

5.3. Modelagens hidrodinâmicas e teor de sedimentos finos

O tamanho dos grãos reflete o padrão hidrodinâmico da região. Quanto mais altas as velocidades de corrente, menor o potencial de deposição de sedimentos finos, uma vez que são mais leves e mais facilmente carreados. A seguir, apresentam-se os perfis de sedimentos finos (Figura 18) nos 6 testemunhos estudados e um mapa com a velocidade média das correntes no alto estuário santista (Figura 17), calculado a partir de dados de modelagem numérica (cedidos pelo Laboratório de Dinâmica Costeira do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo). De maneira geral, os testemunhos S1, S2 e S3 apresentaram os maiores teores de sedimentos finos, indicando um ambiente com menores velocidades de correntes (confirmado com os dados de modelagem). Os testemunhos S4 e S6 apresentaram os menores teores de sedimentos finos, indicando regiões mais dinâmicas. Já o testemunho S5 apresentou grande variação ao longo do tempo, com uma significativa diminuição no teor de sedimentos finos iniciada na década de 1920, indicando uma maior hidrodinâmica na sua porção mais recente.

A Figura 18 permitiu avaliar as variações dos perfis deposicionais ao longo dos anos. Notou-se uma mudança em S1 a partir da década de 1970, com diminuição no teor de finos a partir desse período, intensificada a partir de 1990. O testemunho S2 apresentou, preferencialmente, altos teores de sedimentos finos, indicando uma região com baixa hidrodinâmica e potencial deposicional. É interessante notar uma mudança no padrão deposicional nesse ponto, iniciada em meados de 1890. S3 está localizado no Canal de Piaçaguera e foi caracterizado por um alto teor de sedimentos finos até o final da década de 1990, a partir da qual se pôde observar uma diminuição brusca no teor de sedimentos finos.

Figura 17. Mapa das velocidades médias de corrente (em m s^{-1}) no alto estuário santista.

Figura 18. Perfis de teores de sedimentos finos (em %) ao longo dos anos e histórico de precipitação medida (em mm a⁻¹) e volume de sedimento dragado (em m³ x 1000).

5.4. Análises de COT e isótopos de C e N

Embora o objetivo do presente trabalho seja um levantamento histórico do Estuário de Santos e São Vicente com relação às forçantes antrópicas e influência de eventos naturais a partir da análise do fluxo de materiais depositados, algumas análises complementares foram realizadas com a finalidade de auxiliar a interpretação dos resultados.

Os isótopos de carbono e nitrogênio foram analisados com o objetivo de se estimar a fonte da matéria orgânica dos pontos analisados. Para tal, baseou-se no modelo desenvolvido por Lamb, Wilson e Leng (2006), utilizando dados de isótopos de C e a razão entre C e N orgânico. Realizaram-se duas abordagens desses resultados, sendo uma voltada para a distribuição espacial e como os testemunhos respondem às diferenças ao longo do estuário de Santos e São Vicente. E outra, avaliando como esse parâmetro variou ao longo do tempo.

Contexto espacial

As Figura 19 e Figura 20 mostram detalhes da variação espacial da fonte de matéria orgânica nos pontos estudados. O gráfico destaca as principais fontes de matéria orgânica: bactérias, algas, COP (carbono orgânico particulado), COD (carbono orgânico dissolvido) e plantas terrestres. O Anexo 5 apresenta os valores de concentração de isótopos de C e N para cada seção do perfil sedimentar. Nota-se que esta se altera conforme se adentra no estuário. S1 está localizado próximo ao canal de Santos, e sua matéria orgânica tem como possível fonte carbono orgânico dissolvido marinho. S2, localizado na porção do estuário próxima ao porto de Santos, apresenta grande influência terrígena, sendo sua principal fonte de matéria orgânica as plantas C₃. O testemunho S3 está localizado no Canal de Piaçaguera e apresenta como possível fonte de matéria orgânica as plantas C₃, carbono orgânico dissolvido e algas de água doce.

Figura 19. Mapa de estimativa de fonte de matéria orgânica, baseado no modelo de Lamb, Wilson e Leng (2006) para os testemunhos S1, S2 e S3.

Figura 20. Mapa de estimativa de fonte de matéria orgânica, baseado no modelo de Lamb, Wilson e Leng (2006) para os testemunhos S4, S5 e S6

Na Figura 20, referente à porção do estuário próxima à cidade de São Vicente, notou-se a baixa influência marinha, refletida na fonte de matéria orgânica. O testemunho S4 apresentou matéria orgânica proveniente de carbono orgânico dissolvido e algas de água doce. Em S5, houve origem maior de plantas terrestres. Já em S6, notou-se uma maior influência dos rios, sendo a matéria orgânica em sua maioria oriunda de algas de água doce.

Contexto temporal

Assim como se notaram variações no padrão da matéria orgânica entre os diferentes pontos do estuário, podem-se notar diferenças na composição da matéria orgânica ao longo do tempo em cada ponto estudado, embora essas sejam, muitas vezes, mais sutis que as descritas anteriormente. Abaixo são demonstrados os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e da razão entre carbono orgânico e nitrogênio total, para as colunas sedimentares estudadas. Os respectivos gráficos baseados no modelo de Lamb, *et al.* (2006) também são expostos para facilitar o entendimento.

O testemunho S1 (Figura 21) apresentou, majoritariamente, valores característicos de matéria orgânica de COD marinho. Destacaram-se nesse ponto alguns períodos: entre 1972 a 1980 e 1995 a 2012. Esses indicaram uma matéria orgânica com maior influência terrígena, caracterizada pela presença de COD e COP de rios em sua composição. O ponto S2 (Figura 22) apresentou grande homogeneidade ao longo da coluna sedimentar. É possível notar pequenas variações nos valores da razão $C_{\text{org}}/N_{\text{total}}$ no período entre 1870 e 1950. No entanto, todos os valores apresentados nesse testemunho indicam uma matéria orgânica com características de COD marinho e de rios, sendo o último predominante.

O testemunho S3 (Figura 23) apresentou pequenas oscilações com relação à razão isotópica de C ($\delta^{13}\text{C}$), e houve uma maior variação na razão $C_{\text{org}}/N_{\text{total}}$. Os valores caracterizam uma matéria orgânica com origem, majoritariamente, de COD de rios. Nota-se que os valores apresentam pouca variação até a década de 1950, quando passam a apresentar maiores oscilações. Destacaram-se alguns períodos: 2002 e 2007, quando se notou a

origem terrígena dessa matéria orgânica, proveniente de plantas C_3 . Os anos de 1958, 1997 e 2012 destacaram-se pelos menores valores das razões analisadas, caracterizando a matéria orgânica com COP.

A coluna sedimentar S4 (Figura 24) indicou matéria orgânica natural de um ambiente de transição. Puderam-se notar valores característicos de uma mistura entre COD marinho e COD e COP de rios até meados dos anos 1980, quando passam a apresentar características de um ambiente com maior influência terrígena, sendo os teores indicativos de COD de rios e plantas C_3 até o ano de 2003, e mais fortemente de plantas C_3 após isso.

Notaram-se, em S5 (Figura 25), alguns períodos de transições. Observou-se até o início do século XX, uma maior influência marinha, com valores característicos de COD marinho. A partir de então foi possível constatar uma grande influência terrígena. Destacou-se o período entre 1988 e 2006, que indicou uma maior importância dos rios como fonte de matéria orgânica.

O ponto S6 (Figura 26) apresentou características distintas dos demais estudados. A coluna sedimentar se mostrou homogênea, com alguns pontos de grandes oscilações. De maneira geral, a matéria orgânica nessa região originou-se de COP de rios. Em alguns períodos os valores das razões estudadas aumentam significativamente, como em 1947, 1957, 1967, 1983 e 1992. Nesses intervalos, a matéria orgânica passa a ter mais influência terrígena, com sua origem predominantemente de plantas C_3 .

Figura 21. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{org}}$ para o testemunho S1.

Figura 22. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $C_{\text{org}}/N_{\text{org}}$ para o testemunho S2.

Figura 23. Perfis de $\delta^{13}C$ e C_{org}/N_{org} para o testemunho S3.

Figura 24. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $C_{\text{org}}/N_{\text{org}}$ para o testemunho S4.

Figura 25. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $C_{\text{org}}/N_{\text{org}}$ para o testemunho S5.

Figura 26. Perfis de $\delta^{13}\text{C}$ e $C_{\text{org}}/N_{\text{org}}$ para o testemunho S6.

6. DISCUSSÃO

6.1. Contexto Espacial

6.1.1. Caracterização do ambiente a partir de parâmetros hidrodinâmicos e origem da matéria orgânica

Embora o presente trabalho tenha como objetivo retratar a variação histórica da acumulação de sedimentos, buscou-se avaliar o contexto espacial da região, com objetivo de justificar os diferentes comportamentos observados entre os testemunhos estudados. Para entender o ambiente sob esse aspecto, analisaram-se os resultados dos isótopos de carbono e nitrogênio, a modelagem hidrodinâmica, teor de sedimentos finos (

Figura 27) e fluxo de massa (Figura 28).

Os resultados indicaram as seguintes características: ainda que a circulação no estuário de Santos e São Vicente seja dominada pelas correntes de maré, observaram-se correntes residuais que adentram no sistema a partir do Canal de Santos e saem pelo Canal de São Vicente. A origem da matéria orgânica indicou que apenas o ponto S1 apresentou maior influência marinha, os demais pontos tiveram grande influência terrígena. O ponto localizado no Canal de Piaçaguera (S3), indicou uma grande influência dos rios que ali deságuam, bem como do presente manguezal, representado pelas plantas C₃.

Os pontos S4 e S5 foram semelhantes, refletindo a grande influência dos rios e mangues locais. Já o ponto S6, apresentou influência preferencialmente de rios, indicando uma região de alta produção primária, devido a forte influência de algas de água doce.

Observando o teor de sedimentos finos e a modelagem hidrodinâmica, observou-se que as maiores intensidades de corrente são observadas no Canal de Santos, Canal de São Vicente (próximos às desembocaduras) e próximos à desembocadura do rio Casqueiro. Os pontos S1 e S2 tendem a acumular um maior teor de sedimentos finos, característicos de velocidades de corrente de baixa intensidade. Os testemunhos S3 e S5 estão localizados em ambientes transicionais sofrendo maiores influências dos rios locais. S4 e S6 estão

localizados em pontos de maior hidrodinâmica, tendendo a acumular uma quantidade menor de sedimentos finos.

Analisando os fluxos de massa, pôde-se caracterizar o sistema a partir de três características: alta, baixa e média deposição de sedimentos. Os pontos S1, S2 e S4 indicaram regiões com baixo potencial deposicional, com o testemunho S2 exibindo os menores valores. Os pontos S5 e S6 apresentaram valores semelhantes, revelando regiões com deposição sedimentar superior aos pontos anteriores. Destacou-se no sistema o testemunho S3, que demonstrou valores significativamente mais elevados do que os demais pontos, sendo a região com maior acumulação de sedimentos.

Figura 27. Mapa de caracterização espacial a partir de parâmetros hidrodinâmicos (intensidade de corrente e teor de sedimentos finos) e origem da matéria orgânica

Figura 28. Mapa de Fluxo de Massa médio (em g cm⁻² a⁻¹ x 10²) para os pontos amostrados.

6.1.2. Caracterização espacial do ambiente a partir do fluxo de metais

O presente trabalho buscou avaliar os metais e As a partir de uma nova perspectiva, tentando entender o quanto esses elementos estão se acumulando no sedimento e sua disponibilidade para o ambiente. Para isso foram calculados os fluxos dos metais depositados, baseado na seguinte equação (COCHRAN et al. 1998):

$$F_i = s_i \times \rho_i \times (Me) \quad (5)$$

onde:

F_i é o fluxo de elementos (em $mg\ cm^{-2}\ a^{-1}$);

s_i é a taxa de sedimentação derivada do modelo CRS (em $cm\ a^{-1}$);

ρ_i é a densidade aparente (em $g\ cm^{-3}$);

Me é a concentração do elemento (em $mg\ g^{-1}$).

Para entender o quanto dos metais está relacionado à fração retida na estrutura cristalina dos sedimentos (aqui denominada residual) e a fração mais facilmente disponível no ambiente (denominada disponível), realizaram-se dois métodos de digestão: parcial e total. Para o cálculo do fluxo de metais ligados a porção residual (F_{mR}), utilizou-se como concentração o valor obtido na digestão total, subtraído o encontrado na digestão parcial do sedimento. Já para o fluxo de metais disponíveis (F_{mD}), a concentração aplicada foi aquela obtida a partir da digestão parcial do sedimento. Devido a sua alta volatilidade, o Hg não pode ser submetido às mesmas técnicas analíticas dos demais metais, sendo assim, esse elemento é o único a apresentar apenas um fluxo, e será tratado separadamente. O Anexo 4 apresenta os valores de fluxo obtidos para os elementos estudados em todas as secções da coluna sedimentar.

Observando os valores de F_{mD} e F_{mR} para os elementos estudados (Figura 29 a Figura 35), notamos diferenças significativas com relação aos pontos. O testemunho S3 apresentou valores de F_{mD} substancialmente maiores para todos os elementos, seguidos por S1. Já S6 apresentou os menores teores. Os maiores F_{mR} foram encontrados na coluna sedimentar S5.

Comparando os valores de F_{mD} e F_{mR} , notou-se que, de maneira geral, a porção disponível é superior à residual, e apenas no testemunho S5 foram observados teores basais maiores do que os disponíveis. Observou-se que as maiores diferenças entre os dois fluxos são apresentadas em S3 para todos os elementos, com exceção de As. O testemunho S1 demonstrou discriminações notáveis entre os fluxos apenas para os metais Pb e Zn. Já em S2, notou-se essa distinção para Cu, Pb e Zn. A coluna sedimentar S4 apresentou características diferentes dos demais, uma vez que foram evidenciadas desigualdades, embora pequenas, para Cr, Ni e Pb. Não se notaram discrepâncias consideráveis entre os fluxos em S6.

Com relação ao Hg (Figura 36), foi possível notar grandes contrastes entre os pontos estudados, em decorrência disso deve-se atentar para o detalhe de que as escalas das figuras são diferentes para cada ponto. Os maiores valores foram verificados em S3 (média de $53,81 \times 10^{-5} \text{ mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$), seguidos por S2 (média de $24,34 \times 10^{-5} \text{ mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Os menores valores foram observados em S6 e S4 (médias de $2,07 \times 10^{-5} \text{ mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ e $2,45 \times 10^{-5} \text{ mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, respectivamente).

Os fluxos de metais indicaram que o testemunho S3 é o mais propício à acumulação de metais no sedimento, potencialmente em sua forma mais disponível. Em contrapartida, S6 apresentou características que demonstram uma região com baixa tendência à acumulação de metais. O ponto S5 se distinguiu dos demais, indicando uma região com metais depositados preferencialmente ligados à componente mineralógica dos sedimentos.

Figura 29. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para As (em mg cm⁻² a⁻¹ x 10³).

Figura 30. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Cr (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Figura 31. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Cu (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Figura 32. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Ni (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Figura 33. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Pb (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Figura 34. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Sc (em mg cm⁻² a⁻¹ x 10³).

Figura 35. Mapa de fluxo de metais disponíveis (F_{mD}) e residuais (F_{mR}) para Zn (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Figura 36. Mapa de fluxo de metais para Hg (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^5$), destaca-se que os testemunhos apresentam valores em diferentes escalas.

6.2. Contexto Histórico

Os processos sedimentares que ocorrem em uma zona costeira são resultantes de fatores oceanográficos/hidrológicos, meteorológicos/climáticos, e antrópicos (SOUZA et al. 2005, SOUZA, 2009). Os fatores oceanográficos/hidrológicos envolvem aporte fluvial, a ação de ondas, marés, ventos, e as correntes geradas por cada um desses agentes. Os fatores climáticos/meteorológicos têm maior influência nas variações do nível relativo do mar (NM), diárias, sazonais e de longo período, e na atuação dos ventos, agindo também no comportamento do clima de ondas e, consequentemente, interferindo nas características das correntes costeiras. Os fatores antrópicos compreendem as interferências do homem nos ecossistemas costeiros, modificando ou acelerando os processos naturais (FUNDESPA, 2010). Buscou-se focar, nesse trabalho, nos fatores oceanográficos/ hidrológicos (aqui considerados como fatores naturais) e antrópicos.

6.2.1. Balanço sedimentar variando naturalmente

Segundo Farinaccio (2008), a circulação no estuário de Santos e São Vicente é governada pela combinação dos efeitos da maré, do vento e da contribuição de água doce proveniente dos cursos fluviais. No entanto, apesar de existir uma forte influência do regime de marés dentro do estuário, este apresenta um padrão de correntes com baixa competência para transportar os sedimentos ao longo dos canais estuarinos (COELHO, 2011; PONÇANO, 1985). O principal processo de aporte de sedimentos está associado à drenagem fluvial da área. Os rios que drenam as escarpas da Serra do Mar são responsáveis pelo aporte de sedimentos no estuário, provocando mudanças significativas na sua morfologia (CPEA, 2011). Uma grande quantidade de materiais finos é drenada do continente para o estuário. Nesse ambiente, o processo de deposição devido à baixa intensidade de correntes é predominante (COELHO, 2011; FÚLFARO; PONÇANO, 1976). As características climáticas, aliadas à ausência de expressivas bacias de drenagem, conferem ao regime pluvial uma grande

importância em relação ao transporte de água doce e sedimentos para o estuário (FARINACCIO, 2008).

Com base nisso, assumiu-se, como condição de contorno, que o aporte fluvial é a principal forçante natural que afeta a sedimentação do estuário de Santos e São Vicente. Para estimar como esse parâmetro contribuiu para a sedimentação local, buscou-se avaliar a variação da vazão dos rios ao longo do tempo. Devido ao fato da vazão dos rios ser afetada por influências antrópicas e o aporte pluvial ter grande relevância como fonte de água doce, optou-se por utilizar os dados de pluviosidade como indicativos das variações naturais atuantes no meio, o histórico de precipitação pode ser encontrado nas Figura 9 e Figura 18, comparados com dados de fluxo de massa e teor de sedimentos finos, respectivamente.

Os dados de precipitação se iniciam em 1910 e indicam, pontualmente, influências sobre o material depositado. No ponto S1, foi possível observar que, para alguns casos, a variação no volume de chuvas culminou em mudanças na fonte de matéria orgânica. Próximo ao ano de 1973 notou-se um aumento de influência terrígena, coincidindo com maiores volumes de chuva (aproximadamente 3075 mm a^{-1}). Já no período entre 1985 e 1993, distingue-se uma diminuição na razão C/N e $\delta^{13}\text{C}$ (caracterizando uma maior influência marinha) coincidindo com uma época de baixa pluviosidade (valores médios de 950 mm a^{-1}).

O testemunho S2 apresentou grande homogeneidade quanto aos parâmetros analisados, e as pequenas variações observadas não puderam ser associadas à vazão dos rios. Em S3 novamente notou-se, pontualmente, influência na origem da matéria orgânica. Observou-se que em dois períodos de maior pluviosidade: 1956 (cerca de 3300 mm a^{-1}) e 1965 a 1967 (médias de 3200 mm a^{-1}) houve uma maior contribuição de carbono orgânico de origem particulada.

A coluna sedimentar S4 apresentou relação, ainda que sutil, da pluviosidade com a origem da matéria orgânica, o fluxo de massa e a granulometria. Notaram-se aumentos nos valores da razão C/N (indicativos de uma maior influência de plantas C_3 em três períodos: 1984, 1997 e 2009, coincidindo com períodos de baixa precipitação. O fluxo de massa apresentou

características, muitas vezes, inversas a chuva. Notou-se um aumento no fluxo a partir da década de 1960, período o qual passa a se notar uma tendência a diminuição no volume de chuvas. Há um pico no fluxo de material depositado na década de 1990, coincidindo com os menores valores de pluviosidade. O mesmo ocorre com a granulometria, embora esse padrão observado não coincida perfeitamente com as datas. Há um deslocamento de, aproximadamente, dois anos entre os picos observados.

Os dados obtidos na coluna sedimentar S5 indicaram uma baixa associação entre a origem da matéria orgânica e o fluxo de massa com o volume de chuvas. No entanto, observou-se que o teor de sedimentos finos coincide com as variações pluviométricas em diferentes períodos. Notaram-se, por exemplo, maior quantidade de sedimentos finos em meados da década de 1960, coincidindo com um período de grande volume de chuva. Em contrapartida, notou-se uma diminuição no teor de finos no início da década de 1990, que condiz com um período de estiagem. O testemunho S6 não apresentou associações entre os parâmetros analisados e o volume de chuva.

6.2.2. Intervenções antrópicas que podem alterar o balanço sedimentar natural

Partindo do pressuposto que a pluviosidade afeta as variações de maneiras pontuais, buscou-se entender quais outros processos antrópicos poderiam explicar as grandes oscilações observadas. Devido ao grande número de fatores humanos que poderiam alterar a sedimentação do estuário de Santos e São Vicente, novamente optou-se por delinear condições de contorno e limitar as influências antrópicas naquelas consideradas mais significativas: o uso e cobertura do solo, os processos de dragagem e as atividades industriais e portuárias.

6.2.2.1. Mudanças na sedimentação devido ao Uso do Solo

Histórico do uso do solo

O uso e ocupação do solo na Baixada Santista teve relação direta com o histórico de industrialização da região. Observam-se cenários com baixa e alta densidade populacional, intensa urbanização, atividades industriais em larga escala, exploração turística, e também ecossistemas complexos e de importante significado ambiental (IBGE, 2002). A análise populacional histórica acompanha o aumento na cobertura do solo por atividades antrópicas (descrita na Figura 37), que pode provocar a aceleração na remoção dos solos.

Fonte: FIBGE, Censos Demográficos de 1940 a 2010 e site memórias santistas (para dados anteriores a 1940)

Figura 37. Histórico da população residente e taxa de crescimento populacional na Baixada Santista.

De maneira geral, a ocupação da região iniciou seu efetivo crescimento com o desenvolvimento do porto no final do século XIX, atividade que movimentava a economia nesse período. Com o evento das duas guerras mundiais, as funções portuárias foram impactadas. Após forte incentivo governamental e com a implementação do polo industrial de Cubatão, na década de 1950, há um crescimento exponencial no número de habitantes. O processo de industrialização propiciou um excessivo grau de migração, elevando a ocupação. Muitas vezes, feita de maneira descuidada, a migração intensificou o desmatamento e o número de ocupações irregulares e clandestinas. O turismo também contribui de maneira significativa para o uso do solo na Baixada Santista desde a década de 1920.

Como é possível notar nos gráficos populacionais, o aumento no número de habitantes entre as cidades da região não foi feito de maneira homogênea. A ocupação se iniciou na cidade de Santos e por muitos anos se viu restrita à

porção nordeste da Ilha de São Vicente. A partir das melhorias em infraestruturas e saneamento básico (como a construção dos canais de drenagem, no início do século XX), há uma maior ocupação da ilha.

Com o desenvolvimento industrial, a partir da década de 1940 outras regiões passam a ser ocupadas, dentre elas destaca-se a cidade de São Vicente, principalmente em sua porção insular. No final da década de 1950, já era possível observar uma grande ocupação e urbanização na Ilha de São Vicente, e o crescimento populacional se intensificou nas cidades adjacentes. O crescimento periférico à ilha se deu intensamente até a década de 1980, quando passou a ocorrer de maneira amena, perdendo moradores para regiões mais distantes, como Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. Destaca-se nesse período a ocupação da Vila dos Pescadores, nos arredores do Rio Casqueiro, que ocorreu de maneira intensa entre as décadas de 1960 e 1980. Segundo o IBGE, em 2011, a porção terrestre de São Vicente era representada por 13,4% de área insular e 86,6% de área continental. Por outro lado, a parte insular abrigava 70% da população do município, enquanto a parte continental abrigava duas unidades de conservação.

Mudanças na sedimentação devido ao uso do solo

As mudanças composicionais e deposicionais muitas vezes podem estar relacionadas à ocupação do solo. Desmatamentos e o uso irregular, por exemplo, podem modificar o material depositado. Para aferir o quanto esse parâmetro influenciou nas alterações observadas nos testemunhos, optou-se por avaliar cada ponto separadamente, levando em consideração as particularidades de cada região estudada. Para a interpretação dos dados quanto ao uso e cobertura dos solos, utilizaram-se como ferramentas auxiliares: o histórico de crescimento populacional (Figura 37), imagens aéreas de diferentes períodos (Figura 38) e mapas de uso e cobertura dos solos (Figura 39 e Figura 40). As imagens com destaque em cada ponto estudado podem ser encontradas no Anexo 1.

O ponto S1, como observado na

Figura 27, está localizado próximo à ligação do Canal de Bertioga com o estuário de Santos e São Vicente. Dessa maneira, sofre influência tanto da corrente proveniente do Canal de Santos como da residual oriunda de Bertioga. Seu histórico deposicional refletiu interferência do crescimento populacional de Bertioga. Foi possível observar desse ponto mudanças composicionais (diminuição no teor de finos e fonte de matéria orgânica) a partir da década de 1970, as quais são intensificadas no final da década de 1990. Notou-se, a partir da Figura 37, que essas mudanças coincidem com a ocupação populacional da cidade vizinha. As variações recentes na deposição podem ter sido influenciadas pelo desmatamento das áreas adjacentes e a construção de um novo terminal portuário na Ilha de Barnabé, como observado nas Figura 38 e Figura 39.

O testemunho S2, localizado em uma região abrigada e com poucos empreendimentos e ocupações próximas, apresentou os dados mais homogêneos dentre os pontos estudados. Pequenas mudanças puderam ser observadas, entre elas destacou-se o teor de sedimentos finos, que sofreu um grande aumento entre 1870 e 1910. O fluxo de massa e a composição da matéria orgânica sofreram mudanças até a década de 1920. Esse fato pode estar associado ao crescimento das atividades portuárias nesse período e ao consequente aumento populacional, ainda restrito a essa região no período.

Localizado no Canal de Piaçaguera, o testemunho S3 sofre grande influência da cidade de Cubatão. Foi possível observar mudanças no padrão deposicional e na composição dos sedimentos a partir da década de 1950. O fluxo de massa passa a sofrer grande aumento a partir dessa data e houve uma maior oscilação quanto à fonte de matéria orgânica, podendo estar relacionado ao desenvolvimento de Cubatão. Com grande industrialização e urbanização a partir desse período, foi crescente o desmatamento e o aumento do uso do solo, que pode contribuir com uma maior deposição de sedimentos no sistema. O perfil de granulometria mostrou-se homogêneo ao longo do tempo. Apenas após 1990, foi possível notar uma diminuição brusca no teor de material fino. Essa variação pode ser explicada pela redução da vegetação de mangue próximo ao ponto. O mangue é o principal responsável pela retenção de material fino nesse ponto.

Quanto ao ponto S4, pudemos notar que há modificação no fluxo de massa, no teor de sedimentos finos e na origem da matéria orgânica a partir da

década de 1970. Foi possível notar uma maior interferência terrígena e deposição de sedimentos, podendo estar relacionado ao desmatamento e ocupação da Vila dos Pescadores. A partir dos anos 2000, houve uma inversão das condições de sedimentação, com diminuição no teor de finos, menor fluxo de massa e maior influência de plantas C_3 na matéria orgânica. Não foi possível associar esse período com as modificações encontradas nas imagens aéreas. No entanto, uma possibilidade é que ele seja reflexo dos programas de controle ambiental. O perfil granulométrico apresentou maior oscilação ao longo do tempo quando comparado aos demais parâmetros. Possivelmente outros fatores, que não a cobertura do solo, podem estar afetando essas modificações.

Analisando os resultados em S5, foi possível observar uma mudança significativa no teor de sedimentos finos e fluxo de massa a partir da década de 1940. Esse fato coincidiu com o histórico de ocupação de São Vicente. Observando as Figura 38 e Figura 40, foi possível notar uma considerável alteração no uso do solo dessa região. A população passa, ao longo dos anos, a ocupar porções mais próximas a rodovias, rios e estuário, desmatando a vegetação de mangue original e acelerando a remoção dos solos em direção ao estuário.

O testemunho S6, localizado próximo à desembocadura do Canal de São Vicente, sofreu influências antrópicas semelhantes às aquelas mencionadas para S5. No entanto, observou-se um comportamento um pouco distinto do ponto anterior. Há um crescente aumento no teor de sedimentos finos até a década de 1950, quando passa a cair. A partir desse mesmo período podemos verificar um aumento no fluxo de sedimentos e uma maior variação quanto à origem da matéria orgânica. A coluna sedimentar em questão está localizada em frente ao rio Piaçabuçu, afetado diretamente pelo crescimento populacional da cidade de Praia Grande. As variações encontradas podem ter sido reflexo de uma maior influência desta no sistema.

Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação

Fonte: Google Earth

Fonte: Google Earth

Fonte: Google Earth

Figura 38. Imagens aéreas da região de estudo nos anos de 1954, 1984, 1997 e 2012.

Fonte: MapBiomias

Figura 39. Imagens do uso e cobertura do solo nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2012.

Fonte: Mello et al., 2013

Figura 40. Cobertura do solo em São Vicente nos anos de 1963, 1972, 1987, 1994, 2001 e 2007.

6.2.2.2. Dragagem

Histórico de dragagens no canal do Porto de Santos e Piaçaguera

O Porto de Santos foi um dos grandes responsáveis pelo desenvolvimento da Baixada Santista. Seu histórico está diretamente relacionado ao crescimento urbano e industrial da região. Ele foi estabelecido em 1532, localizado na Ponta da Praia. Em 1535, devido ao melhor abrigo, passou para a parte interna do estuário, hoje Cais do Valongo (SILVA, 2010).

O início de seu crescimento se deu em 1808, quando foi aberto ao comércio exterior. Embora tenha ocorrido grande desenvolvimento do porto ao longo do século XIX, foi apenas no final dele, com a concessão de sua administração para aquela que viria a se chamar Companhia de Docas de Santos (CDS), que o porto iniciou um intenso processo de desenvolvimento. (MELLO, 2008)

Em 1888 deu-se início às obras pretendidas pela empresa, iniciando também os processos de dragagem, que ocorreram de maneira periódica desde então. As primeiras obras de aprofundamento documentadas dataram do fim do século XIX, quando foi estabelecida uma profundidade de 7 metros no cais do Valongo. O crescimento do porto, a partir de então, fez-se de maneira intensa até a Primeira Guerra Mundial, quando as obras foram interrompidas. No período de 1928 a 1929 inicia-se a primeira obra, após 18 anos de paralisação, sendo construído um cais e tanques para depósito de combustíveis e produtos inflamáveis na Ilha Barnabé. Há registros de dragagem de aprofundamento no cais da Ilha Barnabé, estabelecendo 10m de profundidade. (JAKOB, 2003 ; MELLO, 2008).

No período que se sucede, entre os anos de 1931 e 1944 observou-se uma crise cafeeira, a qual refletiu no movimento do porto, que não sofre alterações nesse período. Devido a incentivos governamentais, o porto passa por grande período de expansão e desenvolvimento. Destaca-se a dragagem para aprofundamento no cais do Macuco entre os anos de 1945 a 1952, atingindo a profundidade de 10m dessa região (JAKOB, 2003; SILVA, 2013).

Devido à grande movimentação de granéis líquidos no início da década de 1960, fez-se necessária a dragagem para aprofundamento do canal da barra. Ela é iniciada em 1964, mas logo interrompida pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN), e reiniciada em 1966. O grande desenvolvimento industrial de Cubatão e o escoamento dos produtos a partir do porto levou à necessidade da dragagem no canal de acesso à COSIPA, iniciado em 1966 e concluído em 1967, estabelecendo uma calha de 10m de profundidade, 60m de largura e 8,5 km de extensão nesse trecho. A partir desse período observamos dois processos de dragagem ocorrendo simultaneamente: um sob a responsabilidade da CDS (substituída em 1980 pela Companhia de Docas do Estado de São Paulo- CODESP) e outro sob a administração da COSIPA, no Canal de Piaçaguera (JAKOB, 2003).

No final da década de 1960 e início de 1970, o porto passa por profundas transformações. Seguindo seu progresso, iniciou-se o processo de dragagem do canal da barra e Conceiçãozinha em 1969, atingindo em 1973 uma profundidade de 14m. Posteriormente, em 1979, ocorre o aprofundamento do Canal de Piaçaguera, ampliado para uma profundidade de 12m e 100m de largura (MELLO, 2008).

Desde as dragagens iniciais, o estuário passa por constantes manutenções, garantindo a profundidade desejada dos canais de navegação. No Canal de Piaçaguera há registro de 7 dragagens de manutenção no período entre 1966 e 1996, mas devido à contaminação dos sedimentos dragados, elas foram interrompidas pela CETESB (YOUNG, 2008). Apenas em 2005 a COSIPA obteve autorização para as novas dragagens, iniciadas em 2007 e concluídas em 2010. A CODESP obteve licença para novos aprofundamentos, iniciados em 2010.

Os dados de volume de sedimento dragado, divulgados pela CODESP, são apresentados nas Figura 9 e Figura 18. Para o Canal de Piaçaguera não há registros de volumes anuais dragados, apenas estimativas para as dragagens de aprofundamento dos anos de 1965 e 2006. Destaca-se no gráfico a dragagem de aprofundamento de 1979, no entanto, não há dados de volumes de sedimento dragado nesse período.

Os processos de dragagem foram responsáveis por mudar drasticamente as profundidades ao longo do estuário de Santos e São Vicente. Essas variações ao longo do tempo são responsáveis por alterar o padrão hidrodinâmico da região. As Figura 41 e Figura 42 apresentam cartas náuticas de 4 períodos distintos: 1960, 1975, 1990 e 2014. Ao longo desse período foi possível observar diferenças batimétricas significativas. Em 1965 é possível observar que a dragagem vai apenas até os limites do porto de Santos, próximos ao largo do Canéu. A profundidade média é de 12m na entrada do canal e inferior a 10m no interior do estuário. Em 1975, é possível observar o aprofundamento do Canal de Piaçaguera e a dragagem do canal da barra. A profundidade é de 14m no trecho A (canal da barra até entrada do Canal de Santos), 13m no trecho B (entrada do Canal de Santos até Conceiçãozinha), 12m do trecho C (Conceiçãozinha até Largo do Canéu) e 10m no trecho D (Laro do Canéu a Canal de Piaçaguera). Já em 1990, observa-se uma elevação das profundidades para: 14m no trecho A, 15m em B, 14m em C e 12m em D. Em 2014, após recentes dragagens, os valores são: 18m para A, 16m para B, 15m para C e 14m para D.

Figura 41. Cartas Náuticas dos anos 1960 (à esquerda) e 1975 (à direita) com as respectivas profundidades.

Figura 42. Cartas Náuticas dos anos 1990 (à esquerda) e 2014 (à direita) com as respectivas profundidades.

Mudanças na sedimentação devido às dragagens do Porto de Santos e Canal de Piaçaguera

Avaliando as mudanças observadas nas características composicionais e de acúmulo de sedimentos, foi possível notar que a dragagem contribuiu para mudanças no padrão deposicional, principalmente nos pontos mais próximos ao Porto de Santos. No ponto S1, notou-se uma maior influência terrígena na origem da matéria orgânica a partir de 1972, devido à possível influência da dragagem de aprofundamento ocorrida nesse período; observou-se um pico no fluxo de massa nesse mesmo período. A granulometria foi o parâmetro que melhor correlacionou com o aprofundamento do canal. É possível observar o início da diminuição no teor de sedimentos finos em 1960, agravada a partir da década de 1970. Essa variação pode ser explicada pela mudança na intensidade das correntes decorrentes das maiores profundidades.

No testemunho S2, não se observou influência da dragagem na fonte da matéria orgânica. No entanto, embora a variação dos parâmetros seja pequena, notou-se a influência das obras de aprofundamento do porto a partir do fluxo de massa e granulometria. No início do século XX, há um aumento significativo no fluxo de massa, e este passa a aumentar novamente a partir de 1960, embora de maneira sutil, significando um possível reflexo a dragagem do canal da barra. A granulometria sofre nítida influência do início das obras de aprofundamento, sendo o sedimento nesse ponto composto de material majoritariamente fino a partir do início do século XX. A significativa mudança pode ser reflexo da remobilização dos sedimentos finos para a coluna d'água, que passa a acumular em regiões propícias para sedimentação.

Já no Canal de Piaçaguera, onde se localiza o ponto S3, as influências da dragagem ocorreram de maneira mais sutil. Não é possível observar variações na origem da matéria orgânica decorrentes dessa intervenção. O fluxo de massa nesse ponto passa a aumentar a partir de 1965, período que coincide com a primeira dragagem do local. Já a granulometria, varia pouco ao longo da coluna sedimentar.

O testemunho S4, localizado próximo ao Rio Casqueiro, indicou influências da dragagem no fluxo de massa e granulometria. Foi possível

observar um aumento de fluxo a partir da década de 1960, que coincide com o início do aprofundamento do Canal de Piaçaguera. Com relação à granulometria, nota-se grande variação ao longo do tempo. É possível que as oscilações observadas a partir da década de 1970 possam ser reflexo das dragagens. Há um aumento no teor de sedimentos finos até meados da década de 1990, quando elas passam a ser interrompidas, e a porcentagem de finos volta a diminuir. Os pontos S5 e S6, localizados na porção do estuário referente a São Vicente, não sofreram influência das dragagens em seu processo deposicional.

6.2.2.3. Atividades industriais e portuárias

Histórico de atividades industriais e portuárias

O desenvolvimento industrial e portuário da Baixada Santista está relacionado com sua proximidade a São Paulo e suas infraestruturas. A primeira grande mudança na região ocorreu com a construção da ferrovia São Paulo Railway, no final do século XIX, que uniu São Paulo a Santos, favorecendo economicamente toda a Baixada Santista. A partir de então, esta região se urbanizou de modo intimamente ligado ao desenvolvimento da cidade de São Paulo e interior, inicialmente com o incremento de atividades portuárias e comerciais ligadas à cultura cafeeira e, posteriormente, complementando o parque industrial paulista com o complexo petroquímico e siderúrgico de Cubatão (AFONSO, 2005).

Desde o final do século XIX, o porto de Santos passa por grandes modificações e investimentos, em uma acentuada expansão que perdura até os dias atuais, como é possível notar na Figura 43. Os anos 1940 marcam um período crucial nesse crescimento, reflexo da política de incentivo às instalações industriais e portuárias. Ainda nessa década observaram-se o início da instalação do polo industrial de Cubatão, significativas mudanças na estrutura portuária, além da construção da via Anchieta.

Resultado desse investimento foi possível observar, na década de 1950, um aumento considerável na movimentação do porto, principalmente devido ao setor industrial e petroquímico, atingindo valores de 8 milhões de toneladas em

1954, o dobro do observado em 1944. Observaram-se, nesse período, instalações de indústrias de base, como a Cosipa (1953) e a refinaria de Presidente Bernardes (1955).

Deve-se à refinaria de Cubatão o impulso que transformaria a cidade no maior polo petroquímico da América Latina, ao fornecer as condições básicas para o início da fase de industrialização. Os anos seguintes foram marcados por um forte crescimento econômico, devido à consolidação do parque industrial, ao crescimento do comércio exterior e à ampliação das infraestruturas de transportes. Os graneis líquidos passam a dominar a movimentação do porto.

Figura 43. Crescimento e expansão do Porto de Santos.

Com a chegada da Cosipa e das fábricas de fertilizantes, a indústria de base alcançou o *status* máximo. A proximidade do porto de Santos foi decisiva para o crescimento industrial. A instalação da usina criou, também, uma situação ideal para Cubatão, que passou a ser um dos raros polos industriais com um parque petroquímico, siderúrgico e, posteriormente, de fertilizantes, cimento e papel. A Tabela 7 apresenta algumas das principais indústrias do complexo industrial de Cubatão.

Tabela 7. Principais indústrias do complexo industrial de Cubatão.

Início das Operações	Empresa	Empresa/ capital anterior	Ramo de atividade
1922	Santista de Papel	Cia. Fabril de Cubatão	Papel
1926	Usina Henry Borden	Light ang Power	Energia
1963	Cosipa	Siderbrás	Siderúrgico
1955	Refinaria Presidente Bernardes Cubatão	-	Petroquímico
1957	Estireno	Koppers Co. Inc.	Químico
1958	Dow Química	Union Carbide	Químico
1958	Copebrás	Columbian Chemicals	Químico
1958	Columbian Chemicals	Copebrás (Negro-fumo)	Químico
1964	Carbocloro	Diamond Alkali In. Co.	Químico
1968	Cimento Rio Branco	Cimento Santa Rita	Cimento
1970	White Martins	Liquid Carbonic	Gás
1970	Ultrafertil	Petrofertil	Químico
1971	Engeclor	Cobrapar (Grupo Ultra)	Químico
1972	Mosaic	Solorrico/Cargil Fertilizantes	Fertilizante
1972	Liquid Química	-	Químico
1973	Engelbasa	-	Usinagem
1974	Hidromar	-	Químico
1975	Petrocoque	-	Químico
1975	Bunge Fertilizantes	Iap/Indag	Fertilizante
1977	Bunge Fertilizantes	Manah Fertilizante	Fertilizante
1977	IFC	Aubos Trevo	Fertilizante
1989	Aga	-	Gás
1994	Brastubo	-	Metalúrgico
1999	B.O.C. Gás	-	Gás
2001	Dufer	-	Metalúrgico

Os anos 1970 foram marcados por profundas transformações. A partir do final da década anterior, os terminais privativos passam a ser implantados no porto. Aproveitando o canal do estuário, a Cosipa construiu, em 1968, o seu terminal para receber minério de ferro e carvão. Em 1971 a Ultrafertil e Dow Química inauguraram seus próprios terminais, seguidos por diversas indústrias nos anos posteriores (como observado no Anexo 3).

O crescimento desenfreado desencadeou um preocupante cenário de deterioração ambiental. O processo de degradação dos ecossistemas costeiros e os efeitos deletérios da poluição começam a ser revertidos somente a partir de 1984, quando se deu início a um intenso programa de controle da poluição do ar, das águas e do solo, no polo industrial de Cubatão, envolvendo investimentos da ordem de U\$ 800 milhões. Observou-se, então, um gradativo processo de recuperação dos ecossistemas aquáticos e estuarinos (FUKUMOTO, 2007).

Mudanças na sedimentação devido as atividades industriais e portuárias

As atividades industriais e portuárias podem afetar, significativamente a composição do material depositado. Para avaliar o reflexo desses empreendimentos no sistema estuarino de Santos e São Vicente, foi avaliada a acumulação de metais no sedimento. Para tal, comparou-se as variações históricas dos fluxos: F_{mD} e F_{mR} . Os perfis detalhados dos elementos estudados podem ser encontrados no Anexo 4. Foram observados seis comportamentos distintos de deposição ao longo do tempo, podendo ser separados em elementos que apresentaram características individuais (As, Cu, Sc e Hg) e aqueles que se assemelharam a outros (Cr similar a Ni e Pb a Zn).

Os perfis de As foram destacados como aqueles que retrataram as menores variações entre os F_{mD} e F_{mR} , indicando um baixo aporte antrópico desse elemento no sistema. As maiores diferenças foram notadas em S4: há um aumento da fração disponível com relação a residual iniciado em 1970, com pico em 1993, quando passa a diminuir novamente. Devido à proximidade desse ponto ao lixão do Alemoa, implantado na década de 1970, sugere-se que esse aumento poderia ser oriundo dessa atividade. Outra hipótese é que seja reflexo de atividades das indústrias de fertilizantes instaladas no complexo industrial de Cubatão.

Devido as suas características geoquímicas e sua baixa aplicabilidade industrial e portuária, o Sc foi utilizado como elemento controle, para nos indicar variações entre a fração disponível e residual que não ocorrem devido a aportes antrópicos pontuais. De maneira geral, os fluxos são semelhantes, apresentando tendências análogas. O ponto S3 não segue esse padrão, isso pode ser

explicado pelo aumento de processos de lixiviação. O início dessa diferença data da década de 1960. Diversas interferências antrópicas podem explicar essa variação, como o uso do solo, o início do processo de dragagem e a usina de Henry Borden (que passou a aumentar sua produção no período acima citado), que modificaram significativamente o padrão de circulação da região. Notaram-se fluxos semelhantes para Cr e Ni. Comparando os valores encontrados com Sc, pode-se dizer que há uma baixa fonte antrópica desses elementos adentrando ao sistema. Há um sutil aumento da fração disponível apenas no ponto S3, iniciada na década de 1960.

O metal Cu apresentou baixas variações entre os fluxos ao longo do tempo, com exceção do ponto S3. Nesse local, foi possível notar desde a década de 1950 padrões distintos, os quais foram mais evidenciados a partir de 1975. Esse fato coincide com o histórico de industrialização da região, aumentando de acordo com o crescimento do polo industrial de Cubatão. Sabe-se que na região o Cu pode ser introduzido no sistema a partir do rejeito de indústrias (sendo as principais: Companhia Santista de Papel, Refinaria de Presidente Bernardes, Cosipa, Dow Química e terminais portuários de granéis líquidos) (CETESB, 2001). Foi possível notar um aumento do fluxo de metais disponíveis iniciado na década de 1990 nos pontos S1, S2, S4 e S5, podendo indicar uma fonte antrópica recente difusa.

Os fluxos de Pb e Zn apresentaram características semelhantes. Ambos os elementos estão fortemente associados as atividades industriais e portuárias. No caso do Pb, suas fontes antrópicas na região estão associadas à indústria de extração, beneficiamento e fundição do metal, refino do petróleo, petroquímicas, siderúrgicas e de fertilizantes (sendo as principais indústrias: Refinaria de Presidente Bernardes, Ultrafértil, Cosipa, Dow Química, Lixão de Pilões, canal de fuga da Usina de Henry Borden e a DTCS- Cubatão). Já o Zn, que pode ser utilizado em sua forma metálica ou de sais, pode ter amplas fontes antrópicas, uma vez que pode ser encontrado no efluente de grande parte das indústrias da região, nos terminais portuários, além dos esgotos domésticos (CETESB, 2001). Foi possível notar uma fonte antrópica deles no sistema nos pontos S1, S2, S3 e mais sutilmente em S4. É interessante destacar, que as diferenças observadas entre F_mR e F_mD em S1 e S2 são anteriores aos demais, iniciando-se em 1910.

Isso se explica ao processo de desenvolvimento portuário e industrial, que se iniciou nessa região. Os aumentos nos pontos S3 e S4 dataram da década de 1960, período de grande crescimento industrial no polo industrial de Cubatão, próximo às colunas sedimentares descritas.

Embora não sejam apresentados valores de F_mR para Hg, foi notória a fonte antrópica desse elemento no sistema. O metal destacou-se por apresentar aumento de fluxo em todos os pontos estudados, com exceção de S6. Novamente, evidenciou-se uma variação com relação ao início do crescimento. Em S1 e S2, ele data da década de 1960, se intensificando a partir de meados da década de 1970, com valores máximos observados nos anos 1990, quando passa a diminuir. No caso de S3 e S4, o acréscimo nos fluxos é melhor salientado a partir de meados da década de 1970, sendo seus maiores valores observados mais tardiamente. Essa variação novamente pode ser explicada pela localização e as diferentes fontes de contaminação, os primeiros pontos estiveram expostos a fontes de contaminação, mais precocemente. O ponto S3 apresentou os maiores valores observados, que pode ser explicado pela sua proximidade às indústrias de Cubatão. No sistema, as principais fontes antrópicas de Hg são: fabricação de cloro-soda da indústria Carbocloro, Refinaria Presidente Bernardes, Liquid Química, Cosipa e Dow Química.

7. CONCLUSÃO

As ferramentas utilizadas no presente trabalho (fluxo de massa, fluxo de metais, teor de sedimentos finos, intensidade de correntes e isótopos de C e N) mostraram-se efetivas na avaliação das mudanças históricas e espaciais do padrão deposicional no estuário de Santos e São Vicente ao longo do Antropoceno.

Espacialmente, foi possível notar uma corrente residual que adentra o sistema a partir do Canal de Santos, saindo através do Canal de São Vicente. Este fato foi evidenciado a partir das informações sobre a origem da matéria orgânica e corroborado pelas médias de correntes, estimadas por modelos numéricos. Observou-se que os pontos localizados na porção referente à cidade de São Vicente sofrem forte influência dos rios locais. O testemunho S3, devido à sua proximidade com o complexo industrial de Cubatão, apresentou características de um ambiente com grande potencial de acumulação de sedimentos, enquanto S6 demonstrou o oposto, sendo uma região com grande hidrodinamismo. Com relação ao fluxo de metais, quando comparados os valores de F_{mR} e F_{mD} , os elementos que apresentaram significativas diferenças foram: Pb e Zn. Novamente destacou-se o testemunho S3, que apresentou as maiores distinções entre os fluxos, indicando um ambiente com potencial influência antrópica. As menores disparidades foram encontradas em S6, novamente apontando uma baixa deposição de sedimentos e contaminantes no ambiente. A coluna sedimentar S5 evidenciou-se por valores de F_{mR} superiores a F_{mD} , indicando uma maior influência da componente mineralógica no ponto.

A caracterização sedimentológica mostrou-se eficiente na avaliação do balanço sedimentar natural. Nos testemunhos localizados em regiões transicionais, que sofrem influência tanto marinha quanto terrígena, a análise da origem da matéria orgânica forneceu informações coerentes com os períodos de maior e menor pluviosidade. No ponto S1, por exemplo, temporadas de chuvas apresentavam material com características terrígenas, enquanto em tempos de estiagem, notou-se proveniência dos oceanos. Em S3, observou-se que, em períodos de maior pluviosidade, a matéria orgânica tinha origem particulada. Nos pontos referentes a São Vicente, que apresentam naturalmente uma maior

influência continental, o teor de sedimentos finos mostrou-se uma boa ferramenta para a interpretação das variações naturais. Em S4 e S5, períodos de maiores chuvas coincidiam com maior deposição de sedimentos finos.

Quando comparados os resultados obtidos com o histórico de dragagens na região, notou-se que os parâmetros que mais refletiram essa intervenção antrópica foram o teor de sedimentos finos e o fluxo de massa. No ponto S1, foi possível notar aumento no fluxo e diminuição do teor de sedimentos finos coincidentes com o início das dragagens no Canal do Porto. Os testemunhos S3 e S4 apresentaram os mesmos parâmetros acima citados refletindo as atividades de aprofundamento do Canal de Piaçaguera. Já S2, demonstrou alterações nas duas variáveis anteriores aos demais, concomitantes às primeiras obras de dragagem do porto. As colunas sedimentares S5 e S6 não indicaram variações compatíveis com as atividades de aprofundamento.

Os fluxos de metais permitiram avaliar a influência antrópica na região. A partir da diferença entre os fluxos residuais e disponíveis foi possível notar os pontos que sofreram maiores e menores interferências das atividades industriais e portuárias. Os elementos que indicaram uma maior atuação antrópica foram: Pb, Zn e Hg. Os pontos que apontaram possíveis contaminações foram S1, S2 e S3. Os dois primeiros apresentaram uma influência antrópica anterior, datando do início do século XX, possivelmente reflexo das atividades portuárias e dos primeiros movimentos industriais que ocorreram nessa região. Já S3 demonstrou indícios de valores não naturais, iniciados na década de 1960, refletindo uma grande intervenção da industrialização e implementação do polo industrial de Cubatão. Os pontos S5 e S6 apresentaram fluxos de metais característicos de fontes naturais para todos os metais, com exceção do Hg, que apresentou um acréscimo em todos os pontos, característico de fontes não naturais.

De maneira geral, as ferramentas aqui empregadas, demonstraram-se eficientes no estudo e na interpretação do balanço sedimentar do estuário de Santos e São Vicente. Por meio delas, foi possível avaliar como a deposição variou ao longo do tempo e quais fatores podem ter influenciado essas alterações.

8. REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. Transformação ambiental e paisagística na Baixada Santista, SP. **Paisagem Ambiente: ensaios**. n. 20, p 85-130, 2005
- AGUIAR, V. M. C. **Variação espacial e temporal das características biogeoquímicas do fósforo e do chumbo e transporte de propriedades no sistema estuarino de Santos / São Vicente e na porção Sul do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (São Paulo)**. 2005. 243p. Tese de Doutorado Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ALMEIDA F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e Evolução da Serra do Mar. **Rev. Bras. Geociências**, v.28, n. 2, p.135-150, 1998.
- ALVAREZ-IGLESIAS, P.; RUBIO, B., PEREZ-ARLUCEA, M. Reliability of subtidal sediments as “geochemical recorders” of pollution input: San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain). **Estuar. Coast. Shelf Sci.**, n. 70, p. 507-521, 2006.
- ALVAREZ-IGLESIAS, P. RUBIO, B.; MILLOS, J. Isotopic identification of natural vs. anthropogenic lead sources in marine sediments from the inner Ria de Vigo (NW Spain). **Sci Total Environ**, n.437, p. 22-35, 2012.
- ÁLVAREZ-VÁZQUEZ, M. A. et al. Anthropogenic changes in the fluxes to estuaries: wastewater discharges compared with river loads in small rias. **Est. Coast. Shelf. Sci.**, n.179, p. 112-123, 2016.
- ALVEIRINHO, D. J. M. **Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentorial**. 1987. 384p. Dissertação de Doutoramento -Univerddidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 1987.

- ALVES, R. I .S. et al. Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: human health risks. **Environ. Res.**, n.133, p. 149-155, 2014.
- APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F., Application of Lead-210 to sedimentation studies. In: IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. (Eds.), Uranium-Series disequilibrium. New York: Oxford Science, p. 731-778, 1992
- BAPTISTELLI, S. C. **Análise Crítica da Utilização de Modelagem Matemática na Avaliação da Dispersão de Efluentes Leves no Litoral da Baixada Santista (Estado de São Paulo)**. 2008. 314p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2008.
- BARCELLOS, R.L., et al. Changes of estuarine sedimentation patterns by urban expansion: the case of middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil. **Int. J. Geosci**, n. 8, p. 514–535, 2017.
- BRASIL. Resolução nº 453, de 03 de dezembro de 1998. Homologa as montantes de energia e potência asseguradas das usinas hidrelétricas pertencentes as empresas das Regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. ANEEL. 1998.
- CANFIELD, D. E.; GLAZER, A. N.; FALKOWSKI, P. G. The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. **Science**, n. 330, p. 192–196, 2010.
- CARROLL, J.; LERCHE, I. Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes. 1st. ed. Argyll: **Elsevier Ltd**, 2010.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2001. Sistema Estuarino de Santos e São Vicente. Relatório Técnico, 178 p.

- COCHRAN, J.K. et al. Lead-210 as a tracer of atmospheric input of heavy metals in the northern Venice Lagoon. **Mar. Chem.**, n.62, p.15-29, 1998.
- CODESP (Companhia de Docas do Estado de São Paulo), 2019. Relatório Mensário Estatístico. Janeiro 2019 32p.
- COELHO, T. M. **Análise do transporte de sedimentos da região central da Baixada Santista (SP) através de modelagem numérica.** 2011. 149p. Dissertação de mestrado - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- CPEA (Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais). Terminal Marítimo Ultrafertil. Relatório de Impacto Ambiental. 2011. 48p.
- CRICKMORE, M.J. et al. The use of nuclear techniques in sediment transport and sedimentation problems. Technical Documents in Hydrology. IHP-III Project 5.2. Unesco, Paris, 170 p. 1990.
- CRUTZEN, P.J.; STOERMER, E. F. The "Anthropocene". **IGBP Newsletter**, n. 41, p. 17-18; 2000.
- DARIMONT, C. T. et al. Human predators outpace other agents of trait change in the wild. **Proc. Natl Acad. Sci.**, USA, n.106, p.952–954, 2009.
- FADIGAS, F.S. et al. Estimation of reference values for cadmium, cobalt, chromium, copper, nickel, lead, and zinc in Brazilian soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, n.37, p.945–959, 2006.
- FARINACCIO, A. **Impactos da dinâmica decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas.** 2008. 229p. Tese de Doutorado - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FERREIRA, P. A., L. et al. ^{137}Cs in marine sediments of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Science of the Total Environment**, n.443, p. 505-510, 2013.

FERREIRA, P. A. L. **Aplicação do modelo de migração vertical de ^{137}Cs para o cálculo de taxas de sedimentação recentes em ambientes costeiros.** 2014. 2014. 104f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FIGUEIRA, R.C.L. **Inventário de Radionuclídeos Artificiais em Água do Mar e Sedimentos da Costa Sul do Brasil.** 2000. 153 p . Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FIGUEIRA, R.C.L. et al. Is there a technique for the determination of sedimentation rates based on calcium carbonate content? A comparative study on the Southeastern Brazilian shelf. **Soils Found.**, v. 47, p. 649-656, 2007.

FIGUEIRA, R. C. L. **Utilização dos radiosótopos ^{210}Pb e ^{137}Cs em estudos de reconstrução ambiental. Exemplos de aplicação no Atlântico Sul e Península Antártica.** 2014. 111p. Tese (Livre-Docência) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FISHER-POWER, L. M.; CHENG, T.; RASTGHALAM, Z. S. Cu and Zn adsorption to a heterogeneous natural sediment: influence of leached cations and natural organic matter. **Chemosphere**, n.144, p. 1973-1979, 2016.

FISZMAN, M.; PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D. Comparision of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in bottom sediments from Sepetiba. Bay, R.J. **Science and Technology Letters**, v.5, p. 567-575, 1984.

FORSTNER, U.; SALOMONS, W. Trace metals analysis on polluted sediments. Part I: Assessments of sources and intensities. **Environ. Technol. Lett.**, v.1, p. 495-505, 1980.

FRIEDMAN, G. M; SANDERS, J.E.(1978) Principles of Sedimentology. Wiley, New York.

FUKUMOTO, M. M. **Determinação da história deposicional recente do Alto Estuário Santista, com base nos teores de metais e na susceptibilidade magnética dos sedimentos.** 2007. 123p. Tese de Doutorado –Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FÚLFARO, V. J.; PONÁÇANO, W. L. Sedimentação atual estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, 1. Anais. Rio de Janeiro, ABGE; 1976. p. 67-90.

FUNDESPA. Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos. 1^o Relatório Técnico Semestral. RT – 0618-14910: Setembro/2010.

GAILLARDET, J.; VIERS, J.; DUPRÉ, B. **Trace element in river waters.** 2003 In Surface and ground water, weathering, erosion and soils, vol. 5 (ed: Drever, J.I.), Treatise on geochemistry (eds: Holland, H.D., Turekian, K.K.), Pergamon, 2003.

GALUSZKA, A. Different approaches in using and understanding the term “Geochemical Background”- practical implications for environmental studies. **Pol. J.Environ. Stud.**, v.16, p. 389–395, 2007.

GESAMP. 1995. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection Biological Indicators and their use in the

Measurement of the Condition of the Marine Environment. Reports and Studies, 56 p.

GILLIAN, D.C. et al. Effect of bacterial mineralization of phytoplankton-derived phytodetritus on the release of arsenic, cobalt and manganese from muddy sediments in the southern North Sea. A microcosm study. **Sci. Total Environ.**, n.419, p. 98-108, 2012.

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; NICOLODI, J.L. Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para Gestão Integrada da Zona Costeira. **GRA-VEL**, v.1: p.81–89, 2003.

HARARI, J. et al. **Tehcnical report of the Project Flow measurement in the Bay of Santos**. FUNDESPA. São Paulo. 56 p. 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Síntese de Indicadores Sociais. IBGE. Departamento de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

INTERNATIONAL GEOSPHERE-BIOSPHERE PROGRAME, Intergovernmental Oceanographic Commission, Scientific Committee on Oceanic Research. Ocean Acidification Summary for Policymakers – Third Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World (International Geosphere-Biosphere Programme, 2013), <http://ocean-acidification.net/for-policymakers/>.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. 2 volumes. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, v. 1, 126p. 1981.

JAKOB, A. A. E. **Análise Sócio-Demográfica da Constituição do Espaço Urbano da Região Metropolitana da Baixada Santista no período 1960-2000**. 2003. 234p. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

- JHA, S.K. et al. Geochronology of Pb and Hg pollution in a coastal marine environment using global fallout. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 69, p. 145–157, 2003.
- KERSTEN, M.; FORSTNER, U. Speciation of Trace Metals in Sediments and Combustion Waste. Chemical Speciation in the Environment, **Blackie Academic & Professional, Glasgow**. 1995.
- KIM, Y.; KIM, B.K.; KIM, K. Distribution and speciation of heavy metals and their sources in Kumho River sediment, Korea. **Environ. Earth Sci.**, v. 60, p. 943-952, 2010.
- KIM, B. S. M. et al. Organic and inorganic contamination in sediments from Araçá Bay, São Sebastião, Brazil. **Ocean Coast. Manag.**, v. 164, p. 42-51, 2018.
- KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A.G. The coast and Shelf of east and north Brazil and material transport. **Geo-Mar. Lett**, v.19, n.3, p.171-178, 1999.
- LACERDA, L.D. et al. Manguezais do Nordeste e mudanças ambientais. **Ciência Hoje**, v. 39, p. 24-49, 2006.
- LAMB, A. L.; WILSON, G. P.; LENG, M. J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material. **Earth-Science Reviews**, v.75, n.1-4, p. 29-57, 2006.
- LARGIER, J. L. Estuarine Fronts: How Important Are They? **Estuaries**, v.16, p. 1-11, 1993.
- LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. **Nature**, v. 519, P. 171–180, 2015.

- LI, X.D. et al. Heavy Metal Distribution in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary, South China. **Ap-p lied Geochemistry**, v.15, p. 567-581, 2000.
- LI, H. et al. Baseline survey of sediments and marine organisms in Liaohe Estuary: heavy metals, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides. **Mar. Pollut. Bull.**, v.114, p.555-563, 2017.
- LI, P. et al. Mercury exposures and symptoms in smelting workers of artisanal mercury mines in Wuchuan, Guizhou, China. **Environ. Res.**, v.107, p. 108–114, 2008.
- LINDEBOOM, M.; PORTRAIT, F.; VAN DER BERG, G.J. An econometric analysis of the mental-health effects of major events in the life of older individuals. **Health Economics**, v.11, n.6, p.505–520, 2002.
- LIU, R. et al. Spatial distribution and pollution evaluation of heavy metals in Yangtze estuary sediment. **Mar. Pollut. Bull.**, v.110, n.1, p. 564-571, 2016.
- LUIZ-SILVA, W. et al. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos Cubatão. (SP). **Química Nova**, v.29: p.256-263, 2006.
- MAGESH, N. S. et al. Trace element contamination in the estuarine sediments along Tuticorin coast-Gulf of Mannar, southern coast of India. **Mar. Pollut.Bull.**, v.73, p.355-361, 2013.
- MASSON-DELMOTTE, V. et al. in Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Stocker, T. F. et al.) Ch. 5, 383–464 (Cambridge Univ. Press, 2013).
- MATHIVANAN, K.; RAJARAM, R. Tolerance and biosorption of cadmium (II) ions by highly cadmium resistant bacteria isolated from industrially polluted

estuarine environment. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, v.43, n.4, p. 580–588, 2014.

MATSCHULLAT, J. Arsenic in the geosphere — a review. **Sci. Total Environ**, v.249, p.297–312, 2000.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical background - can we calculate it? **Environ. Geol.**, v.39, p. 990–1000, 2000.

MELAMED, R.; LUZ, A.B.; Efficiency of industrial minerals on the removal of mercury species from liquid effluents. **Sci. Total Environ.**, v.368, p.403-406, 2006.

MELLO, G. H. **Espansão e Estrutura Urbana de Santos (SP):** Aspectos da Periferização, da Deterioração, da Intervenção Humana, da Verticalização e da Sociabilidade. 2008. 206p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2008.

MEYBECK, M.; VOROSMARTY, C. J. Fluvial filtering of land to ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene. **Comptes Rendus**, v.337, p. 107-123, 2005.

MONIKH, M.et al. Heavy metal concentration in sediment, benthic, and pelagic fish species from Musa Estuary (Persion Gulf). **Environ. Monit. Assess.**, v.185, p. 215-222, 2013.

NATHAJI, S. et al. Geochemical assessmentof heavy metals pollution in surface sediments of Vellar and Coleroon estuaries,southeast coast of India. **Mar. Pollut. Bull.**, v.115, n.1, p.469–479, 2017.

OLIVEIRA, R.C. Ambiente costeiro – fragilidades e impactos relacionados a ação antrópica: o cenário da baixada santista no estado de São Paulo/ Brasil. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEÓGRAFOS, 12., 2009.

Montevideo, Uruguai. **Anais do Encontro Latino Americano de Geógrafos, São Paulo, 2009.**

OLIVEIRA, T.S. et al. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **J. Integr. Coast. Zone Manag.**, v.14, n.3, p.399-411, 2014.

PONÇANO, W. L. **Sedimentação atual aplicada a portos do Brasil.** 1985. 290p. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

PREGO, R.; FILGUEIRAS, A.V.; SANTOS-ECHENDÍA, J. Temporal and spatial changes of total and labile metal concentration in the surface sediments of the Vigo Ria (NW Iberian Peninsula): influence of anthropogenic sources. **Mar. Pollut. Bull.**, v.56, p.1031-1042, 2008.

RAVICHANDRAN, M. et al. History of trace-metal pollution in Sabine – Neches estuary, Beaumont, Texas. **Environ Sci Technol.**, v.29, n.6, p.1495-1503, 1995.

REIMANN, C.; GARRETT, R.G. Geochemical background—concept and reality. **Sci. Total Environ.**, v.50, p.12–27, 2005.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R.G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Sci. Total Environ.**, v.346, p.1–16, 2005.

RUIZ, F. Trace metals in estuarine sediments from the southwestern Spanish coast. **Mar. Pollut. Bull.**, v.42, p.481-489, 2001.

SALOMONS, W.; FORSTNER, U. Metals in the Hydrocycle. Berlin: *SpringerVerlag*. 1984.

- SAMANTA, S. et al. Heavy metals in the Ganga (Hooghly) River estuary sediment column: evaluation of association, geochemical cycling and anthropogenic enrichment. **Environ. Earth Sci.**, v.76, n.140, 2017.
- SANDERS, C.J. et al. Mercury flux in estuarine sediments, derived from Pb-120 and Cs-137 geochronologies (Guaratuba Bay, Brazil). **Mar Poll Bull.**, v.52, p. 1085-1089, 2006.
- SANTOS, I. R.; BURNETT, W. C.; GODOY, J. M. Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: review, synthesis, and perspectives. **Braz J Oceanogr.**, v.56, p.115–131, 2008.
- SANTSCHI, P.H. et al. Historical contamination of PAHs, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi river Delta, Sanchez-Cabeza, J.A., Ruiz-Fernandez, A.C., 2012. 210Pb sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v.82, p.183-200, 2001.
- SASTRE, J. et al. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua régia and nitric acid extraction. **Analytica Chimica Acta**, v.462, p.59-72, 2002.
- SAYADI, M.H.; RENZAEI, M.R.; RENZAEI, A. Fraction distribution and bioavailability of sediment heavy metals in the environment surrounding MSW landfill: a case study. **Environ. Monit. Assess.**, v.187, p. 1-11, 2015.
- SCHROPP, S. J.; WINDOM, H. L. A guide to the interpretation of metal concentrations in estuarine sediments. Florida Department of Environmental Protection Office of Water Policy. 1988
- SILVA, C. A. M. **População e Riscos às mudanças ambientais em zonas costeiras da Baixada Santista: um estudo-demográfico sobre os**

- municípios de Bertioga, Guarujá e São Vicente.** 2010. 137p. Dissertação (mestrado) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- SILVA, R.B. Urbanização e Vulnerabilidade na região metropolitana da Baixada Santista, SP: um olhar geográfico das desigualdades intraurbanas em bairros de Santos, Praia Grande e Peruibe. 2013. 240p. Tese de doutorado - Instituto de Geociências. Universidade de Campinas, Campinas, 2013.
- SMOAK, J.M.; SWARZENSKI, P.W. Recent increases in sediment and nutrient accumulation in Bear Lake, Utah/Idaho, USA. **Hydrobiology**, v.525, p.175–184, 2004.
- SOUZA, C.R.G. et al. **Praias Arenosas e Erosão Costeira.** In: C.R. de G. Souza et al. (eds.). Quaternário do Brasil. Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152, 2005.
- SOUZA, C.R.G. **A Erosão nas Praias do Estado São Paulo:** Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de um Ano de Conhecimento Acumulado. Vera L. R. Bononi; Nelson A. Santos Júnior (Org.). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Instituto de Botânica /SMA. p. 48-69 (ISBN 978-85-7523-025-1).
- STEFFEN, W.; CRUTZEN, P. J.; McNEIL, J. R. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? **Ambio**, v.36, p.614–621, 2007.
- STUART, Y. E. et al. Rapid evolution of a native species following invasion by a congener. **Science**, n.346, p.463–466, 2014.
- SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia.** São Paulo: Edgar Blücher / EDUSP, 1973. 317 p.

- SUGUIO, K.; Martin, L. Quaternary marine formation of the states of São Paulo and Southern Rio de Janeiro. **In: International symposium on coastal evolution in the quaternary, São Paulo.** Brazilian National Working Group for the IGCP SP, 55p. 1978.
- TABASHNIK, B. E. et al. Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. **J. Econ. Entomol.**, v.107, p.496–507, 2014.
- TEIXEIRA, W et al.(Org). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.
- TOMMASI, L. R. **Considerações ecológicas sobre o Sistema Estuarino de Santos, São Paulo.** 1979. 489p.Tese de Livre Docência - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.
- TRANI, C. et al. Dis-tinguishing natural evolution and human impact on es-tuarine morpho-sedimentary development: A case study from the Vilaine Estuary, France. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.163, p.143–155, 2015.
- UNCLES, R.J. Estuarine Physical Processes Research: Some Recent Studies and Progress. **Estuarine Coastal and Shelf Sciences**, v.55, p.829-256, 2002.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 7471A. Mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique). Revision 1. 1994.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges and soil. Revision 2. 1996.

- USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Revision 0. 1996.
- VASCONCELOS, Y. Usinas versáteis. **Revista Pesquisa Fapesp**, v.236, p. 70 – 73, 2015.
- VENKATESHA, K. et al. Heavy metal status of sediment in river Cauvery, Karnataka. **Environ. Monit. Assess.**, v.184, p. 361-373, 2012.
- VITOUSEK, M. et al. Human domination of earth's ecosystems. **Science**, v.277, n.5325, p.494-99, 1997.
- WADE, T. L.; CANTILLO, Y. A. 1994. Use of standards and reference material in the measurement of chlorinated hydrocarbon residues. Chemistry Workbook. NOAA. Technical Memorandum NOS ORCA 77, Silver Spring, Maryland, 59 p.
- WATERS, C. N. et al. A stratigraphical basis for the Anthropocene? **Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.**, v.395, p.1–21, 2014.
- XAVIER, D. A. et al. Determination of geochemical background values on a tropical estuarine system in a densely urban area. Case study: Capibaribe estuary, Northeastern Brazil. **Mar. Pollut. Bull.**, v.123, p. 381-386, 2017.
- YOUNG, A. F. Transformações espaciais da Baixada Santista: identificação das desigualdades e vulnerabilidades através do uso de geotecnologias. **Textos Nepo 57**. Campinas: Núcleos de População/UNICAMP, 2008. 102p.
- ZALASIEWICZ, J.; WILLIAMS, M.; WATERS, C. N. Can an Anthropocene series be defined and recognized? **Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.**, v.395, p.39–53, 2014.

ZALASIEWICZ, J. et al. The Anthropocene: a new epoch of geological time? **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v.369, p.835–841, 2011.

ZAPATA, F.; NGUYEN, M.L. Soil erosion and sedimentation studies using environmental radionuclides. In: FROEHLICH, K. Environmental radionuclides: traces and timers of terrestrial processes. 1st Edition. Oxford: Elsevier B. V., 2010, p. 295-322.

ZUNDT, C. “Baixada Santista: uso, expansão e ocupação do solo, estruturação de rede urbana regional e metropolização”. In: CUNHA, J. M. P. (organizador) Novas Metrôpoles Paulistas- População, Vulnerabilidade e Segregação. Cap. 1, pp. 305-336, Campinas, Núcleo de Estudos da População Universidade Estadual de Campinas –Unicamp, 2006.

ANEXO 1

Imagens aéreas históricas

Fonte: Google Earth

Imagens históricas com foco na região onde se insere o ponto S1.

Fonte: Google Earth

Imagens históricas com foco na região onde se insere o ponto S2.

Fonte: Google Earth

Imagens históricas com foco na região onde se insere o ponto S3.

Fonte: Google Earth

Imagens históricas com foco na região onde se insere o ponto S4.

Fonte: Google Earth

Imagens históricas com foco na região onde se insere o ponto S5.

Fonte: Google Earth

Imagens históricas com foco na região onde se insere o ponto S6.

ANEXO 2

**Tabela do histórico da ocupação
antrópica**

Período	Eventos	Fatores	População residente na Baixada Santista
1500-1550	<ul style="list-style-type: none"> • Início do povoamento na Ilha de São Vicente 	<ul style="list-style-type: none"> • Colonização europeia • Obtenção de produtos tropicais • Boas condições para ancoradouro das embarcações • Boas condições para pequenos comércios 	-
1550-1650	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimento da vocação portuária da vila de Santos Formação do Porto das Armadias 	<ul style="list-style-type: none"> • As condições climáticas do litoral • Pequena disponibilidade de área para agricultura • Transposição da região serrana e o surgimento de povoados no planalto • Bandeirismo • Acessibilidade aos núcleos do planalto • Substituição do transporte fluvial utilizado desde Santos pelo transporte terrestre empregado até o planalto • Vocação portuária de Santos devido à sua proximidade em São Paulo 	-
1650-1870	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidação do porto de Santos 	<ul style="list-style-type: none"> • escoamento da produção vinda de São Paulo • Construção ferrovia São Paulo Railway (em 1864, inaugurada em 1867), ligando São Paulo a Santos 	1765* - 1.625 1772* - 2.081 1790* - 3.145 1801* - 3.446 1814* - 5.128 1822* - 4.781 1843* - 3.500 1854* - 7.855
	<ul style="list-style-type: none"> • Progresso da Vila de Santos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da economia local devido às atividades do porto • Cultivo do café nas zonas Mogianas e Paulista 	
1870-1920	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento da economia local • Consolidação do porto de Santos • Atração populacional • Impactos ambientais no sistema estuarino devido às atividades portuárias 	<ul style="list-style-type: none"> • Construção da estrada de ferro ligando São Paulo ao Rio de Janeiro, inaugurada em 1877 • Concentração da exportação para São Paulo e Santos, via ferrovia • Construção dos primeiros 260m de cais do porto • Intenso processo de imigração 	1872* - 9.171 1885* - 15.605 1890* - 13.012 1900* - 50.389 1913* - 88.967 1917* - 95.365

	<ul style="list-style-type: none">• Início das atividades de turismo em Santos e São Vicente• Surgimento de Guarujá	<ul style="list-style-type: none">• Fácil acesso às praias santistas• Crescimento da cidade de São Paulo, devido principalmente ao café	
--	--	--	--

Período	Eventos	Fatores	População residente na Baixada Santista
1870-1920	• Melhorias na infra-estrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Inauguração da Usina Henry Borden • Implementação de canais, visando ocupação da porção leste da ilha de São Vicente e saneamento 	
1920-1940	• Aumento das atividades de turismo em Santos, São Vicente e Guarujá	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação da estrada caminho do mar • Implantação das balsas Santos - Guarujá 	1935* - 142.059 1940 - 194.819
1940-1950	• Degradação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • grande aumento no número de migrantes, principalmente nordestinos e mineiros • Invasão das áreas não ocupadas do morro • Descuido ambiental • Desmatamento 	1950 - 267.387
	• Expansão dos aglomerados	<ul style="list-style-type: none"> • Parte oriental da ilha de São Vicente - prefeitura monitora crescimento • Parte ocidental da Ilha de São Vicente- loteamento não obedecem posturas municipais 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão da ocupação para Guarujá, Bertioga, Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe • Crescimento urbanização • Melhorias no âmbito econômico 	<ul style="list-style-type: none"> • Abertura de novas rodovias • Inauguração da Via Anchieta (1947) • Ampliação do porto de Santos • Aumento do fluxo turístico e de serviços • Vendas de terrenos e casas no litoral 	
1950-1960	• Expansão da ocupação de praia Grande	• Lançamento do loteamento turístico "Cidade Ocian"	1960 - 416.963
	• Formação do centro Industrial de Cubatão	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusão da Via Anchieta • Processo de industrialização de São Paulo • Inauguração da Refinaria Presidente Bernardes, em 1955 • Início das operações do oleoduto Santos-São Paulo • Inauguração da Cosipa, em 1953 • Inauguração do Terminal de Carga e Descarga de Petróleo do Alemoa 	
	• Aumento dos Impactos Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Concentração de atividades poluidoras (portuárias e industriais) • Descaso com a qualidade ambiental 	

Período	Eventos	Fatores	População residente na Baixada Santista
1950-1960	• Mudanças na ocupação e uso do solo	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de parcelamento do solo e construção de segundas residências • Urbanização planície costeira mais próxima ao mar, ocupando dunas e restingas • Urbanização se concentra na ilha de São Vicente • Maior ocupação clandestina em áreas de inundação ou com alta declividade 	1960 - 416.963
	• Acentuado crescimento populacional	<ul style="list-style-type: none"> • Industrialização crescente em Cubatão • Aumento turismo (devido à inauguração da Rodovia Anchieta) • Expansão residencial em São Vicente e Vicente de Carvalho 	
	• Ampliação Usina Henry Borden	• Construção de Usina hidrelétrica subterrânea	
1960-1970	• Modificação na ocupação e uso do solo	• Início da ocupação populacional no Rio Casqueiro (Vila dos Pescadores)	1970 - 653.441
	• Modificações ambientais	• Abertura do Canal de Piaçaguera	
	• Forte crescimento econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidação do parque industrial de Cubatão • Crescimento comércio exterior • Ampliação infraestrutura de transportes • Intensificação atividades terciárias e construção civil 	
	• Aumento populacional	• Crescimento população flutuante de férias (aproximadamente 200 mil habitantes)	
1970-1980	• Expansão do Polo Industrial de Cubatão	• Instalação de indústrias de fertilizantes (Manah, Ultrafertil, IAP)	1980 - 961.254
	• Modificações ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação do Lixão do Alemoa • Início da dragagem do Canal de Piaçaguera 	
	• Expansão da ocupação	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de loteamentos de veraneio • Adensamento e verticalizações das construções na orla marinha • Inauguração da Rodovia Imigrantes, em 1976 • Intensificação da ocupação populacional do Rio Casqueiro 	
1980-1990	• Desaceleração no crescimento populacional	• Desvalorização imobiliária e declínio do turismo	-
	• Poluição das águas marinhas	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento das atividades industriais e portuárias • Implantação de medidas de preservação do Estuário Santista 	

Período	Eventos	Fatores	População residente na Baixada Santista
1990-2012	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da qualidade das águas e recuperação dos manguezais 	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de preservação e recuperação ambiental 	1991 - 1.220.249 2000 - 1.476.820 2010 - 1.664.136

ANEXO 3

Tabela do histórico do porto de Santos

Período	Fase	Ano	Eventos
1532 a 1888	Colonial/ Trapiches	1532	• Criação do porto da Vila de São Vicente - localizado na Ponta da Praia
		1535	• Mudou para parte interna do estuário - Cais do Valongo
		1808	• Abertura ao comércio exterior - navios de pequeno porte • Açúcar base da movimentação portuária
		1850	• Aumento do movimento do porto • Expansão cultura cafeeira
		1854	• Porto de Santos já exporta quase 80% do café brasileiro
		1867	• Inauguração São Paulo Railway
		1869	• Construção de novas intalações - ainda funciona de forma precária
		1888	• Grupo brasileiro ganha direito de exploração - Empresa Gaffrée, Guindle & Cia
1890 a 1909	Construção	1890	• Empresa passa a chamar Empresa de Melhoramentos do Porto de Santos • Início das obras e dragagem
		1892	• Empresa passa a chamar Companhia de Docas de Santos (CDS) • Inauguração dos primeiros 260m do cais no Valongo • Primeiro porto organizado do Brasil
		1893	• Inauguração de 846m de cais • Autorizada a construção de mais 884m de cais, estendendo as docas até o Paquetá • Autorizada a construção de mais 2.848m de cais, estendendo as docas até Outeirinhos • Trilhos da CDS são ligados aos da São Paulo Railway
		1901	• Autorização para a construção de usina hidreletrica no Rio Itatinga
		1909	• 4.720m de cais • 38.300m de linhas férreas
1910 a 1928	Primeira Guerra Mundial	1912	• Usina de Itatinga, construída na Serra do Mar funciona com potência máxima de 60.000 cavalos e atende necessidade do porto de Santos e cidades de Santos e Guarujá
		1910 a 1928	• Paralisação das obras de apiação do cais
1929 a 1930	Ilha de Barnabé		• Implantação de um cais de tanques para depósito de combustíveis e produtos inflamáveis na Ilha de Barnabé

Período	Fase	Ano	Eventos
1930 a 1944	"Primeira Classe"		<ul style="list-style-type: none"> Sem alterações na área do porto devido à crise cafeeira Diversificação das exportações - café passa de 90% para cerca de 33,9% no final da década de 1930 Petróleo a granel - movimento crescente Crise no movimento de cargas devido a crises político-miliares e 2ª Guerra Mundial
1945 a 1954	Pós Guerra	1945	<ul style="list-style-type: none"> 5.214m de cais Melhorias em infra-estrutura Criação da Taxa de melhoramento de portos (TMP) e Fundo Portuário Nacional Início das obras para ampliação do cais em 6.259m
		1954	<ul style="list-style-type: none"> Porto já movimentava cerca de 8 milhões de toneladas, o dobro de 1944
1955 a 1968	Combustíveis	1955	<ul style="list-style-type: none"> Aumento considerável na movimentação de cargas devido, principalmente, ao setor industrial e petrolífero
		1963	<ul style="list-style-type: none"> Granéis líquidos passam a dominar movimento do porto, devido a construção de Presidente Bernardes e União. Passam de 24% (em 1950) para 61% da movimentação
		1968	<ul style="list-style-type: none"> 7.034m de cais
1969 a 1976	Novo Cais	1969	<ul style="list-style-type: none"> Criação da comissão Orientadora de Serviços Portuários de Santos (COSEPS) Ampliação do cais em mais 3.812m Execução da dragagem do canal COSIPA inaugura seu próprio terminal, com 300m de cais, localizado no Canal de Piaçaguera
		1971	<ul style="list-style-type: none"> Ultrafértil inaugura seu próprio terminal para granéis sólidos, com 294m de cais, localizado no Canal de Piaçaguera Dow Química inaugura seu próprio terminal para granéis líquidos, com 153m de cais, localizado na margem esquerda do porto, no Guarujá
1977 a 1980	Fim da concessão privada		<ul style="list-style-type: none"> Criação da Empresa de Portos do Brasil (PORTOBRÁS) Criação do terminal de Contêineres (TECON 1), localizado na margem esquerda do porto, No Guarujá
		1980	<ul style="list-style-type: none"> Controle administrativo passa da CDS para a Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) 11.837m de cais

Período	Fase	Ano	Eventos
1981 a 1990	Contêineres e veículos	1985	• Cutrale inaugura seu próprio terminal, com 186m de cais, localizado na margem esquerda do porto, no Guarujá
		1986	• Cargill Agrícola inaugura seu próprio terminal, com 250m de cais, localizado na margem esquerda do porto, no Guarujá
		1989	• Ampliação do terminal Granéis Líquidos do Alemoa, com mais dois pontos de atracação
1990 até presente	Novas obras		• Profundas transformações em todo setor portuário • Extinção da PORTOBRÁS
		1993	• Lei de Modernização dos Portos
		1997	• CODESP deixa de exercer a atividade de operação de cargas, assumindo o papel de administradora do porto, Autoridade Portuária
		2005	• 13km de cais, sendo 11,6km da CODESP (para uso público) e 1,4km em 10 berços de terminais privativos
		2010	• Início da dragagem de aprofundamento do canal

ANEXO 4

Perfis de fluxos de metais

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para As (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para Cr (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para Cu (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para Ni (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para Pb (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para Sc (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$).

Perfis de fluxo de metais disponíveis (F_mD) e residuais (F_mR) para Zn (em $\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$).

Hg

Perfis de fluxo de metais para Hg (em $\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^5$), destaca-se que os testemunhos apresentam valores em diferentes escalas

ANEXO 5

**Tabelas de concentração de metais,
geocronologia, e isótopos de C e N**

*Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento
(US EPA 3050B) para o testemunho S1.*

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	5,99	14,90	9,07	6,17	14,43	2,50	39,73
2-4 cm	5,03	14,07	7,77	5,73	10,88	2,22	40,07
4-6 cm	4,86	11,83	7,62	5,03	8,85	1,80	37,21
6-8 cm	4,82	13,53	8,17	5,84	10,35	2,12	38,57
8-10 cm	4,33	11,05	6,70	4,64	7,56	1,73	32,94
10-12 cm	7,00	12,49	6,93	5,68	8,24	1,84	39,55
12-14 cm	6,93	15,38	7,39	6,67	9,29	2,58	38,77
14-16 cm	8,28	22,21	6,41	8,69	9,83	3,85	40,54
16-18 cm	9,48	22,12	6,91	8,88	11,15	3,74	43,39
18-20 cm	9,16	20,59	5,61	7,97	9,24	3,32	35,82
20-22 cm	8,49	21,91	5,49	8,70	9,08	3,87	37,44
22-24 cm	7,61	21,59	5,10	8,22	8,94	3,80	35,66
24-26 cm	8,79	19,71	4,83	7,68	8,66	3,33	34,12
26-28 cm	8,65	22,26	1,56	8,80	11,15	3,84	39,65
28-30 cm	8,53	21,06	5,54	8,33	9,57	3,61	36,82
30-32 cm	10,44	20,95	6,19	8,82	10,74	3,37	44,98
32-34 cm	13,28	27,99	7,23	11,07	11,89	4,56	47,15
34-36 cm	11,23	23,25	6,49	9,58	10,87	3,86	40,51
36-38 cm	11,89	27,03	7,38	10,95	12,30	4,46	45,42
38-40 cm	11,04	24,61	7,13	10,33	12,26	4,09	43,26
40-42 cm	12,46	29,85	7,60	11,76	12,61	5,32	47,68
42-44 cm	12,04	30,15	7,87	11,88	12,82	5,32	49,12
44-46 cm	12,05	27,19	7,22	11,00	12,03	4,65	44,48
46-48 cm	13,65	33,86	8,37	13,12	12,51	6,00	52,49
48-50 cm	12,39	30,38	7,91	11,73	12,87	5,29	47,55
50-52 cm	10,66	28,65	7,54	11,07	12,16	4,97	45,37
52-54 cm	10,86	34,11	8,96	13,27	12,93	6,12	54,92
54-56 cm	12,22	29,35	8,14	11,52	12,73	5,17	47,59
56-58 cm	10,57	26,65	7,61	10,58	11,94	4,57	44,45
58-60 cm	10,88	32,05	8,39	12,32	12,36	5,77	50,99
60-62 cm	12,04	31,58	8,70	12,86	13,02	5,69	53,10
62-64 cm	11,69	31,15	8,55	12,45	12,75	5,64	51,06
64-66 cm	12,78	32,40	8,51	12,68	12,54	5,87	49,60
66-68 cm	11,17	25,63	8,00	11,27	12,07	4,42	47,75
68-70 cm	13,40	34,68	9,44	13,49	13,22	6,20	53,17
70-72 cm	10,74	29,16	7,70	11,50	12,07	5,29	46,13
72-74 cm	9,88	25,89	7,37	10,63	12,34	4,48	42,83
74-76 cm	9,58	32,00	7,85	12,22	12,76	5,92	48,48
76-78 cm	9,21	29,56	7,38	11,45	12,52	5,28	45,91
78-80 cm	8,79	34,49	8,39	13,31	13,04	6,35	53,33
80-82 cm	9,64	33,13	7,80	12,48	12,33	6,30	49,83

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S1 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
82-84 cm	9,46	34,48	8,19	13,23	12,74	6,32	51,83
84-86 cm	8,11	29,40	7,42	11,35	12,52	5,25	46,42
86-88 cm	7,76	32,83	7,77	12,59	12,87	6,04	50,42
88-90 cm	7,55	28,53	7,36	11,21	12,35	5,17	45,67
90-92 cm	8,43	27,48	7,00	10,69	11,96	4,87	45,12
92-94 cm	7,98	29,35	7,58	11,30	13,78	5,20	47,31
94-96 cm	0,84	31,85	7,63	12,22	12,85	5,67	49,14
96-98 cm	8,81	32,22	7,93	12,30	12,72	5,79	49,59
98-100 cm	7,99	31,09	7,51	11,67	11,86	5,81	47,47
100-102 cm	8,72	29,05	7,22	11,46	11,88	5,47	45,87
102-104 cm	9,01	27,96	6,88	10,89	12,49	5,03	46,89
104-106 cm	8,29	29,11	7,46	11,08	11,60	5,31	45,92
106-108 cm	8,00	30,12	7,33	11,63	13,03	5,49	46,13
108-110 cm	8,80	28,86	6,73	11,05	11,21	5,27	45,71
110-112 cm	8,63	33,18	10,64	12,53	11,49	6,20	51,11
112-114 cm	7,53	28,42	6,58	10,84	10,38	5,21	44,39
114-116 cm	8,00	31,13	9,67	11,74	11,99	5,63	48,03
116-118 cm	7,61	30,88	7,22	11,86	11,94	5,75	47,15
118-120 cm	6,90	26,38	6,63	10,42	11,60	4,73	43,00
120-122 cm	6,84	29,56	7,10	11,23	11,85	5,55	46,78
122-124 cm	7,50	32,05	9,35	12,26	11,96	6,00	49,28
124-126 cm	7,97	31,08	8,09	12,04	12,30	5,79	47,85
126-128 cm	7,42	33,54	8,52	12,79	12,26	6,33	50,79
128-130 cm	7,75	28,12	7,34	10,91	12,07	5,00	49,52
130-132 cm	7,44	28,11	6,88	10,86	12,39	5,12	44,14
132-134 cm	6,53	30,55	7,79	11,68	11,45	5,84	48,90
134-136 cm	7,65	29,31	7,50	11,36	11,78	5,56	44,87
136-138 cm	6,86	32,69	8,33	12,61	13,20	6,12	50,19
138-140 cm	7,31	29,85	8,52	11,45	11,92	5,68	46,48
140-142 cm	8,13	33,45	7,82	12,65	12,18	6,30	51,96
142-144 cm	8,26	35,06	11,65	13,38	12,62	6,81	53,73
144-146 cm	7,29	30,91	7,96	11,81	12,20	5,81	47,82
146-148 cm	7,97	32,91	8,97	12,65	12,86	6,18	52,40

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S2.

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	10,96	34,95	18,53	14,05	19,10	4,23	98,34
2-4 cm	9,13	36,79	19,83	14,66	20,56	4,52	101,79
4-6 cm	9,22	38,36	20,26	15,17	20,86	4,71	104,23
6-8 cm	9,24	39,11	20,48	15,99	20,57	4,83	103,45
8-10 cm	9,33	38,18	20,49	15,29	20,75	4,64	104,11
10-12 cm	8,96	38,41	20,93	15,58	20,67	4,68	104,74
12-14 cm	9,39	36,52	2,06	14,45	21,00	4,19	105,59
14-16 cm	9,62	39,53	20,32	15,82	22,04	4,59	101,75
16-18 cm	10,83	40,20	19,84	16,48	22,60	4,77	95,50
18-20 cm	11,16	38,44	19,14	15,95	22,40	4,51	89,51
20-22 cm	12,31	41,13	20,87	16,71	23,47	4,73	99,95
22-24 cm	12,06	40,86	21,65	16,88	22,47	4,78	103,64
24-26 cm	11,60	40,98	21,74	16,82	23,01	5,00	106,04
26-28 cm	11,72	36,40	21,03	15,01	22,35	4,50	97,71
28-30 cm	11,74	37,91	20,06	1,53	21,37	4,66	100,79
30-32 cm	8,60	33,49	16,40	14,07	18,00	4,07	95,14
32-34 cm	12,94	34,14	18,47	13,84	20,12	4,16	98,12
34-36 cm	13,72	35,79	19,12	15,05	21,23	4,64	99,08
36-38 cm	15,00	38,34	19,93	16,11	21,72	4,99	104,52
38-40 cm	13,10	38,30	18,99	15,85	20,84	4,93	99,91
40-42 cm	14,03	37,07	18,98	15,56	20,84	4,77	101,53
42-44 cm	14,55	38,23	18,57	15,78	20,41	5,00	98,36
44-46 cm	13,41	36,54	16,98	14,96	19,40	4,77	93,80
46-48 cm	14,01	39,95	17,35	16,72	20,15	5,25	98,64
48-50 cm	14,50	38,90	16,66	16,30	19,18	5,00	95,08
50-52 cm	14,22	35,86	15,87	14,81	18,39	4,55	91,21
52-54 cm	15,68	37,24	14,55	15,90	16,42	5,01	81,49
54-56 cm	14,49	33,48	11,56	14,26	13,59	4,39	65,70
56-58 cm	14,50	36,84	13,79	15,26	16,83	4,88	77,60
58-60 cm	14,50	33,65	11,64	13,81	14,79	4,46	69,98
60-62 cm	13,11	36,88	11,46	15,45	14,08	5,02	66,73
62-64 cm	11,60	33,97	10,28	14,20	12,67	4,60	58,20
64-66 cm	11,05	29,38	9,20	12,24	11,39	3,92	51,21
66-68 cm	13,48	36,64	11,21	15,24	13,71	5,00	63,06
68-70 cm	11,74	33,61	10,26	14,01	12,76	4,57	56,50
70-72 cm	13,95	34,45	10,32	14,99	12,39	4,88	59,07
72-74 cm	11,96	36,15	10,73	15,27	12,10	5,03	61,40
74-76 cm	10,65	34,33	10,43	14,27	12,60	4,66	58,44
76-78 cm	11,60	34,84	10,19	14,73	12,30	4,78	57,81
78-80 cm	11,51	33,48	9,78	14,20	11,57	4,54	57,67
80-82 cm	12,22	36,11	10,57	15,30	12,29	4,87	59,65
82-84 cm	10,47	33,64	10,04	13,44	11,65	4,40	56,91

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S2 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
84-86 cm	11,36	35,49	10,66	14,83	12,63	4,73	60,31
86-88 cm	11,82	34,30	10,27	14,32	12,44	4,42	56,36
88-90 cm	10,74	35,61	10,86	15,08	12,26	4,89	60,27
90-92 cm	10,85	36,68	11,81	15,47	12,85	4,95	66,33
92-94 cm	11,48	35,63	11,15	14,49	12,50	4,73	62,54
94-96 cm	10,53	33,47	10,66	13,99	12,61	4,41	60,84
96-98 cm	10,49	34,93	11,12	14,65	12,78	4,77	60,98
98-100 cm	10,92	36,01	11,04	15,52	12,18	5,01	60,83
100-102 cm	10,54	34,34	10,82	14,76	12,07	4,67	57,38
102-104 cm	10,70	34,24	11,28	14,55	11,77	4,64	60,65
104-106 cm	11,85	34,11	10,86	14,40	11,44	4,52	60,64
106-108 cm	12,26	37,16	11,64	16,02	12,27	5,08	62,75
108-110 cm	13,96	36,35	11,48	15,81	11,84	5,10	63,66
110-112 cm	10,52	34,77	10,33	15,03	11,54	4,72	60,22
112-114 cm	11,13	33,43	10,40	14,31	11,26	4,40	58,98
114-116 cm	10,57	34,28	10,29	14,32	11,22	4,50	58,25
116-118 cm	11,69	35,23	10,84	15,18	12,03	4,78	64,88
118-120 cm	11,20	31,48	9,18	12,91	10,82	3,95	59,38
120-122 cm	11,02	37,85	10,00	16,17	10,90	4,46	67,23
122-124 cm	10,29	32,77	9,57	13,97	10,32	4,16	63,66
124-126 cm	11,03	32,15	9,41	13,96	10,41	4,14	68,20
126-128 cm	11,98	33,73	9,24	13,87	10,20	4,26	69,90
128-130 cm	11,85	33,06	9,01	13,58	99,36	4,17	71,41
130-132 cm	11,47	33,18	8,17	13,69	85,63	3,93	73,66
132-134 cm	11,11	31,75	8,79	13,54	10,51	4,05	67,80
134-136 cm	10,79	36,60	9,94	15,35	10,36	4,78	69,75
136-138 cm	13,06	32,91	8,26	13,98	8,62	4,15	87,24
138-140 cm	12,40	34,94	8,90	14,20	9,96	4,35	70,93
140-142 cm	14,07	37,12	9,68	15,64	10,40	4,84	74,58
142-144 cm	12,75	34,23	8,49	14,35	9,15	4,22	78,86
144-146 cm	12,23	34,59	8,55	14,14	9,14	4,07	73,83
146-148 cm	12,20	35,87	9,04	14,79	9,65	4,40	77,47
148-150 cm	12,58	36,32	9,00	15,01	9,16	4,37	83,30
150-152 cm	14,92	34,69	8,73	14,65	9,23	4,04	77,99
152-154 cm	14,28	32,38	8,19	12,98	8,21	3,85	67,45
154-156 cm	12,91	31,57	7,88	12,34	8,24	3,42	56,58
156-158 cm	13,92	35,48	8,83	14,10	9,33	3,97	67,22
158-160 cm	13,93	31,97	8,15	12,31	8,68	3,34	55,45
160-162 cm	12,10	34,58	8,18	13,38	7,96	3,51	57,54
162-164 cm	14,10	34,21	8,21	12,99	8,78	3,44	54,48

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S2 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
164-166 cm	15,12	36,19	8,98	14,29	8,95	3,85	60,15
166-168 cm	13,54	32,06	7,89	12,20	7,43	3,35	53,21
168-170 cm	13,35	34,18	8,49	13,35	9,16	3,70	57,40
170-172 cm	12,00	33,67	8,37	13,21	8,62	3,57	56,38

*Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento
(US EPA 3050B) para o testemunho S3.*

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	5,29	28,14	17,29	15,14	9,48	40,92	65,42
2-4 cm	5,70	27,41	16,51	14,22	8,61	39,77	59,60
4-6 cm	5,70	29,04	17,01	14,89	8,96	41,65	59,31
6-8 cm	6,69	31,14	17,64	15,83	9,42	43,47	64,14
8-10 cm	6,08	31,53	18,53	15,48	10,20	45,93	60,92
10-12 cm	8,17	35,09	21,17	17,41	11,14	54,60	60,69
12-14 cm	8,79	27,97	15,56	13,48	9,65	42,10	46,05
14-16 cm	8,58	33,40	20,54	16,75	12,72	49,57	64,25
16-18 cm	13,63	40,11	31,13	20,09	18,64	62,56	86,42
18-20 cm	14,94	41,89	30,21	21,24	19,03	65,43	92,20
20-22 cm	15,27	39,93	28,89	20,41	17,23	62,78	88,19
22-24 cm	15,08	39,39	28,70	19,85	15,79	60,86	86,34
24-26 cm	13,17	38,73	28,66	18,76	16,32	60,30	87,22
26-28 cm	14,97	40,10	29,07	21,68	16,62	64,48	81,39
28-30 cm	16,54	39,82	27,90	18,47	16,39	63,21	74,97
30-32 cm	16,53	41,52	29,32	21,14	15,92	68,68	75,97
32-34 cm	16,85	41,78	29,66	20,30	17,12	66,36	84,44
34-36 cm	20,22	41,10	29,22	21,94	14,86	66,75	78,37
36-38 cm	17,89	43,29	31,44	22,54	16,07	71,62	83,71
38-40 cm	18,91	39,28	29,38	19,08	15,03	65,00	73,61
40-42 cm	16,39	38,11	27,87	16,70	15,76	62,27	70,11
42-44 cm	17,86	38,87	28,85	17,84	15,01	64,50	69,90
44-46 cm	20,02	38,74	27,67	19,70	14,34	65,76	67,03
46-48 cm	23,77	42,91	31,26	21,89	15,74	74,77	70,31
48-50 cm	21,11	39,12	27,63	19,42	14,61	67,90	66,56
50-52 cm	20,90	41,53	30,13	20,91	16,31	72,89	71,28
52-54 cm	19,44	44,13	32,38	21,00	18,53	76,49	75,56
54-56 cm	14,81	36,68	28,25	16,63	13,83	61,65	67,51
56-58 cm	14,61	36,75	27,93	17,42	13,14	63,57	63,59
58-60 cm	14,27	36,55	26,09	18,58	12,41	61,98	62,66
60-62 cm	18,45	35,67	25,95	16,80	14,46	60,80	62,55
62-64 cm	18,92	39,70	30,12	18,60	16,08	69,63	71,08
64-66 cm	15,60	39,60	30,81	21,45	11,49	69,91	66,34
66-68 cm	16,71	45,72	37,35	24,07	13,67	83,96	73,30
68-70 cm	16,08	40,34	31,22	20,04	15,64	73,52	69,85
70-72 cm	15,65	39,64	30,30	18,05	15,90	71,18	64,29
72-74 cm	14,84	40,05	30,30	18,32	13,83	71,35	63,69
74-76 cm	13,53	47,22	32,81	21,34	13,93	76,79	69,02
76-78 cm	15,71	42,49	30,50	21,19	12,68	72,93	64,44
78-80 cm	17,37	43,45	31,44	20,05	13,40	74,12	70,56
80-82 cm	16,12	40,30	29,77	19,71	13,01	69,70	62,47
82-84 cm	14,37	37,49	27,79	17,13	12,68	67,85	56,71

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S3 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
84-86 cm	11,22	33,25	24,51	14,67	11,36	59,54	50,15
86-88 cm	12,78	33,68	24,83	14,58	13,21	58,46	54,04
88-90 cm	17,43	38,79	26,89	20,97	11,49	63,99	63,53
90-92 cm	24,61	39,85	27,99	20,75	13,87	68,62	65,28
92-94 cm	23,66	44,01	30,59	23,06	13,93	76,86	69,54
94-96 cm	24,59	44,42	31,85	23,47	14,14	77,82	78,00
96-98 cm	21,64	44,10	31,13	21,19	13,40	75,66	67,81
98-100 cm	28,94	76,98	30,98	151,05	14,70	75,98	68,28
100-102 cm	22,72	41,77	30,95	20,82	14,98	72,94	76,25
102-104 cm	17,43	38,32	26,80	16,94	15,12	66,89	66,36
104-106 cm	21,07	45,53	30,98	21,62	17,56	80,92	75,35
106-108 cm	20,28	42,62	29,49	20,52	15,75	75,41	70,04
108-110 cm	21,54	46,40	33,42	23,06	17,03	85,45	74,67
110-112 cm	24,52	46,50	30,03	31,43	16,54	77,84	69,56
112-114 cm	19,30	42,11	28,31	20,05	16,83	75,33	76,59
114-116 cm	18,83	42,16	28,77	19,32	16,26	75,43	73,81
116-118 cm	20,10	45,54	30,32	21,88	16,40	79,25	73,87
118-120 cm	20,65	45,06	29,95	20,99	16,91	78,25	73,89
120-122 cm	20,86	46,66	31,72	21,45	16,60	81,89	75,05
122-124 cm	19,40	46,62	31,00	21,77	16,03	81,24	75,37
124-126 cm	20,81	50,50	33,65	26,07	15,15	84,10	81,73
126-128 cm	20,44	47,48	34,80	23,69	15,68	86,34	76,73
128-130 cm	15,05	43,49	29,81	19,52	15,89	77,89	71,39
130-132 cm	13,96	45,26	31,70	23,05	13,76	73,82	78,19

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S4.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	10,60	25,06	12,69	10,30	12,13	3,02	75,81
2-4 cm	11,49	20,41	10,05	8,65	9,55	2,46	55,31
4-6 cm	9,48	20,17	10,49	8,40	9,61	2,37	53,22
6-8 cm	10,75	23,10	12,57	9,46	11,29	2,71	58,94
8-10 cm	8,90	21,27	10,45	8,66	9,82	2,59	49,96
10-12 cm	8,40	20,71	9,91	8,42	9,41	2,53	49,73
12-14 cm	9,33	20,55	8,63	8,71	8,78	2,69	42,16
14-16 cm	9,81	25,54	9,12	10,51	9,31	3,69	42,80
16-18 cm	9,90	24,02	8,44	9,87	8,86	3,40	39,85
18-20 cm	11,80	23,94	8,60	9,96	8,96	3,33	42,32
20-22 cm	11,24	26,76	9,27	10,84	9,62	3,84	46,45
22-24 cm	12,93	26,98	8,57	10,51	10,60	3,70	45,45
24-26 cm	12,20	28,35	8,81	11,15	11,10	4,04	47,08
26-28 cm	10,65	26,48	7,76	10,43	9,20	3,82	40,97
28-30 cm	10,64	31,24	7,83	12,19	10,91	4,75	47,02
30-32 cm	10,75	26,84	7,01	10,06	9,68	3,54	40,03
32-34 cm	7,39	19,85	5,16	7,71	7,01	2,66	29,50
34-36 cm	9,70	24,76	6,92	9,38	8,92	3,35	36,36
36-38 cm	9,95	24,59	6,58	9,46	9,15	3,47	36,91
38-40 cm	10,00	25,17	7,11	10,35	9,43	3,44	39,78
40-42 cm	7,94	19,19	5,04	7,39	7,72	2,58	29,85
42-44 cm	7,07	19,49	4,88	7,63	6,93	2,69	28,99
44-46 cm	7,91	21,28	5,17	8,33	7,32	2,99	31,39
46-48 cm	8,67	26,14	6,25	10,13	9,06	3,74	37,31
48-50 cm	6,53	19,55	4,78	7,73	6,68	2,73	29,37
50-52 cm	6,54	19,87	4,82	7,87	6,43	2,76	28,75
52-54 cm	6,91	21,80	5,18	8,70	7,48	3,10	32,36
54-56 cm	6,04	19,49	4,85	7,59	7,18	2,68	28,14
56-58 cm	7,92	22,94	5,37	8,98	8,16	3,29	32,56
58-60 cm	6,38	19,87	4,69	7,69	6,53	2,79	28,83
60-62 cm	6,38	20,09	4,66	7,64	6,75	2,79	29,57
62-64 cm	6,60	21,18	5,05	8,35	6,92	2,98	34,02
64-66 cm	6,16	20,03	4,76	8,03	6,94	2,86	29,65
66-68 cm	7,56	22,47	5,17	8,84	7,89	3,17	33,31
68-70 cm	7,98	25,15	5,80	9,96	8,02	3,66	36,43
70-72 cm	8,51	28,05	6,62	11,03	9,72	4,04	41,33
72-74 cm	8,22	26,34	6,27	10,51	9,28	3,82	39,24
74-76 cm	7,84	25,90	5,92	9,87	9,04	3,69	38,30
76-78 cm	8,25	26,31	6,05	10,10	8,75	3,73	39,08
78-80 cm	5,31	17,69	4,17	7,02	6,17	2,43	26,67
80-82 cm	7,31	19,89	4,71	7,63	6,81	2,79	29,89
82-84 cm	6,92	21,64	5,04	8,71	7,17	3,14	33,17

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S4 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
84-86 cm	8,85	24,99	5,78	9,92	8,23	3,62	38,59
86-88 cm	7,21	23,23	5,32	9,13	7,34	3,38	35,82
88-90 cm	7,63	24,53	5,55	9,71	8,69	3,61	36,81
90-92 cm	7,39	21,37	4,90	8,71	6,64	3,14	31,75
92-94 cm	6,31	21,58	4,97	8,40	7,59	3,08	30,66
94-96 cm	6,18	23,06	5,22	9,14	7,87	3,37	32,50
96-98 cm	4,69	16,33	3,81	6,48	5,23	2,33	23,73
98-100 cm	6,69	21,63	5,10	8,53	7,21	3,10	34,42
100-102 cm	5,94	15,72	3,57	6,47	5,52	2,24	24,38
102-104 cm	6,73	21,30	4,80	8,44	7,70	2,98	31,70
104-106 cm	6,21	20,47	4,47	7,91	7,54	2,82	29,50
106-108 cm	5,78	18,69	4,09	7,39	6,28	2,68	27,21
108-110 cm	7,69	22,13	5,12	8,51	7,83	3,07	32,79
110-112 cm	8,64	26,69	6,04	10,50	9,11	3,81	40,19
112-114 cm	5,67	16,66	4,13	6,98	6,26	2,29	25,17
114-116 cm	7,14	21,19	5,02	8,40	8,07	3,01	30,60
116-118 cm	9,16	29,52	6,84	11,41	10,89	4,36	44,31
118-120 cm	5,22	16,83	4,14	7,29	7,01	2,36	25,00
120-122 cm	5,85	22,26	4,90	8,78	7,94	3,27	31,19
122-124 cm	3,59	14,42	3,25	5,89	4,89	2,09	19,61
124-126 cm	4,11	14,58	3,34	5,71	5,04	2,02	21,26
126-128 cm	7,50	24,37	5,59	9,49	8,74	3,48	35,04
128-130 cm	7,03	21,39	4,98	8,46	8,04	3,04	31,85
130-132 cm	4,37	15,96	3,78	6,48	5,89	2,27	23,21
132-134 cm	5,33	18,52	4,33	7,95	6,94	2,60	27,85
134-136 cm	4,86	16,82	4,14	8,16	5,70	2,38	25,16
136-138 cm	6,19	21,82	4,93	8,65	7,75	3,14	32,06
138-140 cm	4,15	12,56	3,14	5,06	4,53	1,63	17,41
140-142 cm	5,69	17,13	3,98	7,19	6,49	2,40	24,90
142-144 cm	4,29	13,65	3,19	5,36	5,31	1,86	19,25
144-146 cm	5,24	15,30	3,57	6,03	5,30	2,01	21,51
146-148 cm	5,71	19,18	4,51	7,67	6,62	2,63	27,17
148-150 cm	6,09	21,63	5,22	8,90	7,76	3,04	31,05
150-152 cm	8,71	30,50	6,67	11,49	9,28	4,23	42,34
152-154 cm	7,91	23,14	5,57	9,09	8,65	3,08	33,58
154-156 cm	8,00	25,70	6,60	9,94	8,70	3,57	37,04
156-158 cm	6,94	22,81	6,10	9,02	8,53	3,17	33,69
158-160 cm	6,65	25,11	6,05	9,68	8,49	3,67	36,75
160-162 cm	5,75	20,37	4,80	8,12	6,92	2,87	29,84
162-164 cm	6,88	24,33	5,75	9,36	8,85	3,47	35,19
164-166 cm	7,43	28,53	6,64	11,28	9,73	4,21	41,71
166-168 cm	7,19	25,81	6,20	10,07	8,85	3,71	37,76

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S4 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
168-170 cm	6,45	23,30	5,41	9,17	7,76	3,34	34,45
170-172 cm	7,75	27,31	6,37	10,68	9,47	3,87	39,66
172-174 cm	7,38	26,79	6,21	10,39	9,19	3,87	39,38
174-176 cm	7,65	25,24	5,94	9,90	9,32	3,63	38,57
176-178 cm	2,58	10,81	2,64	4,28	3,70	1,44	15,24
178-180 cm	6,94	26,08	6,08	10,23	8,90	3,87	38,24
180-182 cm	4,75	13,76	3,57	5,67	4,51	1,89	20,31
182-184 cm	5,29	18,88	4,68	7,68	5,95	2,68	29,00
184-186 cm	5,64	20,96	4,93	8,44	6,99	2,96	30,32
186-188 cm	4,30	15,41	3,75	6,22	5,46	2,07	22,31
188-190 cm	5,43	19,64	4,73	7,71	7,28	2,62	28,94
190-192 cm	7,35	26,19	5,98	10,16	8,99	3,66	38,48

*Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento
(US EPA 3050B) para o testemunho S5.*

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	2,41	2,34	1,85	1,20	6,31	2,97	9,63
2-4 cm	3,52	9,13	4,18	3,44	6,26	14,20	20,66
4-6 cm	2,24	2,63	1,63	1,26	7,30	3,17	9,14
6-8 cm	3,91	12,11	6,36	4,69	8,55	17,45	29,25
8-10 cm	2,11	3,31	2,02	1,75	8,11	4,02	11,04
10-12 cm	3,07	4,41	2,57	2,14	10,45	5,59	13,05
12-14 cm	5,14	17,76	7,32	6,63	0,93	26,86	31,25
14-16 cm	3,76	12,95	6,04	4,97	6,38	19,46	23,53
16-18 cm	2,71	9,88	5,66	3,57	6,54	14,38	18,72
18-20 cm	3,48	12,37	5,69	4,52	7,39	18,14	21,48
20-22 cm	8,76	22,95	7,19	8,20	11,10	34,17	36,29
22-24 cm	8,09	15,41	3,87	5,89	7,19	25,02	23,81
24-26 cm	8,49	15,44	3,67	5,72	6,73	24,96	23,76
26-28 cm	13,37	24,97	6,16	8,96	10,36	38,92	35,03
28-30 cm	10,99	20,25	4,34	6,64	8,20	28,82	27,46
30-32 cm	12,77	21,23	4,68	6,83	8,11	30,84	28,31
32-34 cm	14,86	28,46	5,93	9,24	10,83	44,41	35,39
34-36 cm	14,45	25,54	5,81	8,75	12,07	39,13	36,57
36-38 cm	16,73	29,85	6,66	10,85	12,50	47,02	44,66
38-40 cm	17,73	25,96	5,85	8,59	10,75	32,95	35,59
40-42 cm	20,51	27,83	5,59	7,94	12,12	25,26	32,03
42-44 cm	23,14	33,55	6,59	9,73	13,85	31,67	39,31
44-46 cm	30,21	40,84	8,33	11,72	16,83	36,59	49,15
46-48 cm	28,01	42,71	8,86	24,10	18,12	40,53	49,30
48-50 cm	26,37	35,00	8,37	12,02	16,16	43,67	49,45
50-52 cm	19,39	27,77	7,63	9,94	16,29	38,84	42,71
52-54 cm	19,46	29,43	7,22	10,32	14,18	40,80	42,77
54-56 cm	26,60	39,68	7,31	11,24	15,09	39,16	44,47
56-58 cm	20,79	45,73	8,39	33,65	15,59	46,99	48,99
58-60 cm	17,77	32,48	8,12	11,70	14,72	50,56	49,09
60-62 cm	16,31	42,06	8,29	32,95	15,61	48,71	45,57
62-64 cm	15,79	59,17	7,70	14,21	13,81	49,81	45,30
64-66 cm	14,49	32,74	8,01	12,03	14,96	55,68	47,63
66-68 cm	15,44	61,09	7,30	12,95	12,21	48,85	45,41
68-70 cm	18,78	36,15	8,26	12,40	13,82	54,29	49,44
70-72 cm	13,51	37,67	8,89	12,98	14,68	61,61	53,30
72-74 cm	11,35	43,43	9,86	15,62	14,41	78,82	57,11
74-76 cm	10,41	37,17	8,47	13,28	14,07	68,18	50,98
76-78 cm	11,32	33,15	7,50	11,69	13,91	57,13	45,96
78-80 cm	13,28	39,19	9,07	13,25	15,80	65,70	53,13
80-82 cm	12,92	86,79	9,54	16,72	16,16	65,23	50,83
82-84 cm	11,07	44,12	9,52	15,24	15,29	79,53	57,91

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S5 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
84-86 cm	13,21	95,32	9,19	16,89	15,08	60,29	50,72
86-88 cm	13,67	129,39	10,61	24,06	14,81	61,76	48,36
88-90 cm	11,57	33,30	7,87	11,80	13,95	58,46	46,08
90-92 cm	13,06	28,09	7,21	10,62	12,65	50,08	41,97
92-94 cm	15,11	82,07	9,50	16,49	14,93	59,01	48,81
94-96 cm	14,21	36,60	9,04	13,65	15,14	62,88	52,17
96-98 cm	12,00	64,30	7,07	13,11	12,32	49,18	39,66
98-100 cm	12,54	118,17	7,64	17,35	12,15	45,31	37,28
100-102 cm	10,90	32,44	7,43	11,32	13,66	57,05	44,67
102-104 cm	11,37	30,40	7,14	10,84	14,61	52,44	44,92
104-106 cm	9,56	28,79	6,58	10,31	14,15	50,49	40,69
106-108 cm	11,37	107,44	8,60	17,76	15,24	61,61	46,20
108-110 cm	9,19	20,17	5,03	7,76	11,28	35,19	31,57
110-112 cm	11,45	31,54	7,40	12,95	13,80	60,43	50,40
112-114 cm	12,31	31,32	7,39	13,07	15,22	59,44	48,78
114-116 cm	10,65	36,39	7,96	14,57	14,91	69,97	53,84
116-118 cm	9,81	31,39	7,31	12,58	14,78	59,53	48,67
118-120 cm	10,56	32,75	7,70	13,20	15,55	62,79	48,64
120-122 cm	11,18	28,42	7,32	11,76	15,90	52,44	45,53
122-124 cm	11,72	37,81	8,52	14,87	16,92	72,97	54,12
124-126 cm	8,64	35,95	7,92	13,87	14,77	69,70	49,72
126-128 cm	10,07	34,52	7,63	13,70	15,34	66,69	50,16
128-130 cm	9,99	39,30	9,05	15,52	14,97	75,77	55,20
130-132 cm	7,66	27,17	8,41	10,30	13,25	44,31	43,46
132-134 cm	11,64	40,28	13,40	15,55	19,76	63,43	67,80
134-136 cm	10,93	31,81	10,13	10,73	17,09	40,66	53,86
136-138 cm	8,80	20,81	7,33	8,18	10,26	33,88	37,69
138-140 cm	11,20	21,86	7,85	9,34	10,77	39,54	43,01
140-142 cm	12,80	28,22	10,11	11,96	14,15	51,10	54,44
142-144 cm	12,67	29,59	10,06	12,48	13,84	51,80	54,93
144-146 cm	17,26	55,11	9,74	13,63	13,01	45,07	53,67
146-148 cm	12,10	64,38	7,75	12,32	9,76	36,80	42,14
148-150 cm	10,58	25,34	8,72	11,05	12,60	46,33	48,00
150-152 cm	12,35	28,72	9,65	12,28	13,28	52,65	53,07
152-154 cm	13,72	32,06	10,70	13,14	15,13	56,42	60,41
154-156 cm	12,92	32,30	11,19	13,79	15,47	59,14	60,55
156-158 cm	11,11	23,76	7,87	10,53	10,61	43,93	45,40
158-160 cm	11,38	43,48	28,42	10,73	9,55	36,41	47,77
160-162 cm	11,83	29,13	4,80	32,46	7,70	31,92	31,64
162-164 cm	11,71	20,39	5,76	8,31	8,19	33,23	33,83
164-166 cm	13,05	26,66	6,17	10,36	9,55	47,61	41,02
166-168 cm	8,10	20,42	5,61	7,86	8,98	37,57	33,91

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S5 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
168-170 cm	7,02	26,31	6,15	9,85	11,94	47,73	39,36
170-172 cm	12,20	223,54	7,17	1077,04	10,55	45,81	47,85
172-174 cm	10,46	37,61	8,47	14,18	14,22	73,68	53,86
174-176 cm	8,30	129,14	7,41	291,00	12,74	53,53	45,38
176-178 cm	12,92	61,16	7,38	15,03	13,69	62,76	49,91
178-180 cm	14,79	24,03	5,72	9,36	9,54	43,33	38,10
180-182 cm	44,55	16,81	86,83	24,82	52,76	27,52	224,40
182-184 cm	46,84	15,98	89,60	26,90	53,30	26,82	236,20
184-186 cm	15,39	34,27	7,44	12,91	12,50	66,75	48,69
186-188 cm	27,85	34,34	7,40	13,28	12,35	65,35	50,43

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S6.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	2,29	5,74	2,65	2,22	3,86	0,86	15,50
2-4 cm	2,36	8,19	4,04	3,55	5,68	1,26	22,64
4-6 cm	2,57	8,23	4,41	3,40	5,63	1,29	24,10
6-8 cm	2,18	6,36	3,39	2,59	4,34	1,00	19,64
8-10 cm	2,09	7,87	3,72	3,45	4,83	1,24	21,59
10-12 cm	3,27	10,84	5,31	4,78	6,93	1,67	29,55
12-14 cm	4,19	13,96	7,14	6,37	9,52	2,18	39,43
14-16 cm	3,08	8,67	4,57	3,72	6,15	1,38	24,19
16-18 cm	1,48	5,50	2,70	2,17	3,43	0,85	16,26
18-20 cm	4,02	10,29	5,16	4,45	6,72	1,61	29,83
20-22 cm	3,68	10,94	5,43	4,61	7,75	1,70	29,86
22-24 cm	2,20	6,49	2,92	2,71	4,11	1,00	18,05
24-26 cm	2,07	5,62	2,68	2,28	3,67	0,84	15,62
26-28 cm	1,36	3,04	1,84	1,19	2,03	0,42	15,05
28-30 cm	2,90	8,62	4,38	3,69	5,52	1,33	23,05
30-32 cm	2,73	6,44	3,22	2,70	4,52	0,93	19,50
32-34 cm	2,91	8,69	4,05	3,68	5,45	1,33	22,49
34-36 cm	1,91	7,80	3,93	3,49	4,76	1,21	22,24
36-38 cm	3,28	6,50	3,14	2,68	4,54	0,95	18,80
38-40 cm	2,27	4,97	1,98	1,98	2,93	0,70	12,84
40-42 cm	2,43	7,11	3,12	2,48	4,58	0,90	21,04
42-44 cm	2,17	7,17	3,22	2,96	4,73	1,05	23,50
44-46 cm	3,41	8,01	3,53	3,34	5,10	1,20	21,66
46-48 cm	2,99	6,74	3,43	2,72	4,74	1,00	21,42
48-50 cm	2,96	8,39	3,94	3,53	5,42	1,26	23,27
50-52 cm	3,10	8,11	3,67	3,45	5,72	1,15	24,60
52-54 cm	3,17	8,49	3,96	3,60	5,88	1,26	24,34
54-56 cm	2,80	9,21	4,59	3,77	7,08	1,39	25,89
56-58 cm	3,49	9,70	4,67	4,34	6,94	1,51	27,40
58-60 cm	4,31	12,25	6,08	5,50	8,67	1,93	35,89
60-62 cm	3,11	8,68	3,84	3,80	5,75	1,36	22,71
62-64 cm	4,56	12,04	5,60	5,18	8,69	1,87	37,50
64-66 cm	2,86	6,68	3,35	2,71	5,30	1,00	22,12
66-68 cm	2,34	5,65	2,52	2,32	3,88	0,86	15,14
68-70 cm	3,37	9,73	4,20	4,06	7,26	1,48	26,11
70-72 cm	2,62	6,90	2,91	2,91	4,54	0,98	22,13
72-74 cm	4,88	12,37	6,18	5,74	9,53	1,87	41,77
74-76 cm	6,48	15,19	7,05	6,72	11,27	2,31	43,37
76-78 cm	6,02	18,09	8,13	8,06	12,65	2,84	48,35
78-80 cm	5,00	13,48	6,02	5,79	10,24	2,08	35,28
80-82 cm	4,37	12,52	5,43	5,38	8,71	1,90	33,86
82-84 cm	5,42	12,61	5,49	5,41	9,68	1,90	34,83

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão parcial do sedimento (US EPA 3050B) para o testemunho S6 (continuação).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
84-86 cm	3,45	9,65	3,96	4,00	6,99	1,45	26,52
86-88 cm	3,95	10,23	4,15	4,33	6,75	1,54	26,96
88-90 cm	4,03	9,65	4,47	4,32	7,10	1,46	30,25
90-92 cm	4,29	11,28	4,69	4,79	7,62	1,72	30,17
92-94 cm	2,58	6,23	2,85	2,83	3,79	0,92	20,34
94-96 cm	2,29	6,05	2,22	2,58	3,50	0,93	17,41
96-98 cm	2,55	5,42	1,65	2,23	2,60	0,78	10,19
98-100 cm	2,62	5,22	1,45	2,05	2,38	0,74	9,24
100-102 cm	2,77	5,82	1,78	2,36	2,99	0,90	10,64
102-104 cm	4,18	7,86	2,44	3,34	3,79	1,19	14,03
104-106 cm	3,07	6,73	2,08	2,78	3,02	1,01	12,35
106-108 cm	3,57	6,66	1,96	2,73	2,77	1,02	13,68
108-110 cm	2,67	5,44	1,67	2,28	2,58	0,84	9,52
110-112 cm	3,76	6,06	1,95	2,44	2,92	0,91	11,01
112-114 cm	2,96	6,51	1,95	2,69	3,15	0,99	12,44
114-116 cm	1,68	3,28	1,32	1,35	1,75	0,46	5,86

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão total do sedimento (US EPA 3052) para o testemunho S1.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	7,95	22,41	15,01	10,95	15,65	2,97	125,32
4-6 cm	6,40	16,49	7,87	6,21	10,22	2,88	44,15
8-10 cm	8,67	15,94	7,23	5,97	10,18	1,96	41,77
12-14 cm	12,84	26,33	17,85	11,98	20,51	3,65	158,00
16-18 cm	13,58	29,58	9,06	10,58	11,14	4,77	72,90
20-22 cm	13,86	34,48	7,80	11,74	13,11	1,53	51,29
24-26 cm	12,06	31,09	8,46	10,57	11,13	5,72	56,71
28-30 cm	13,12	31,42	8,65	10,97	13,36	1,97	50,01
32-34 cm	21,51	42,84	10,50	15,15	14,88	5,66	62,32
36-38 cm	18,12	44,39	10,37	15,90	13,50	6,82	64,49
40-42 cm	18,96	44,49	10,90	16,58	13,37	8,10	64,68
44-46 cm	16,50	44,95	11,18	16,28	14,34	8,16	82,39
48-50 cm	18,87	47,76	12,29	17,49	16,11	7,66	69,69
52-54 cm	14,62	44,90	11,42	16,85	14,64	8,40	65,84
56-58 cm	14,98	46,15	12,25	16,71	14,06	8,93	69,20
60-62 cm	15,92	45,56	11,94	17,61	13,43	8,93	66,38
64-66 cm	13,72	43,19	11,06	16,22	13,47	6,71	62,39
68-70 cm	20,23	50,53	12,51	18,64	14,73	9,29	68,01
72-74 cm	7,43	33,42	8,39	12,16	10,27	5,25	46,47
76-78 cm	12,94	47,92	11,82	17,34	15,46	4,97	71,31
80-82 cm	9,96	44,82	10,74	16,26	13,66	5,19	62,95
84-86 cm	15,16	50,86	13,02	18,99	15,95	5,97	81,58
88-90 cm	14,91	50,10	11,54	18,06	14,71	9,39	68,47
92-94 cm	22,97	53,18	12,40	19,56	15,93	9,25	75,12
96-98 cm	9,16	45,34	10,41	16,19	16,03	2,24	58,36
100-102 cm	11,26	45,37	11,90	16,16	13,41	4,78	65,29
104-106 cm	10,69	43,46	10,49	15,60	13,85	7,79	59,10
108-110 cm	13,94	46,02	10,66	16,07	13,66	7,22	63,20
112-114 cm	11,23	40,02	9,44	13,64	12,58	7,02	54,73
116-118 cm	7,76	34,72	8,34	12,48	9,42	6,51	48,49
120-122 cm	13,22	43,32	10,67	15,16	13,10	8,18	60,99
124-126 cm	11,98	46,04	10,91	16,77	13,55	2,75	60,45
128-130 cm	10,86	39,74	10,14	14,83	11,99	4,61	53,37
132-134 cm	12,51	48,56	11,48	17,25	14,67	9,28	65,59
136-138 cm	10,91	50,77	10,99	18,55	17,86	1,76	64,56
140-142 cm	12,53	44,66	11,33	16,53	15,22	4,92	63,77

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão total do sedimento (US EPA 3052) para o testemunho S2.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	8,47	50,04	24,60	20,59	23,49	3,17	115,80
4-6 cm	9,24	52,99	24,37	20,09	23,10	7,59	114,24
8-10 cm	8,80	50,89	24,07	19,29	23,88	6,42	113,58
12-14 cm	11,45	52,70	24,70	21,01	25,54	5,00	126,98
16-18 cm	11,11	56,39	24,78	23,35	27,32	3,65	114,76
20-22 cm	14,13	52,96	23,51	20,32	25,77	7,13	105,40
28-30 cm	11,75	49,88	23,46	19,51	25,85	3,39	107,58
32-34 cm	13,80	49,13	22,29	18,95	25,18	6,59	111,96
36-38 cm	13,31	48,36	22,61	19,24	24,08	4,99	101,67
40-42 cm	10,67	52,22	23,67	21,16	27,86	1,23	107,74
44-46 cm	12,16	41,86	18,01	16,72	20,31	5,55	92,34
48-50 cm	16,68	53,46	21,69	20,87	25,37	7,17	108,38
52-54 cm	18,87	50,39	18,61	19,07	21,81	5,32	97,29
56-58 cm	12,91	46,25	14,95	17,73	15,63	5,85	78,34
60-62 cm	15,00	53,97	19,20	20,70	23,15	6,41	93,09
64-66 cm	16,12	51,81	15,53	19,92	15,82	8,35	76,01
68-70 cm	14,09	52,52	15,88	20,04	15,98	8,92	74,75
72-74 cm	14,39	52,23	15,52	19,83	16,01	8,44	82,33
76-78 cm	12,89	55,89	15,72	22,06	20,34	1,41	80,31
80-82 cm	14,66	54,22	16,61	21,56	15,36	7,79	82,69
84-86 cm	11,17	47,22	14,24	18,42	15,76	2,86	70,32
88-90 cm	13,47	51,35	15,96	19,95	16,33	8,65	77,35
92-94 cm	15,38	52,35	16,14	20,76	16,20	8,81	76,19
96-98 cm	9,60	47,75	15,03	18,84	14,64	6,43	70,35
100-102 cm	10,68	34,38	11,01	14,10	10,07	5,44	51,07
104-106 cm	13,52	52,62	16,94	21,50	16,30	4,28	79,43
108-110 cm	12,41	45,11	13,91	17,94	13,65	6,36	64,22
112-114 cm	11,42	52,51	15,99	20,41	16,73	6,86	83,93
116-118 cm	11,83	53,81	16,32	21,10	16,71	2,79	90,94
120-122 cm	13,23	47,39	13,98	18,74	13,96	7,31	76,70
124-126 cm	13,36	49,08	14,43	18,71	14,04	7,47	81,00
128-130 cm	13,91	45,39	12,58	17,66	14,59	7,16	82,01
132-134 cm	12,40	47,85	12,85	18,81	14,48	4,61	82,60
136-138 cm	14,47	46,37	11,74	17,93	13,93	7,58	93,27
140-142 cm	10,94	52,19	13,32	20,43	17,23	1,01	92,20
144-146 cm	11,46	45,65	11,82	17,96	14,25	4,21	86,61
148-150 cm	12,09	41,46	10,53	17,13	12,74	4,93	101,74
152-154 cm	13,92	44,26	11,96	17,72	13,37	6,83	91,80
156-158 cm	11,70	39,38	10,25	14,91	13,25	5,12	67,45
160-162 cm	11,75	37,53	9,34	14,17	14,01	5,10	57,38
164-166 cm	9,62	34,73	8,52	13,37	11,65	4,72	60,24
168-170 cm	10,73	40,05	9,87	14,94	13,39	4,97	62,03

Tabela de concentração de metais (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão total do sedimento (US EPA 3052) para o testemunho S3.

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	7,24	33,13	35,14	15,19	13,62	1,90	92,36
4-6 cm	8,67	37,59	18,84	16,47	13,64	6,83	81,08
8-10 cm	8,01	35,31	16,54	15,62	12,31	1,14	117,16
12-14 cm	13,34	36,37	16,97	15,75	14,76	4,18	64,91
16-18 cm	27,14	47,35	34,25	24,97	27,78	3,99	107,43
20-22 cm	16,47	51,41	30,94	24,84	20,89	6,87	103,35
24-26 cm	20,39	50,51	29,40	23,69	20,56	5,40	97,17
28-30 cm	25,81	53,11	32,30	25,55	19,82	6,89	88,11
32-34 cm	28,54	51,66	32,29	23,80	22,13	6,37	98,92
36-38 cm	23,73	44,35	31,75	24,47	17,80	5,56	91,08
40-42 cm	20,85	48,60	29,79	22,09	17,65	7,68	81,62
44-46 cm	19,36	44,42	29,20	21,63	17,56	6,27	80,97
48-50 cm	33,62	53,86	31,36	24,94	20,55	10,84	98,45
52-54 cm	35,31	56,21	33,79	24,75	22,82	11,37	95,02
56-58 cm	22,24	50,44	30,48	22,90	15,57	7,46	81,50
60-62 cm	17,31	41,25	27,22	20,62	15,85	1,19	72,46
64-66 cm	19,62	56,99	36,46	27,58	18,23	1,40	92,12
68-70 cm	31,08	55,51	33,60	24,28	20,59	10,23	91,80
72-74 cm	20,66	55,65	32,05	23,39	16,47	9,42	82,72
76-78 cm	16,01	51,31	29,19	21,99	15,65	3,87	72,92
80-82 cm	26,76	54,14	32,33	24,29	18,25	11,67	77,60
84-86 cm	22,32	50,28	29,85	21,38	16,09	7,56	69,02
88-90 cm	34,31	47,34	29,87	23,33	17,01	8,54	83,81
92-94 cm	32,05	51,58	31,88	26,00	16,47	7,15	79,93
96-98 cm	45,72	55,51	37,94	29,65	20,95	8,88	91,25
100-102 cm	35,06	55,19	33,64	26,60	18,77	9,42	90,35
104-106 cm	42,77	56,35	31,84	25,60	23,12	10,94	91,63
108-110 cm	31,22	58,86	36,66	28,14	22,43	12,25	98,42
112-114 cm	24,96	51,14	30,74	24,49	18,71	3,72	78,88
116-118 cm	31,09	54,49	31,19	25,24	21,18	4,37	81,87
120-122 cm	28,99	47,73	32,60	24,76	15,23	1,66	68,07
124-126 cm	27,00	50,97	34,18	28,34	17,65	4,28	89,75
128-130 cm	20,13	58,97	36,40	28,47	20,49	1,23	97,64

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão total do sedimento (US EPA 3052) para o testemunho S4.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	13,08	34,48	16,16	13,20	15,51	5,12	92,45
8-10 cm	11,15	29,24	13,37	11,07	12,73	3,59	60,68
12-14 cm	8,70	30,36	12,65	12,08	12,04	3,02	60,18
16-18 cm	9,07	31,45	11,27	12,31	11,24	3,73	47,86
20-22 cm	11,88	36,74	12,48	13,76	12,94	3,87	57,79
24-26 cm	11,61	37,12	11,63	14,27	13,27	4,43	56,64
28-30 cm	12,13	38,15	10,78	13,36	13,30	5,77	76,98
32-34 cm	6,13	22,48	6,91	8,20	8,51	3,52	38,97
36-38 cm	9,93	30,74	8,96	11,06	10,90	4,78	48,05
40-42 cm	7,36	29,35	8,46	10,74	13,07	0,02	40,35
44-46 cm	11,47	30,41	8,78	10,95	11,63	4,97	46,03
48-50 cm	1,42	11,99	3,84	4,11	5,70	2,22	19,90
52-54 cm	9,34	30,95	8,63	10,80	10,31	4,36	51,47
56-58 cm	6,62	28,94	7,91	10,14	10,83	3,17	46,37
60-62 cm	3,95	25,24	7,46	9,12	9,81	2,70	45,49
64-66 cm	6,21	28,48	7,36	10,02	9,75	2,81	40,57
68-70 cm	8,37	28,50	7,66	10,58	10,76	3,69	42,95
72-74 cm	7,22	30,76	8,38	10,79	11,09	3,12	43,97
76-78 cm	7,83	28,21	8,09	10,25	9,83	4,23	42,52
80-82 cm	5,60	21,34	5,78	7,71	7,93	3,24	33,38
84-86 cm	9,72	30,63	8,20	11,37	12,33	3,50	45,73
88-90 cm	8,89	32,96	8,91	12,35	11,91	5,00	52,19
92-94 cm	9,87	29,60	7,37	10,17	10,00	3,84	41,30
96-98 cm	5,45	19,61	5,64	7,21	8,14	3,23	35,91
100-102 cm	6,38	24,40	6,65	8,71	9,86	3,87	43,59
104-106 cm	7,76	25,41	6,99	9,23	10,68	2,13	43,54
108-110 cm	5,61	28,92	7,49	10,46	9,94	2,43	53,96
112-114 cm	7,68	26,57	7,09	9,14	9,77	3,67	44,66
116-118 cm	8,23	31,72	7,97	11,73	10,91	5,08	50,70
120-122 cm	4,61	25,60	6,92	9,56	9,30	1,60	45,69
124-126 cm	4,55	19,32	6,24	6,93	7,51	1,26	34,38
128-130 cm	9,35	38,61	10,13	13,65	12,91	5,85	63,37
132-134 cm	5,40	25,21	6,76	8,87	8,95	3,57	43,07
136-138 cm	7,98	31,17	8,87	11,28	10,91	3,98	62,23
140-142 cm	3,41	15,49	4,67	5,34	6,45	1,05	26,80
144-146 cm	5,14	19,55	5,24	6,62	7,36	2,86	32,37
148-150 cm	7,05	30,89	7,93	11,39	10,45	3,42	53,30
156-158 cm	7,72	30,55	8,22	11,36	11,45	4,44	45,36
160-162 cm	5,25	26,91	7,12	10,01	10,32	2,29	39,42
164-166 cm	10,40	42,44	10,68	15,52	14,29	5,35	59,54
172-174 cm	12,58	49,56	12,32	17,42	15,06	7,79	66,50
176-178 cm	1,77	13,82	4,57	4,88	6,39	2,15	61,25
180-182 cm	3,22	17,57	4,99	6,07	6,81	2,66	24,45
184-186 cm	8,52	36,71	8,92	13,04	12,85	5,86	53,28
188-190 cm	7,02	30,42	9,99	11,16	10,88	4,51	61,42

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão total do sedimento (US EPA 3052) para o testemunho S5.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2cm	5,54	25,58	5,84	8,88	9,01	2,83	40,23
4-6cm	8,18	25,89	6,35	10,36	9,92	2,91	47,80
8-10cm	5,86	34,50	7,70	12,84	12,18	2,88	56,88
12-14cm	14,08	32,56	7,60	12,49	12,95	4,26	61,52
16-18cm	10,70	27,45	13,41	12,20	11,52	2,72	56,57
20-22cm	35,35	62,93	11,53	23,98	21,22	5,05	91,85
24-26cm	13,90	39,81	6,13	14,58	12,82	2,07	55,99
28-30cm	13,24	49,09	6,96	16,63	12,79	5,54	63,31
32-34cm	48,37	64,74	9,27	22,06	23,24	6,56	86,56
36-38cm	38,71	58,26	8,72	20,73	20,75	5,43	82,97
40-42cm	26,02	85,07	12,19	26,67	17,48	8,62	113,64
44-46cm	27,87	121,94	20,70	44,51	20,79	11,63	156,84
48-50cm	25,15	11,70	1,94	3,76	19,02	1,59	15,76
52-54cm	20,61	54,68	11,00	23,98	17,88	5,94	109,68
56-58cm	30,78	111,61	21,15	44,67	21,96	5,70	175,19
60-62cm	17,46	108,70	18,57	42,22	18,74	4,20	167,74
64-66cm	17,84	109,18	18,87	43,54	19,04	8,73	164,97
68-70cm	25,52	29,28	10,06	10,94	16,59	4,94	54,08
72-74cm	15,92	52,61	12,55	18,36	17,85	9,57	75,67
76-78cm	14,55	55,48	12,15	18,62	18,65	10,22	97,43
80-82cm	17,00	72,53	16,30	23,69	18,06	9,89	97,79
84-86cm	15,32	76,44	16,51	27,40	18,00	9,61	106,72
88-90cm	23,65	63,80	14,01	22,09	18,59	9,91	90,73
92-94cm	22,04	66,47	16,95	22,13	17,06	11,64	92,23
96-98cm	16,07	54,95	13,53	18,76	15,69	3,14	76,96
100-102cm	20,53	38,40	9,79	14,33	11,69	6,54	80,71
104-106cm	13,97	66,17	15,22	21,03	16,81	14,41	87,41
108-110cm	11,63	56,50	13,27	18,55	17,59	6,17	77,53
112-114cm	12,90	59,50	14,48	19,48	17,88	12,39	88,53
116-118cm	15,06	64,56	15,35	20,62	18,08	10,68	81,78
120-122cm	19,78	47,75	16,24	20,02	20,20	2,21	75,41
124-126cm	13,22	67,23	14,77	21,48	18,68	13,87	91,57
128-130cm	11,35	71,34	16,82	22,18	16,00	14,77	95,39
132-134cm	18,75	64,99	22,17	22,05	25,82	11,42	106,49
136-138cm	9,80	37,09	15,17	14,47	13,61	7,05	84,28
140-142cm	21,63	49,64	17,58	18,74	19,76	7,77	87,94
144-146cm	14,55	40,44	15,28	14,87	14,19	7,26	70,02
148-150cm	10,55	42,89	15,17	15,81	13,21	5,60	75,32
152-154cm	16,05	48,44	16,16	17,90	18,21	9,47	88,62
156-158cm	1,30	5,31	1,85	2,02	1,66	0,39	9,93
160-162cm	21,10	54,25	13,63	17,65	18,52	6,25	71,04
164-166cm	15,07	53,74	13,86	15,68	12,78	6,72	77,08
168-170cm	10,72	59,20	14,42	18,60	13,49	7,88	77,45
172-174cm	21,76	57,58	13,44	20,30	16,04	10,46	94,22
176-178cm	11,62	51,38	22,82	20,64	16,91	2,04	98,01
180-182cm	15,63	39,81	10,05	13,36	12,28	6,29	69,94
184-186cm	15,03	55,29	13,55	15,95	12,32	11,78	73,34

Tabela de concentração de metais (mg kg⁻¹) obtidos a partir da digestão total do sedimento (US EPA 3052) para o testemunho S6.

Profundidade	Concentração (mg kg ⁻¹)						
	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
0-2 cm	2,80	11,34	5,02	3,42	6,96	1,72	24,96
4-6 cm	3,69	17,49	8,59	6,73	9,49	3,11	39,70
8-10 cm	2,60	6,62	3,26	2,52	4,03	1,14	16,34
12-14 cm	9,08	25,47	11,16	9,70	13,70	4,22	58,49
16-18 cm	2,73	9,35	4,71	2,96	6,35	1,48	21,02
20-22 cm	3,49	15,69	14,01	6,34	10,94	2,25	76,00
24-26 cm	5,61	13,46	7,07	5,30	8,60	2,31	38,00
28-30 cm	4,97	13,75	6,46	4,62	8,32	2,10	35,16
32-34 cm	8,59	15,17	7,32	5,17	14,67	2,16	58,21
36-38 cm	4,54	10,68	5,38	4,09	7,38	1,86	29,09
40-42 cm	12,25	13,06	5,73	4,59	8,76	2,09	26,83
44-46 cm	11,30	13,79	6,65	4,67	10,53	2,19	32,25
48-50 cm	16,28	13,10	6,85	5,22	11,07	2,21	55,32
52-54 cm	16,52	12,48	5,96	4,57	11,92	2,06	41,44
56-58 cm	15,37	21,89	9,02	7,64	13,38	2,17	68,85
60-62 cm	9,72	16,60	7,70	6,54	10,64	2,86	37,34
64-66 cm	8,40	16,36	6,80	6,25	9,14	2,27	41,09
68-70 cm	4,40	15,41	7,46	6,14	10,71	2,69	36,13
72-74 cm	5,36	12,81	5,34	4,34	8,36	2,07	28,21
76-78 cm	9,96	28,64	11,97	10,73	15,46	3,29	62,14
80-82 cm	13,86	25,17	10,59	9,81	15,33	3,97	54,08
84-86 cm	7,55	27,32	18,06	10,44	18,72	2,59	129,70
88-90 cm	9,05	16,24	6,80	6,14	12,33	2,67	38,60
92-94 cm	3,09	12,42	5,37	4,56	6,86	2,05	27,11
96-98 cm	3,37	9,67	3,91	3,52	4,88	1,57	21,97
100-102 cm	6,43	9,34	3,76	3,39	5,15	1,57	19,73
104-106 cm	12,31	14,66	4,64	4,22	6,63	2,00	21,69
108-110 cm	7,44	15,43	4,51	4,85	5,89	2,14	22,06
112-114 cm	3,59	12,45	4,12	3,81	4,86	1,86	19,05

Tabela de concentração de mercúrio (mg kg^{-1}) obtidos a partir da digestão a vapor (US EPA 7471A).

Profundidade	Concentração (mg kg^{-1})					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0-2 cm	0,1020	0,5910	0,4411	0,1855	0,0725	0,0264
4-6 cm	0,1227	0,6001	0,6903	0,1643	0,0693	0,0370
8-10 cm	0,0282	0,6604	2,6387	0,1176	0,1485	0,0359
12-14 cm	0,1568	0,7693	1,1174	0,0453	0,1148	0,0785
16-18 cm	0,0961	2,1839	0,2921	0,0213	0,0707	0,0206
20-22 cm	0,0560	2,0443	0,1639	0,0448	0,1535	0,0424
24-26 cm	0,0709	-	0,1224	0,0379	0,0322	0,0232
28-30 cm	0,1372	0,6140	0,0785	0,0046	0,0401	0,0292
32-34 cm	0,1021	0,4040	0,1016	0,0308	0,0850	0,0322
36-38 cm	0,0444	0,2486	0,0842	0,0304	0,0529	0,0240
40-42 cm	0,0674	0,2470	0,1051	0,0427	0,0607	0,0320
50-52 cm	0,0526	0,2701	0,0702	0,0229	0,1584	0,0484
60-62 cm	0,0528	0,0740	0,0742	0,0317	0,1094	0,0585
70-72 cm	0,0546	0,0193	0,0666	-	0,0685	0,0293
80-82 cm	0,0432	0,0250	0,0550	0,0269	0,0718	0,0995
90-92 cm	0,0484	0,0589	0,0876	0,0292	0,0444	0,0613
100-102 cm	0,0305	0,0333	0,0885	0,0118	0,0399	0,0065
110-112 cm	-	-	0,1002	-	-	0,0084
120 -122 cm	0,0255	0,0268	0,0900	0,0234	0,0568	
130-132 cm	-	-	0,0737	-	-	
140-142 cm	0,0332	0,0119		0,0085	0,1148	
160-162 cm		0,0142		0,0305	0,0226	
170-172 cm		0,0004			-	
180-182 cm					0,0461	

Tabela de atividades (Bq kg^{-1}) para ^{210}Pb e ^{137}Cs , datação, taxa de sedimentação (cm a^{-1}) e fluxo de massa ($\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$) obtidos do modelo CRS para o testemunho S1.

Profundidade	Atividades		CRS		
	^{210}Pb (Bq kg^{-1})	^{137}Cs (Bq kg^{-1})	Datação	v (cm a^{-1})	f ($\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$)
0-2 cm	-	$1,37 \pm 0,11$	2012	-	-
2-4 cm	-	$2,56 \pm 0,20$	2011	$2,05 \pm 0,23$	$1,83 \pm 0,20$
4-6 cm	$44,63 \pm 3,13$	$2,67 \pm 0,21$	2008	$0,63 \pm 0,07$	$0,61 \pm 0,06$
6-8 cm	$34,11 \pm 2,48$	$1,68 \pm 0,13$	2006	$1,13 \pm 0,12$	$1,10 \pm 0,12$
8-10 cm	$31,53 \pm 2,38$	$2,10 \pm 0,17$	2005	$1,18 \pm 0,13$	$1,15 \pm 0,13$
10-12 cm	$37,51 \pm 2,84$	$1,82 \pm 0,15$	2000	$0,38 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,04$
12-14 cm	$29,06 \pm 2,21$	$2,41 \pm 0,19$	1996	$0,47 \pm 0,05$	$0,47 \pm 0,05$
14-16 cm	$30,75 \pm 2,31$	$2,43 \pm 0,19$	1994	$0,89 \pm 0,10$	$0,82 \pm 0,09$
16-18 cm	$30,31 \pm 2,51$	$3,81 \pm 0,30$	1993	$2,10 \pm 0,24$	$1,67 \pm 0,19$
18-20 cm	$29,11 \pm 2,45$	$2,68 \pm 0,21$	1992	$1,90 \pm 0,22$	$1,48 \pm 0,17$
20-22 cm	-	$2,76 \pm 0,22$	1991	$2,01 \pm 0,24$	$1,54 \pm 0,18$
22-24 cm	$26,36 \pm 2,10$	$2,56 \pm 0,21$	1987	$0,58 \pm 0,07$	$0,47 \pm 0,05$
24-26 cm	$34,35 \pm 2,59$	$2,70 \pm 0,22$	1982	$0,31 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,03$
26-28 cm	-	$3,72 \pm 0,30$	1976	$0,32 \pm 0,04$	$0,28 \pm 0,03$
28-30 cm	$32,49 \pm 2,58$	$2,69 \pm 0,22$	1973	$0,76 \pm 0,09$	$0,66 \pm 0,07$
30-32 cm	-	$2,91 \pm 0,23$	1973	-	-
32-34 cm	$30,70 \pm 2,67$	$2,10 \pm 0,17$	1972	-	-
34-36 cm	-	$3,48 \pm 0,28$	1972	-	-
36-38 cm	$29,63 \pm 2,29$	$4,91 \pm 0,39$	1972	-	-
38-40 cm	$24,78 \pm 1,92$	$2,27 \pm 0,18$	1972	-	-
40-42 cm	$25,38 \pm 2,05$	$3,40 \pm 0,27$	1971	$1,50 \pm 0,17$	$1,03 \pm 0,12$
44-46 cm	$32,59 \pm 2,47$	$2,93 \pm 0,23$	1966	$0,37 \pm 0,04$	$0,25 \pm 0,03$
48-50 cm	-	$2,82 \pm 0,23$	1961	$0,44 \pm 0,05$	$0,30 \pm 0,03$
52-54 cm	$29,52 \pm 2,18$	$1,38 \pm 0,11$	1958	$0,60 \pm 0,07$	$0,40 \pm 0,04$
56-58 cm	-	$2,21 \pm 0,18$	1951	$0,25 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,02$
60-62 cm	$29,37 \pm 2,25$	$3,10 \pm 0,25$	1949	$0,74 \pm 0,08$	$0,46 \pm 0,05$
70-72 cm	$29,30 \pm 2,20$	$3,32 \pm 0,27$	1948	-	-
80-82 cm	$26,18 \pm 1,97$	$2,97 \pm 0,24$	1946	$0,92 \pm 0,10$	$0,58 \pm 0,06$
90-92 cm	$32,29 \pm 2,56$	$1,99 \pm 0,16$	1941	$0,40 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,03$
100-102 cm	$27,38 \pm 2,03$	$1,86 \pm 0,15$	1935	$0,30 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,02$
110-112 cm	$24,80 \pm 1,82$	$1,78 \pm 0,14$	1933	$0,73 \pm 0,08$	$0,51 \pm 0,06$
120-122 cm	$31,29 \pm 2,22$	$3,69 \pm 0,30$	1927	$0,31 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,02$
130-132 cm	-	$1,10 \pm 0,09$	1905	$0,06 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,00$

Tabela de atividades (Bq kg⁻¹) para ²¹⁰Pb e ¹³⁷Cs, datação, taxa de sedimentação (cm a⁻¹) e fluxo de massa (g cm⁻² a⁻¹) obtidos do modelo CRS para o testemunho S2.

Profundidade	Atividades		CRS		
	²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	Datação	v (cm a ⁻¹)	f (g cm ⁻² a ⁻¹)
0-2 cm	-	2,38 ± 0,18	2012	1,47 ± 0,12	1,32 ± 0,01
2-4 cm	54,88 ± 1,49	3,30 ± 0,25	2010	1,07 ± 0,09	0,96 ± 0,08
4-6 cm	58,50 ± 1,56	3,50 ± 0,25	2008	1,08 ± 0,09	1,04 ± 0,09
6-8 cm	-	4,90 ± 0,37	2007	1,17 ± 0,10	1,13 ± 0,09
8-10 cm	61,99 ± 1,61	2,02 ± 0,15	2003	0,59 ± 0,05	0,58 ± 0,05
10-12 cm	54,06 ± 1,43	2,48 ± 0,19	2000	0,59 ± 0,05	0,61 ± 0,05
12-14 cm	57,02 ± 1,49	3,20 ± 0,24	1997	0,52 ± 0,04	0,52 ± 0,04
14-16 cm	59,26 ± 1,64	2,36 ± 0,18	1992	0,45 ± 0,04	0,41 ± 0,03
16-18 cm	59,27 ± 1,56	2,96 ± 0,22	1988	0,49 ± 0,04	0,39 ± 0,03
18-20 cm	-	3,68 ± 0,28	1985	0,51 ± 0,04	0,39 ± 0,03
20-22 cm	50,44 ± 1,37	3,48 ± 0,26	1981	0,58 ± 0,05	0,45 ± 0,04
22- 24 cm	49,02 ± 1,36	5,15 ± 0,39	1979	0,77 ± 0,06	0,61 ± 0,05
24-26 cm	42,52 ± 1,18	3,98 ± 0,30	1978	1,24 ± 0,10	1,06 ± 0,09
26-28cm	47,02 ± 1,31	5,41 ± 0,41	1975	0,60 ± 0,05	0,52 ± 0,04
28-30 cm	55,25 ± 1,50	4,40 ± 0,33	1969	0,36 ± 0,03	0,31 ± 0,03
30-32 cm	40,44 ± 1,09	2,96 ± 0,22	1963	0,32 ± 0,03	0,29 ± 0,02
32-34 cm	41,09 ± 1,11	3,63 ± 0,27	1958	0,36 ± 0,03	0,32 ± 0,03
34-36 cm	42,53 ± 1,17	1,83 ± 0,14	1954	0,37 ± 0,03	0,29 ± 0,02
36-38 cm	45,88 ± 1,26	3,78 ± 0,29	1946	0,28 ± 0,02	0,23 ± 0,02
38-40 cm	-	3,22 ± 0,24	1944	0,47 ± 0,04	0,35 ± 0,03
40-42 cm	38,42 ± 1,07	2,13 ± 0,16	1936	0,34 ± 0,03	0,23 ± 0,02
44-46 cm	34,35 ± 0,95	2,64 ± 0,20	1936	0,70 ± 0,06	0,47 ± 0,04
48-50 cm	38,09 ± 1,06	3,99 ± 0,30	1931	0,50 ± 0,04	0,33 ± 0,03
52-54 cm	33,39 ± 0,94	3,58 ± 0,27	1925	0,31 ±	0,20 ± 0,02
80-82 cm	36,55 ± 1,05	2,54 ± 0,19	1920	0,39 ± 0,03	0,24 ± 0,02
90-92 cm	32,91 ± 0,96	2,38 ± 0,18	1918	0,78 ± 0,07	0,52 ± 0,04
100-102 cm	31,85 ± 0,91	4,16 ± 0,31	1916	0,81 ± 0,07	0,53 ± 0,04
110-112 cm	-	1,59 ± 0,12	1912	0,50 ± 0,04	0,35 ± 0,03
120-122 cm	28,56 ± 0,81	1,42 ± 0,11	1907	0,24 ± 0,02	0,16 ± 0,01
130-132 cm	27,10 ± 0,78	3,46 ± 0,26	1879	0,06 ± 0,01	0,04 ± 0,00
140-142 cm	32,59 ± 0,93	2,18 ± 0,16	1859	0,05 ± 0,00	0,03 ± 0,00

Tabela de atividades (Bq kg⁻¹) para ²¹⁰Pb e ¹³⁷Cs, datação, taxa de sedimentação (cm a⁻¹) e fluxo de massa (g cm⁻² a⁻¹) obtidos do modelo CRS para o testemunho S3.

Profundidade	Atividades		CRS		
	²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	Datação	v (cm a ⁻¹)	f (g cm ⁻² a ⁻¹)
2-4 cm	89,44 ± 11,24	2,54 ± 0,06	2011	0,80 ± 0,06	1,51 ± 0,11
4-6 cm	45,05 ± 7,15	1,90 ± 0,05	2010	1,69 ± 0,13	3,19 ± 0,24
6-8 cm	58,74 ± 8,34	2,65 ± 0,06	2008	1,25 ± 0,11	2,35 ± 0,21
8-10 cm	74,49 ± 10,00	2,49 ± 0,06	2007	1,07 ± 0,08	1,96 ± 0,14
12-14 cm	48,24 ± 7,21	1,36 ± 0,03	2003	1,69 ± 0,13	2,90 ± 0,23
14-16 cm	42,33 ± 5,88	1,96 ± 0,05	2002	1,25 ± 0,10	2,08 ± 0,16
16-18 cm	94,04 ± 12,84	2,80 ± 0,07	2000	0,68 ± 0,06	1,00 ± 0,09
18-20 cm	90,28 ± 12,65	2,95 ± 0,07	1998	0,81 ± 0,08	0,87 ± 0,09
22-24 cm	54,16 ± 8,77	3,40 ± 0,08	1995	1,44 ± 0,13	1,67 ± 0,15
24-26 cm	55,83 ± 8,48	3,19 ± 0,08	1993	1,96 ± 0,17	2,22 ± 0,19
26-28 cm	63,41 ± 9,83	4,90 ± 0,12	1991	1,14 ± 0,11	1,36 ± 0,13
28-30 cm	89,71 ± 12,17	4,45 ± 0,11	1990	0,76 ± 0,07	0,95 ± 0,08
32-34 cm	65,41 ± 10,20	3,02 ± 0,07	1987	0,80 ± 0,07	0,99 ± 0,08
34-36 cm	125,14 ± 18,76	5,52 ± 0,13	1985	0,46 ± 0,05	0,52 ± 0,05
36-38 cm	64,49 ± 13,49	3,58 ± 0,09	1984	0,61 ± 0,07	0,77 ± 0,09
38-40 cm	63,80 ± 10,56	4,19 ± 0,10	1983	0,84 ± 0,09	1,04 ± 0,11
42-44 cm	47,69 ± 8,26	4,74 ± 0,12	1980	1,77 ± 0,16	2,10 ± 0,18
46-48 cm	63,83 ± 9,46	3,41 ± 0,08	1978	0,99 ± 0,09	1,17 ± 0,10
52-54 cm	79,27 ± 11,18	4,33 ± 0,11	1976	0,91 ± 0,07	1,11 ± 0,08
54-56 cm	33,35 ± 6,20	3,06 ± 0,07	1975	1,52 ± 0,13	1,77 ± 0,15
58-60 cm	68,69 ± 9,28	3,76 ± 0,09	1974	0,51 ± 0,04	0,69 ± 0,06
72-74 cm	65,54 ± 9,79	4,28 ± 0,10	1967	0,48 ± 0,04	0,60 ± 0,05
82-84 cm	66,95 ± 9,72	3,94 ± 0,10	1958	0,25 ± 0,02	0,34 ± 0,03
90-92 cm	111,98 ± 13,06	3,04 ± 0,07	1946	0,08 ± 0,01	0,11 ± 0,01
100-102 cm	78,22 ± 10,85	5,30 ± 0,13	1920	0,07 ± 0,01	0,09 ± 0,01

Tabela de atividades (Bq kg⁻¹) para ²¹⁰Pb e ¹³⁷Cs, datação, taxa de sedimentação (cm a⁻¹) e fluxo de massa (g cm⁻² a⁻¹) obtidos do modelo CRS para o testemunho S4.

Profundidade	Atividades		CRS		
	²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	Datação	v (cm a ⁻¹)	f (g cm ⁻² a ⁻¹)
0-2 cm	162,18 ± 24,40	-	2012	0,52 ± 0,07	0,30 ± 0,04
2-4 cm	46,45 ± 9,36	-	2011	0,63 ± 0,17	0,38 ± 0,10
6-8 cm	85,74 ± 12,54	0,52 ± 0,01	2008	0,85 ± 0,10	0,50 ± 0,06
8-10 cm	53,45 ± 9,21	-	2006	1,42 ± 0,17	0,80 ± 0,10
10-12 cm	57,07 ± 9,70	0,29 ± 0,01	2005	1,42 ± 0,16	0,66 ± 0,07
12-14 cm	145,62 ± 20,32	0,41 ± 0,01	2003	1,43 ± 0,15	0,39 ± 0,04
14-16 cm	63,74 ± 0,98	5,52 ± 0,14	2002	1,49 ± 0,14	0,79 ± 0,08
16-18 cm	33,74 ± 6,66	3,14 ± 0,08	2001	2,56 ± 0,27	1,39 ± 0,15
18-20 cm	93,30 ± 13,78	7,54 ± 0,19	2000	1,13 ± 0,11	0,65 ± 0,06
20-22 cm	57,58 ± 10,23	8,57 ± 0,21	1999	2,40 ± 0,31	0,66 ± 0,09
24-26 cm	72,06 ± 11,67	4,11 ± 0,10	1997	0,89 ± 0,11	0,52 ± 0,06
28-30 cm	61,55 ± 9,60	3,47 ± 0,09	1995	0,92 ± 0,10	0,61 ± 0,07
32-34 cm	41,36 ± 7,24	1,84 ± 0,05	1994	1,60 ± 0,17	1,38 ± 0,15
36-38 cm	26,45 ± 5,15	3,27 ± 0,08	1993	2,11 ± 0,22	1,68 ± 0,18
40-42 cm	69,09 ± 9,93	3,82 ± 0,09	1990	0,69 ± 0,07	0,53 ± 0,06
44-46 cm	48,70 ± 7,79	1,28 ± 0,03	1987	0,68 ± 0,07	0,58 ± 0,06
48-50 cm	44,93 ± 7,71	2,16 ± 0,05	1984	0,80 ± 0,08	0,74 ± 0,07
52-54 cm	42,04 ± 7,12	2,28 ± 0,06	1980	0,72 ± 0,07	0,58 ± 0,06
56-58 cm	68,74 ± 10,13	4,14 ± 0,10	1975	0,33 ± 0,03	0,29 ± 0,03
60-62 cm	74,07 ± 10,43	2,36 ± 0,06	1970	0,20 ± 0,02	0,19 ± 0,02
70-72 cm	64,32 ± 9,62	1,51 ± 0,04	1957	0,20 ± 0,02	0,16 ± 0,02
80-82 cm	58,43 ± 9,28	4,96 ± 0,12	1947	0,14 ± 0,01	0,13 ± 0,01
90-92 cm	56,28 ± 8,67	2,40 ± 0,06	1932	0,10 ± 0,01	0,07 ± 0,01
100-102 cm	76,66 ± 10,61	2,46 ± 0,06	-	-	-

Tabela de atividades (Bq kg⁻¹) para ²¹⁰Pb e ¹³⁷Cs, datação, taxa de sedimentação (cm a⁻¹) e fluxo de massa (g cm⁻² a⁻¹) obtidos do modelo CRS para o testemunho S5.

Profundidade	Atividades		CRS		
	²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	Datação	v (cm a ⁻¹)	f (g cm ⁻² a ⁻¹)
0-2 cm	55,76 ± 8,34	1,43 ± 0,03	2012	1,01 ± 0,12	1,12 ± 0,14
2-4 cm	70,53 ± 10,45	0,59 ± 0,01	2009	0,76 ± 0,10	0,87 ± 0,12
4-6 cm	61,00 ± 7,86	0,52 ± 0,01	2006	0,74 ± 0,09	0,87 ± 0,10
6-8 cm	45,90 ± 7,12	0,52 ± 0,01	2003	1,14 ± 0,16	1,17 ± 0,14
8-10 cm	40,44 ± 6,62	2,21 ± 0,05	2000	1,53 ± 0,14	1,56 ± 0,15
10-12 cm	82,44 ± 10,82	1,66 ± 0,04	1998	0,67 ± 0,07	0,67 ± 0,07
12-14 cm	93,59 ± 11,70	0,15 ± 0,00	1995	0,43 ± 0,05	0,47 ± 0,06
14-16 cm	40,71 ± 6,91	1,41 ± 0,03	1993	0,82 ± 0,08	0,91 ± 0,09
16-18 cm	44,76 ± 7,01	2,32 ± 0,06	1991	1,21 ± 0,12	1,44 ± 0,14
18-20 cm	33,02 ± 5,78	1,72 ± 0,04	1990	1,62 ± 0,17	1,80 ± 0,19
20-22 cm	40,83 ± 6,88	3,09 ± 0,07	1988	2,41 ± 0,25	2,14 ± 0,22
22-24 cm	35,09 ± 6,22	2,19 ± 0,05	1988	1,21 ± 0,11	1,30 ± 0,12
24-26 cm	77,63 ± 9,90	2,35 ± 0,06	1983	0,44 ± 0,05	0,48 ± 0,05
26-28 cm	61,43 ± 9,01	2,16 ± 0,05	1979	0,51 ± 0,05	0,46 ± 0,05
28-30 cm	53,41 ± 8,28	2,02 ± 0,05	1976	0,46 ± 0,06	0,46 ± 0,06
30-32 cm	60,32 ± 9,45	2,49 ± 0,06	1972	0,63 ± 0,06	0,57 ± 0,06
32-34 cm	40,71 ± 7,13	3,67 ± 0,09	1970	1,29 ± 0,12	1,10 ± 0,10
34-36 cm	51,73 ± 8,62	1,17 ± 0,03	1967	0,72 ± 0,07	0,57 ± 0,06
36-38 cm	73,02 ± 10,38	2,80 ± 0,07	1963	0,40 ± 0,04	0,34 ± 0,03
38-40 cm	35,65 ± 6,36	3,42 ± 0,08	1960	0,50 ± 0,05	0,47 ± 0,05
40-42 cm	63,07 ± 10,14	1,72 ± 0,04	1956	0,28 ± 0,03	0,24 ± 0,03
44-46 cm	82,60 ± 12,39	1,95 ± 0,05	1945	0,27 ± 0,03	0,18 ± 0,02
48-50 cm	38,02 ± 6,97	-	1944	0,63 ± 0,05	0,47 ± 0,04
52-54 cm	59,61 ± 9,82	2,81 ± 0,07	1940	0,94 ± 0,07	0,79 ± 0,06
56-58 cm	64,41 ± 10,25	2,09 ± 0,05	1934	0,46 ± 0,04	0,34 ± 0,03
58-60 cm	50,83 ± 9,07	-	1931	0,31 ± 0,02	0,23 ± 0,01
68-70 cm	57,74 ± 9,44	2,56 ± 0,06	1921	0,20 ± 0,01	0,15 ± 0,01
78-80 cm	45,09 ± 7,86	3,05 ± 0,07	1916	0,22 ± 0,02	0,14 ± 0,01
88-90 cm	79,37 ± 10,87	1,67 ± 0,04	1895	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,00
98-100 cm	89,68 ± 12,63	2,12 ± 0,05	-	-	-

Tabela de atividades (Bq kg⁻¹) para ²¹⁰Pb e ¹³⁷Cs, datação, taxa de sedimentação (cm a⁻¹) e fluxo de massa (g cm⁻² a⁻¹) obtidos do modelo CRS para o testemunho S6.

Profundidade	Atividades		CRS		
	²¹⁰ Pb (Bq kg ⁻¹)	¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	Datação	v (cm a ⁻¹)	f (g cm ⁻² a ⁻¹)
0-2 cm	-	2,33 ± 0,06	2012	1,23 ± 0,15	1,70 ± 0,21
2-4 cm	-	2,94 ± 0,07	2012	-	-
4-6 cm	-	1,94 ± 0,05	2011	-	-
6-8 cm	-	0,45 ± 0,01	2010	1,34 ± 0,16	1,64 ± 0,20
8-10 cm	-	1,38 ± 0,03	2008	1,03 ± 0,13	1,22 ± 0,15
10-12 cm	62,22 ± 7,34	-	2005	0,67 ± 0,08	0,69 ± 0,08
12-14 cm	93,70 ± 9,47	-	2001	0,49 ± 0,06	0,43 ± 0,05
14-16 cm	55,86 ± 6,69	2,18 ± 0,05	1998	0,63 ± 0,08	0,64 ± 0,08
16-18 cm	43,33 ± 5,37	2,26 ± 0,06	1997	1,47 ± 0,18	1,92 ± 0,23
18-20 cm	39,34 ± 5,30	-	1995	1,09 ± 0,13	1,12 ± 0,14
20-22 cm	78,59 ± 8,26	2,28 ± 0,06	1991	0,46 ± 0,06	0,47 ± 0,06
22-24 cm	46,72 ± 5,68	1,24 ± 0,03	1986	0,37 ± 0,05	0,45 ± 0,05
24-26 cm	47,48 ± 5,88	2,12 ± 0,05	1984	0,95 ± 0,12	1,11 ± 0,14
26-28 cm	-	1,42 ± 0,04	1984	-	-
28-90 cm	30,64 ± 4,16	2,45 ± 0,06	1984	-	-
30-32 cm	29,49 ± 4,21	2,99 ± 0,07	1984	-	-
32-34 cm	42,29 ± 5,21	0,22 ± 0,01	1982	0,86 ± 0,10	1,01 ± 0,12
34-36 cm	46,99 ± 5,98	1,8 ± 0,05	1976	0,35 ± 0,04	0,44 ± 0,05
36-38 cm	34,06 ± 4,56	0,39 ± 0,01	1972	0,46 ± 0,06	0,57 ± 0,07
38-40 cm	-	0,76 ± 0,02	1970	0,77 ± 0,09	1,09 ± 0,13
40-42 cm	46,41 ± 5,85	0,88 ± 0,02	1966	0,60 ± 0,07	0,74 ± 0,09
44-46 cm	-	0,20 ± 0,01	1964	0,77 ± 0,09	0,96 ± 0,12
50-52 cm	23,20 ± 3,42	-	1962	0,83 ± 0,10	0,85 ± 0,10
54-56 cm	-	0,29 ± 0,01	1956	0,41 ± 0,05	0,43 ± 0,05
58-60 cm	37,01 ± 5,39	0,93 ± 0,02	1952	0,30 ± 0,04	0,29 ± 0,04
60-62 cm	-	2,87 ± 0,07	1938	0,16 ± 0,02	0,16 ± 0,02
70-72 cm	30,30 ± 4,33	0,88 ± 0,02	1925	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,01
80-82 cm	55,09 ± 7,23	3,55 ± 0,09	1887	0,04 ± 0,00	0,03 ± 0,00
90-92 cm	36,93 ± 5,04	3,34 ± 0,08	1814	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00

Fluxo de metais disponíveis ($\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$) para o testemunho S1.

$F_m D (\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}) \times 10^3$							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S1 2-4 cm	9,3586	26,1532	14,4358	10,6477	20,2329	4,1347	74,4888
S1 4-6 cm	2,8911	7,0390	4,5318	2,9931	5,2654	1,0726	22,1370
S1 6-8 cm	5,1770	14,5379	8,7745	6,2748	11,1158	2,2816	41,4373
S1 8-10 cm	5,1096	13,0364	7,9097	5,4727	8,9250	2,0411	38,8820
S1 10-12 cm	2,5987	4,6390	2,5754	2,1088	3,0584	0,6828	14,6875
S1 12-14 cm	2,9280	6,4963	3,1202	2,8180	3,9226	1,0893	16,3722
S1 14-16 cm	5,7229	15,3492	4,4291	6,0072	6,7963	2,6582	28,0233
S1 16-18 cm	15,1492	35,3417	11,0485	14,1892	17,8196	5,9688	69,3416
S1 18-20 cm	12,9892	29,2007	7,9637	11,3125	13,1122	4,7063	50,8085
S1 20-22 cm	13,4215	34,6274	8,6729	13,7441	14,3547	6,1202	59,1781
S1 22-24 cm	3,7118	10,5237	2,4883	4,0059	4,3602	1,8530	17,3835
S1 24-26 cm	2,2959	5,1484	1,2619	2,0059	2,2626	0,8691	8,9121
S1 26-28 cm	2,3603	6,0719	0,4267	2,4009	3,0428	1,0466	10,8161
S1 28-30 cm	5,7213	14,1330	3,7152	5,5919	6,4225	2,4198	24,7078
S1 40-42 cm	12,5096	29,9733	7,6368	11,8088	12,6610	5,3391	47,8795
S1 44-46 cm	2,9959	6,7592	1,7936	2,7333	2,9900	1,1561	11,0563
S1 48-50 cm	3,5312	8,6574	2,2545	3,3418	3,6676	1,5087	13,5532
S1 52-54 cm	4,1925	13,1623	3,4571	5,1209	4,9888	2,3599	21,1919
S1 56-58 cm	1,7350	4,3721	1,2483	1,7360	1,9588	0,7502	7,2926
S1 60-62 cm	5,3731	14,0892	3,8810	5,7365	5,8103	2,5405	23,6876
S1 80-82 cm	5,9226	20,3580	4,7905	7,6707	7,5780	3,8709	30,6226
S1 90-92 cm	2,1504	7,0076	1,7861	2,7266	3,0489	1,2411	11,5065
S1 100-102 cm	1,7455	5,8135	1,4442	2,2935	2,3766	1,0947	9,1788
S1 110-112 cm	-2,6696	-10,2585	-3,2894	-3,8748	-3,5518	-1,9160	-15,8016
S1 120-122 cm	1,3991	6,0454	1,4532	2,2970	2,4240	1,1352	9,5672
S1 130-132 cm	0,2867	1,0835	0,2653	0,4185	0,4776	0,1974	1,7015

Fluxo de metais disponíveis ($\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$) para o testemunho S2.

$F_m D (\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}) \times 10^3$							
Profund.	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S2 0-2cm	7,10	22,64	12,00	9,10	12,37	2,74	63,69
S2 2-4 cm	4,14	16,69	8,99	6,65	9,33	2,05	46,17
S2 4-6 cm	4,11	17,10	9,03	6,76	9,30	2,10	46,45
S2 6-8 cm	4,36	18,44	9,66	7,54	9,70	2,28	48,79
S2 8-10 cm	2,26	9,26	4,97	3,71	5,03	1,13	25,26
S2 10-12 cm	2,18	9,36	5,10	3,80	5,04	1,14	25,52
S2 12-14 cm	2,14	8,31	0,47	3,29	4,78	0,95	24,02
S2 14-16 cm	1,88	7,74	3,98	3,10	4,32	0,90	19,92
S2 16-18 cm	2,31	8,58	4,24	3,52	4,82	1,02	20,38
S2 18-20 cm	2,31	7,96	3,96	3,30	4,64	0,93	18,54
S2 20-22 cm	2,87	9,60	4,87	3,90	5,48	1,10	23,32
S2 22-24 cm	3,45	11,68	6,19	4,82	6,42	1,37	29,61
S2 24-26 cm	5,08	17,95	9,52	7,37	10,08	2,19	46,43
S2 26-28 cm	2,71	8,41	4,86	3,47	5,16	1,04	22,58
S2 28-30 cm	1,74	5,62	2,97	0,23	3,17	0,69	14,95
S2 30-32 cm	1,38	5,39	2,64	2,27	2,90	0,66	15,32
S2 32-34 cm	2,08	5,48	2,96	2,22	3,23	0,67	15,74
S2 34-36 cm	2,13	5,56	2,97	2,34	3,30	0,72	15,40
S2 36-38 cm	1,83	4,68	2,43	1,97	2,65	0,61	12,76
S2 38-40 cm	2,90	8,47	4,20	3,51	4,61	1,09	22,10
S2 40-42 cm	2,08	5,50	2,81	2,31	3,09	0,71	15,05
S2 44-46 cm	4,19	11,42	5,31	4,67	6,06	1,49	29,31
S2 48-50 cm	3,27	8,76	3,75	3,67	4,32	1,13	21,41
S2 52-54 cm	2,02	4,79	1,87	2,04	2,11	0,64	10,48
S2 80-82 cm	1,95	5,76	1,69	2,44	1,96	0,78	9,51
S2 90-92 cm	3,47	11,72	3,78	4,94	4,11	1,58	21,20
S2 100-102 cm	3,41	11,12	3,50	4,78	3,91	1,51	18,59
S2 110-112 cm	2,23	7,38	2,19	3,19	2,45	1,00	12,79
S2 120-122 cm	1,10	3,78	1,00	1,61	1,09	0,44	6,71
S2 130-132 cm	0,38	1,10	0,27	0,45	2,84	0,13	2,44
S2 140-142 cm	0,33	0,88	0,23	0,37	0,25	0,12	1,77

Fluxo de metais disponíveis ($\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$) para o testemunho S3.

$F_m D (\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1}) \times 10^3$							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S3 2-4 cm	6,01	28,89	17,40	14,99	9,08	41,92	62,82
S3 4-6 cm	12,85	65,47	38,35	33,57	20,20	93,93	133,73
S3 6-8 cm	11,10	51,65	29,26	26,25	15,62	72,10	106,38
S3 8-10 cm	8,48	43,95	25,82	21,58	14,22	64,02	84,90
S3 12-14 cm	18,55	59,03	32,83	28,45	20,37	88,84	97,17
S3 14-16 cm	11,35	44,19	27,17	22,16	16,82	65,58	85,01
S3 16-18 cm	6,58	19,35	15,02	9,69	8,99	30,17	41,68
S3 18-20 cm	8,53	23,90	17,24	12,12	10,86	37,34	52,62
S3 22-24 cm	17,09	44,65	32,53	22,50	17,89	68,98	97,86
S3 24-26 cm	20,74	60,99	45,15	29,55	25,71	94,98	137,38
S3 26-28 cm	14,79	39,61	28,72	21,42	16,41	63,69	80,40
S3 28-30 cm	10,14	24,43	17,11	11,33	10,06	38,77	45,99
S3 32-34 cm	10,49	26,00	18,46	12,64	10,66	41,30	52,55
S3 34-36 cm	7,86	15,98	11,36	8,53	5,78	25,95	30,46
S3 36-38 cm	8,98	21,74	15,79	11,32	8,07	35,97	42,04
S3 38-40 cm	12,97	26,93	20,14	13,08	10,31	44,57	50,47
S3 42-44 cm	25,46	55,42	41,14	25,43	21,41	91,96	99,67
S3 46-48 cm	20,20	36,47	26,56	18,61	13,38	63,55	59,75
S3 52-54 cm	14,31	32,49	23,84	15,46	13,64	56,31	55,63
S3 54-56 cm	19,71	48,83	37,61	22,14	18,42	82,08	89,88
S3 58-60 cm	7,53	19,29	13,77	9,81	6,55	32,72	33,08
S3 72-74 cm	6,59	17,80	13,47	8,14	6,15	31,71	28,30
S3 82-84 cm	3,50	9,13	6,77	4,17	3,09	16,52	13,81
S3 90-92 cm	1,56	2,52	1,77	1,31	0,88	4,34	4,13
S3 100-102 cm	1,40	2,58	1,91	1,28	0,92	4,50	4,70

Fluxo de metais disponíveis ($\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$) para o testemunho S4.

$F_m D (\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}) \times 10^3$							
Profund.	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S4 0-2 cm	1,9159	4,5307	2,2941	1,8625	2,1931	0,5456	13,7079
S4 2-4 cm	2,3194	4,1192	2,0272	1,7450	1,9266	0,4960	11,1605
S4 6-8 cm	3,4134	7,3384	3,9922	3,0033	3,5857	0,8604	18,7195
S4 8-10 cm	4,6270	11,0612	5,4326	4,5048	5,1088	1,3463	25,9844
S4 10-12 cm	3,8050	9,3791	4,4879	3,8112	4,2625	1,1457	22,5241
S4 12-14 cm	5,3719	11,8395	4,9704	5,0205	5,0596	1,5521	24,2877
S4 14-16 cm	5,1528	13,4157	4,7904	5,5202	4,8918	1,9406	22,4809
S4 16-18 cm	9,1393	22,1749	7,7932	9,1082	8,1788	3,1412	36,7852
S4 18-20 cm	5,4913	11,1407	4,0003	4,6354	4,1693	1,5510	19,6942
S4 20-22 cm	10,9067	25,9675	8,9932	10,5216	9,3359	3,7306	45,0710
S4 24-26 cm	4,8535	11,2844	3,5083	4,4362	4,4181	1,6084	18,7383
S4 28-30 cm	5,6739	16,6647	4,1751	6,5035	5,8186	2,5345	25,0815
S4 32-34 cm	9,2518	24,8686	6,4667	9,6562	8,7756	3,3356	36,9473
S4 36-38 cm	15,1102	37,3308	9,9951	14,3616	13,8883	5,2660	56,0397
S4 40-42 cm	3,9162	9,4593	2,4830	3,6412	3,8081	1,2744	14,7180
S4 44-46 cm	4,2009	11,3011	2,7483	4,4228	3,8881	1,5884	16,6740
S4 48-50 cm	4,5820	13,7125	3,3520	5,4250	4,6847	1,9153	20,6030
S4 52-54 cm	4,6160	14,5707	3,4642	5,8151	4,9961	2,0728	21,6277
S4 56-58 cm	2,1822	6,3186	1,4801	2,4743	2,2489	0,9059	8,9688
S4 60-62 cm	1,1413	3,5972	0,8337	1,3686	1,2088	0,4990	5,2930
S4 70-72 cm	1,2513	4,1242	0,9734	1,6217	1,4287	0,5940	6,0765
S4 80-82 cm	0,9170	2,4964	0,5908	0,9572	0,8554	0,3504	3,7518
S4 90-92 cm	0,6550	1,8951	0,4342	0,7720	0,5890	0,2781	2,8153

Fluxo de metais disponíveis ($\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^3$) para o testemunho S5.

$F_m D (\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1}) \times 10^3$							
Profund.	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S5 0-2cm	2,4280	7,2370	4,0363	3,0478	5,2069	0,5808	21,0203
S5 2-4 cm	1,9268	6,4140	3,2776	2,5493	4,1922	0,5073	16,3589
S5 4-6 cm	1,9784	6,7951	3,5085	2,8041	4,5735	0,5335	17,7764
S5 6-8 cm	3,3241	9,5445	4,0043	3,8015	6,0221	0,6989	22,0315
S5 8-10 cm	5,8959	15,7501	13,4676	6,6313	10,6890	1,1452	38,6679
S5 10-12 cm	2,5583	6,6756	3,0538	2,9224	4,4703	0,4772	21,2150
S5 12-14 cm	1,4146	3,9552	1,7031	1,6352	2,8772	0,2874	9,3682
S5 14-16 cm	2,5417	8,1994	4,1477	3,2809	5,5864	0,6028	20,1360
S5 16-18 cm	3,4989	11,3222	4,2614	4,2237	7,2242	0,7809	25,1359
S5 18-20 cm	4,6478	12,4701	5,2694	5,1415	9,1420	0,8832	30,9747
S5 20-22 cm	12,4733	25,6508	12,8462	10,4048	21,2836	1,7838	54,6925
S5 22-24 cm	8,9559	12,7346	3,7955	5,7921	7,5461	0,9846	28,8382
S5 24-26 cm	3,0529	4,4177	1,3106	1,9606	2,5859	0,3432	9,7511
S5 26-28 cm	3,9505	6,6414	1,7555	2,5447	3,2308	0,4870	12,3670
S5 28-30 cm	3,1131	5,8085	1,3913	2,1555	2,7417	0,4177	10,3338
S5 30-32 cm	4,7829	6,5086	1,6359	2,2736	3,7438	0,4232	12,8369
S5 32-34 cm	9,9215	16,8882	4,1331	5,9533	7,9465	1,2058	27,3208
S5 34-36 cm	5,9291	11,7123	2,9812	4,3296	5,7544	0,8960	20,3670
S5 36-38 cm	4,0391	5,9895	1,6023	2,3429	3,1723	0,4231	11,0345
S5 38-40 cm	5,5492	7,3432	1,7517	2,5974	3,7215	0,4004	13,3124
S5 40-42 cm	3,0159	4,1500	0,9044	1,3289	1,9991	0,1882	6,0946
S5 44-46 cm	3,1644	4,6315	1,0433	1,4201	2,1276	0,2029	6,5413
S5 48-50 cm	9,1379	11,0001	2,9867	4,0772	6,2171	0,6095	18,8150
S5 52-54 cm	10,6571	15,8726	4,3355	6,1568	8,3340	1,1447	28,1867
S5 80-82 cm	4,2506	6,8503	1,7671	2,5029	3,7263	0,4286	12,4967
S5 90-92 cm	2,9973	4,8176	1,3680	1,9039	2,5332	0,3606	8,5936
S5 100-102 cm	1,9477	3,2867	0,8641	1,2236	1,5728	0,2327	5,9111
S5 110-112 cm	1,1778	2,7754	0,7776	1,0297	1,3296	0,2178	5,2964
S5 120-122 cm	0,4019	1,0352	0,2666	0,3961	0,4572	0,0906	1,7234

Fluxo de metais disponíveis ($\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1} \times 10^3$) para o testemunho S6.

$F_m D (\text{mg cm}^{-2} \text{a}^{-1}) \times 10^3$							
Profund.	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S6 - 0-2cm	3,53	8,85	4,08	3,42	5,95	1,32	23,89
S6 - 6-8cm	3,03	8,83	4,70	3,60	6,02	1,38	27,28
S6 - 8-10cm	2,16	8,16	3,86	3,58	5,01	1,29	22,37
S6 - 10-12cm	1,86	6,16	3,02	2,71	3,93	0,95	16,79
S6 - 12-14cm	1,42	4,72	2,42	2,16	3,22	0,74	13,34
S6 - 14-16cm	1,63	4,57	2,41	1,96	3,25	0,73	12,76
S6 - 16-18cm	2,48	9,23	4,53	3,64	5,76	1,42	27,30
S6 - 18-20cm	3,75	9,62	4,82	4,16	6,28	1,50	27,87
S6 - 20-22cm	1,47	4,37	2,17	1,84	3,10	0,68	11,94
S6 - 22-24cm	0,85	2,52	1,13	1,05	1,59	0,39	7,00
S6 - 24-26cm	2,02	5,46	2,61	2,22	3,57	0,81	15,17
S6 - 32-34cm	2,61	7,77	3,62	3,29	4,87	1,19	20,11
S6 - 34-36cm	0,74	3,02	1,52	1,35	1,84	0,47	8,60
S6 - 36-38cm	1,66	3,28	1,58	1,35	2,29	0,48	9,48
S6 - 38-40cm	2,23	4,89	1,95	1,95	2,89	0,69	12,63
S6 - 40-42cm	1,57	4,59	2,01	1,60	2,95	0,58	13,58
S6 - 46-48cm	2,51	5,67	2,88	2,28	3,98	0,84	18,01
S6 - 50-52cm	2,32	6,05	2,74	2,58	4,27	0,86	18,38
S6 - 54-56cm	1,00	3,31	1,65	1,35	2,54	0,50	9,30
S6 - 58-60cm	1,06	3,01	1,50	1,35	2,13	0,48	8,82
S6 - 60-62cm	0,42	1,17	0,52	0,51	0,78	0,18	3,07
S6 - 70-72cm	0,24	0,64	0,27	0,27	0,42	0,09	2,04
S6 - 80-82cm	0,11	0,31	0,14	0,13	0,22	0,05	0,85
S6 - 90-92cm	0,02	0,05	0,02	0,02	0,04	0,01	0,14

Fluxo de metais residuais (mg cm⁻² a⁻¹ x 10³) para o testemunho S1.

F_mR (mg cm⁻² a⁻¹)x 10³							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S1 4-6 cm	0,918	2,769	0,151	0,703	0,812	0,639	4,128
S1 8-10 cm	5,118	5,773	0,629	1,578	3,095	0,273	10,418
S1 12-14 cm	2,493	4,622	4,420	2,241	4,739	0,451	70,031
S1 16-18 cm	6,553	11,922	3,432	2,718	-0,017	1,649	47,160
S1 20-22 cm	8,489	19,864	3,660	4,819	6,359	-3,707	21,886
S1 24-26 cm	0,854	2,972	0,949	0,754	0,645	0,625	5,903
S1 28-30 cm	3,085	6,954	2,086	1,767	2,542	-1,094	8,855
S1 40-42 cm	6,529	14,703	3,313	4,842	0,764	2,796	17,075
S1 44-46 cm	1,105	4,413	0,986	1,314	0,573	0,872	9,422
S1 48-50 cm	1,847	4,955	1,248	1,642	0,924	0,675	6,309
S1 52-54 cm	1,451	4,163	0,950	1,383	0,662	0,881	4,215
S1 56-58 cm	0,723	3,199	0,762	1,005	0,349	0,716	4,061
S1 60-62 cm	1,727	6,234	1,445	2,121	0,179	1,443	5,924
S1 80-82 cm	0,200	7,184	1,811	2,323	0,815	-0,683	8,065
S1 100-102 cm	0,507	3,266	0,938	0,939	0,306	-0,139	3,886
S1 120-122 cm	1,305	2,816	0,729	0,803	0,256	0,537	2,907

Fluxo de metais residuais (mg cm⁻² a⁻¹ x 10³) para o testemunho S2.

F_mR (mg cm⁻² a⁻¹)x 10³							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S2 - 0-2 cm	-1,61	9,77	3,93	4,24	2,84	-0,69	11,30
S2- 4-6 cm	0,01	6,52	1,83	2,19	1,00	1,29	4,46
S2- 8-10 cm	-0,13	3,08	0,87	0,97	0,76	0,43	2,30
S2 -12-14 cm	0,47	3,68	5,15	1,49	1,03	0,18	4,87
S2- 16-18 cm	0,06	3,46	1,05	1,47	1,01	-0,24	4,11
S2- 20-22 cm	0,42	2,76	0,62	0,84	0,54	0,56	1,27
S2- 28-30 cm	0,00	1,77	0,50	2,67	0,66	-0,19	1,01
S2- 32-34 cm	0,14	2,40	0,61	0,82	0,81	0,39	2,22
S2- 36-38 cm	-0,21	1,22	0,33	0,38	0,29	0,00	-0,35
S2- 44-46 cm	-0,39	1,66	0,32	0,55	0,28	0,24	-0,46
S2- 48-50 cm	0,49	3,28	1,13	1,03	1,39	0,49	2,99
S2- 52-54 cm	0,41	1,69	0,52	0,41	0,69	0,04	2,03
S2- 80-82 cm	0,39	2,89	0,96	1,00	0,49	0,47	3,67
S2- 100-102 cm	0,04	0,01	0,06	-0,21	-0,63	0,24	-1,99
S2- 112-114 cm	0,31	6,02	1,92	1,83	1,76	0,73	8,04
S2- 120-122 cm	0,46	1,99	0,83	0,54	0,64	0,59	1,98
S2- 132-134 cm	0,11	1,81	0,58	0,63	-8,78	0,08	1,10
S2- 140-142 cm	-0,09	0,44	0,11	0,14	0,20	-0,11	0,51

Fluxo de metais residuais (mg cm⁻² a⁻¹ x 10³) para o testemunho S3.

F_mR (mg cm⁻² a⁻¹)x 10³							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S3- 4-6 cm	6,6907	19,2949	4,1254	3,5589	10,5616	-78,5198	49,0973
S3- 8-10 cm	2,6848	5,2719	-2,7685	0,1894	2,9378	-62,4323	78,3829
S3- 12-14 cm	9,6051	17,7310	2,9714	4,7962	10,7805	-80,0211	39,8191
S3- 16-18 cm	6,5171	3,4924	1,5048	2,3554	4,4071	-28,2499	10,1358
S3- 24-26 cm	11,3809	18,5665	1,1567	7,7667	6,6793	-86,4668	15,6657
S3- 28-30 cm	5,6879	8,1499	2,6969	4,3449	2,1027	-34,5420	8,0546
S3- 32-34 cm	7,2698	6,1505	1,6372	2,1732	3,1134	-37,3333	9,0088
S3- 36-38 cm	2,9341	0,5350	0,1580	0,9651	0,8649	-33,1795	3,7013
S3- 52-54 cm	11,6849	8,8965	1,0403	2,7604	3,1646	-47,9364	178,8677
S3- 72-74 cm	2,5871	6,9335	0,7767	2,2527	1,1705	-27,5195	8,4571
S3- 80-82 cm	3,0184	4,0536	1,1063	1,7447	1,3559	-13,6812	5,0872
S3- 100-102 cm	0,7604	0,8272	0,1658	0,3562	0,2340	-3,9166	0,8690

Fluxo de metais residuais (mg cm⁻² a⁻¹ x 10³) para o testemunho S4.

F_mR (mg cm⁻² a⁻¹)x 10³							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S4 - 0-2 cm	0,4485	1,7042	0,6276	0,5247	0,6104	0,3796	3,0075
S4- 4-6 cm	1,1699	4,1480	1,5228	1,2516	1,5110	0,5183	5,5730
S4- 8-10 cm	-0,3625	5,6476	2,3177	1,9385	1,8777	0,1850	10,3819
S4 -12-14 cm	-0,7682	6,8627	2,6155	2,2537	2,2017	0,3051	7,3980
S4- 16-18 cm	0,6168	9,6795	3,1165	2,8312	3,2199	0,0275	11,0112
S4- 20-22 cm	-0,2348	3,4887	1,1204	1,2429	0,8634	0,1556	3,8029
S4- 28-30 cm	0,7980	3,6853	1,5737	0,6211	1,2741	0,5408	15,9816
S4- 32-34 cm	-1,5708	3,2915	2,1891	0,6209	1,8867	1,0784	11,8642
S4- 36-38 cm	-0,0287	9,3346	3,6065	2,4321	2,6656	1,9878	16,9177
S4- 44-46 cm	-0,2882	5,0099	1,6856	1,6555	2,6366	-1,2658	5,1752
S4- 48-50 cm	1,8907	4,8510	1,9176	1,3958	2,2889	1,0535	7,7782
S4- 52-54 cm	-3,5866	-5,3024	-0,6574	-2,5451	-0,6857	-0,3607	-6,6429
S4- 80-82 cm	1,6279	6,1123	2,3062	1,4014	1,8922	0,8418	12,7708
S4- 100-102 cm	-0,3590	1,6536	0,6986	0,3186	0,7355	-0,0334	3,8041
S4- 112-114 cm	-0,4347	0,9219	0,5024	0,2634	0,5476	-0,0160	2,8505
S4- 120-122 cm	-0,2144	0,1827	0,1344	0,0103	0,1395	0,0560	0,4378
S4- 132-134 cm	0,3154	0,7116	0,2133	0,1572	0,2138	0,0671	0,9439

Fluxo de metais residuais (mg cm⁻² a⁻¹ x 10³) para o testemunho S5.

F_mR (mg cm⁻² a⁻¹)x 10³							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S5-0-2cm	2,9854	17,7514	1,6680	5,6246	3,5891	2,1798	18,2742
S5-4-6cm	4,2142	12,7965	1,3001	5,0339	2,9326	1,6659	18,3903
S5-8-10cm	1,7529	29,2803	-3,4151	10,1282	5,2113	2,6123	35,5652
S5-12-14cm	4,4162	9,5276	1,4461	3,5379	2,4835	1,4772	16,1082
S5-16-18cm	10,2328	23,9104	12,9550	11,4348	7,5619	2,7148	47,4811
S5-20-22cm	51,8235	88,7906	8,1180	33,2003	17,3163	7,3929	112,3474
S5-24-26cm	2,8239	12,4085	1,2801	4,2031	2,8324	0,5300	13,9156
S5-28-30cm	2,2020	13,9002	1,4011	4,5216	2,3916	1,8048	15,0849
S5-32-34cm	36,1352	44,7584	4,6903	15,0536	14,1856	5,0389	55,0987
S5-36-38cm	7,5079	11,3901	0,9997	3,8400	3,0166	1,1962	13,7176
S5-40-42cm	2,2025	12,9093	1,5396	4,0198	1,5064	1,5412	16,6922
S5-44-46cm	-3,1644	12,6358	1,8881	4,8827	-2,1276	1,4441	15,6692
S5-48-50cm	1,7472	-6,4287	-2,2281	-2,6090	1,9015	0,0103	-12,6596
S5-52-54cm	3,0089	20,3805	2,9583	9,7397	3,5176	2,7926	44,5221
S5-56-58cm	4,3970	24,5032	4,1734	10,0470	2,4434	1,1723	36,7182
S5-68-70cm	1,2731	0,4084	0,4052	0,1575	0,5215	0,3906	0,9146
S5-88-90cm	0,4698	1,3165	0,2499	0,4179	0,2279	0,2747	1,6207

Fluxo de metais residuais (mg cm⁻² a⁻¹ x 10³) para o testemunho S6.

F_mR (mg cm⁻² a⁻¹)x 10³							
Profundidade	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Sc	Zn
S6 - 0-2 cm	0,79	8,63	3,66	1,86	4,78	1,33	14,58
S6- 8-10 cm	0,53	-1,30	-0,48	-0,97	-0,83	-0,11	-5,43
S6 -12-14 cm	1,65	3,90	1,36	1,13	1,42	0,69	6,45
S6- 16-18 cm	2,11	6,46	3,38	1,32	4,90	1,06	7,98
S6- 20-22 cm	-0,08	1,90	3,43	0,69	1,28	0,22	18,45
S6- 24-26 cm	3,44	7,62	4,27	2,94	4,79	1,43	21,75
S6- 32-34 cm	5,07	5,79	2,93	1,34	8,24	0,74	31,93
S6- 36-38 cm	0,63	2,10	1,13	0,71	1,43	0,46	5,18
S6- 40-42 cm	6,34	3,85	1,68	1,36	2,70	0,77	3,74
S6- 60-62 cm	0,89	1,07	0,52	0,37	0,66	0,20	1,98
S6- 80-82 cm	0,24	0,32	0,13	0,11	0,17	0,05	0,51

Fluxo de mercúrio ($\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^5$) para os testemunhos estudados.

Fluxo de Hg ($\text{mg cm}^{-2} \text{ a}^{-1} \times 10^5$)						
Profundidade	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0-2 cm	-	29,553	46,035	3,354	7,078	4,062
4-6 cm	7,301	29,184	114,917	-	5,246	-
8-10 cm	3,330	27,959	438,979	6,117	19,382	3,718
12-14 cm	6,622	33,261	174,870	2,608	4,754	2,656
16-18 cm	15,359	89,008	16,794	1,970	9,076	3,464
20-22 cm	8,845	81,164	17,827	4,350	27,925	1,695
24-26 cm	1,852	-	11,273	1,509	1,359	2,258
28-30 cm	9,205	23,932	4,815	0,247	1,609	-
32-34 cm	-	12,446	3,672	3,858	8,097	2,877
36-38 cm	-	11,726	5,846	4,613	1,578	1,209
40-42 cm	6,767	12,574	15,256	2,103	1,217	2,065
50-52 cm	2,051	8,788	5,420	-	8,199	3,612
60-62 cm	2,357	-	-	0,567	1,928	0,790
70-72 cm	-	-	2,883	-	0,681	0,269
80-82 cm	2,653	1,279	1,323	0,338	0,729	0,249
90-92 cm	1,233	-	0,554	0,259	0,172	0,029
100-102 cm	0,610	2,099	0,546	-	-	-
120 -122 cm	0,521	1,782	-	-	-	-
140 -142 cm	0,521	0,395	-	-	-	-

Valores de Carbono orgânico total, Nitrogênio orgânico total e isótopos de C para os testemunhos S1, S2 e S3.

Profundidade	S1				S2				S3			
	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N
0-2 cm	0,7118	-25,5270	0,1416	5,0272	4,0064	-25,2930	0,2760	14,5161	0,3695	-23,6170	0,0816	4,5289
4-6 cm	1,2025	-26,1640	0,1166	10,3158	3,6207	-25,4990	0,2741	13,2096		-24,9610		10,0500
8-10 cm	2,4932	-27,7820	0,1010	24,6940	3,5026	-25,4160	0,2685	13,0433	2,0146	-25,6280	0,0593	33,9837
10-12 cm									0,6860	-25,7860	0,0591	11,6013
12-14 cm	3,4877	-27,3400	0,1300	26,8387	3,2010	-25,2210	0,2501	12,8010	2,8004	-27,1090	0,0778	36,0164
16-18 cm	2,1725	-25,6020	0,1283	16,9389	3,5151	-25,5480	0,2575	13,6513	2,1500	-26,4930	0,2038	10,5496
20-22 cm	0,8429	-25,1420	0,1019	8,2747	3,7116	-25,6940	0,2641	14,0521		-26,5315		10,0500
24-26 cm	1,1198	-24,6770	0,0821	13,6395	4,0507	-25,4000				-26,5515		10,0000
28-30 cm	1,5612	-26,1810	0,0785	19,8898	3,2303	-25,6280	0,2578	12,5306	3,3070	-26,4920	0,1324	24,9708
32-34 cm	0,7885	-24,0730	0,1190	6,6271	2,5596	-25,6660	0,2231	11,4737	2,4448	-26,6630	0,1165	20,9858
36-38 cm	1,0376	-24,1140	0,1161	8,9386	3,8507	-25,8090	0,2507	15,3596	1,6028	-26,9670	0,1541	10,4018
40-42 cm	1,4816	-24,9090	0,1225	12,0984	3,6572	-25,7460	0,2315	15,8010	2,9421	-26,6630	0,1528	19,2494
44-46 cm	1,0724	-24,1780	0,1180	9,0876	4,1375	-26,1520	0,2436	16,9849	2,0775	-26,9080	0,1250	16,6230
48-50 cm	2,1426	-24,0980	0,1264	16,9486	4,0003	-26,1200	0,2376	16,8384	1,7531	-26,7810	0,1517	11,5576
52-54 cm	1,6055	-24,2190	0,1236	12,9848	4,2294	-26,1290	0,2434	17,3771	2,9134	-27,4360	0,1289	22,6098
56-58 cm	1,5653	-24,2470	0,1135	13,7868	4,9320	-26,0980	0,2598	18,9852	2,0631	-27,1550	0,1322	15,6009
60-62 cm	2,0921	-24,0580	0,1216	17,2077	5,5875	-26,2660	0,2796	19,9861	1,8164	-26,7340	0,1431	12,6947
64-66 cm	1,6196	-24,3340	0,1173	13,8017	5,3855	-26,1560	0,2889	18,6397	1,6695	-27,3560	0,1162	14,3627
68-70 cm	2,7404	-24,6070	0,1148	23,8645	5,3272	-26,1060	0,2903	18,3491	1,2614	-27,0650	0,1550	8,1366
72-74 cm	1,3802	-23,9030	0,1326	10,4055	4,8875	-26,2050	0,2840	17,2119	1,1915	-27,1040	0,0975	12,2177
76-78 cm	1,2791	-23,6680	0,1119	11,4275	5,7818	-26,2450	0,2867	20,1698	1,2220	-27,0860	0,1303	9,3820
80-82 cm	1,3137	-23,8100	0,1181	11,1265	5,5647	-26,4060	0,2853	19,5071	1,2155	-27,2570	0,0946	12,8446
84-86 cm	1,6864	-23,9560	0,1250	13,4865	5,7243	-26,6610	0,2831	20,2204	0,9745	-27,2210	0,0816	11,9435
88-90 cm	1,4495	-23,6560	0,1158	12,5186	5,4725	-26,7200	0,2920	18,7417	1,3738	-27,1020	0,0871	15,7676
92-94 cm	1,6528	-24,1580	0,1272	12,9944	4,9824	-26,7480	0,2814	17,7046	0,4248	-27,0350	0,0877	4,8457
96-98 cm	1,3794	-23,6230	0,1256	10,9824	5,2253	-26,8130	0,2872	18,1960	1,3216	-27,0560	0,0736	17,9639
100-102 cm	1,2410	-23,2440			4,6783	-26,2800	0,2780	16,8307	2,4003	-26,5890	0,1205	19,9270
104-106 cm	1,1875	-24,4280	0,1123	10,5782	4,2981	-25,9590	0,2767	15,5359	2,1986	-27,0430	0,1156	19,0165
108-110 cm	1,0793	-24,1130	0,1159	9,3098	5,4951	-26,7130	0,2885	19,0442	2,4389	-27,1450	0,1305	18,6877
112-114 cm	1,1154	-23,5520	0,1112	10,0296	4,4999	-25,9020	0,2793	16,1111	2,9243	-26,9960	0,1296	22,5701
116-118 cm	1,4199	-24,0180	0,1207	11,7665	4,5240	-26,4320	0,2744	16,4850	3,6777	-26,9950	0,1805	20,3718

Valores de Carbono orgânico total, Nitrogênio orgânico total e isótopos de C para os testemunhos S1, S2 e S3 (continuação).

Profundidade	S1				S2				S3			
	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N
120-122 cm					4,1810	-26,9200	0,2770	15,0937	3,6604	-27,0450	0,1581	23,1507
124-126 cm	1,3990	-24,1690	0,1326	10,5473	3,6614	-26,1060	0,2716	13,4786	2,6178	-27,0030	0,1591	16,4566
128-130 cm	1,3899	-23,9640	0,1289	10,7844	3,8141	-26,1000	0,2774	13,7481	2,2401	-27,3000	0,1766	12,6832
130-132 cm	1,2649	-22,9710	0,1299	9,7404	4,3662	-27,3250	0,2383	18,3259	1,8574	-27,5990	0,1583	11,7334
136-138 cm	1,6373	-24,4080	0,1322	12,3820	2,0039	-26,5880	0,2421	8,2771				
140-142 cm	1,2362	-23,3660	0,1319	9,3735	3,1633	-26,2980	0,2409	13,1285				
144-146 cm	1,4643	-24,0430	0,1295	11,3040	3,2531	-26,4040	0,2283	14,2468				
148-150 cm	1,3179	-23,8850			3,6560	-26,9220	0,2161	16,9207				
152-154 cm					2,1425	-26,2450	0,0839	25,5395				
156-158 cm					5,4900	-26,8500	0,2220	24,7301				
160-162 cm					1,9597	-26,9330	0,1958	10,0085				
164-166 cm					3,1752	-26,8600	0,2109	15,0568				
168-170 cm					2,0427	-27,1260	0,1799	11,3559				
172-174 cm					3,3114	-27,7210						

Valores de Carbono orgânico total, Nitrogênio orgânico total e isótopos de C para os testemunhos S4, S5 e S6.

Profundidade	S4				S5				S6			
	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N
0-2 cm	13,3841	-26,1750	0,2892	46,2855	1,4185	-27,0510	0,0873	16,2569	0,9488	-25,2160	0,0836	11,3528
4-6 cm	4,7331	-27,1470			1,1558	-26,7400	0,1080	10,7054	0,4855	-25,9450	0,1193	4,0706
8-10 cm	14,1516	-27,0590	0,2236	63,2860	0,9053	-26,7920	0,1439	6,2918	1,0662	-25,4960	0,1276	8,3560
10-12 cm	3,7318	-27,0890	0,3012	12,3887	0,7308	-26,3920	0,1426	5,1250	0,6187	-25,9970	0,1009	6,1294
12-14 cm	8,3139	-26,8120	0,4128	20,1425	0,5468	-26,8030	0,1103	4,9593	1,1557	-26,5520	0,1381	8,3699
16-18 cm	3,1438	-26,6540	0,3347	9,3934	1,9983	-26,3860	0,1614	12,3788	1,4025	-25,3970	0,1554	9,0240
20-22 cm	7,2803	-26,5390	0,2346	31,0321	1,3307	-26,0120	0,0784	16,9691	0,4867	-25,8070	0,0824	5,9093
24-26 cm	3,1180	-26,2640	0,1394	22,3741	11,5018	-25,8350	0,0821	#REF!	7,4935	-32,1020	0,1040	72,0859
28-30 cm	1,6501	-26,4830	0,1027	16,0608	4,4252	-26,7850	0,1209	36,5964	0,6099	-26,2310	0,0708	8,6125
32-34 cm	1,7865	-25,9550	0,1440	12,4059	2,0036	-25,9200	0,0995	20,1364	0,4911	-25,2510	0,0981	5,0067
36-38 cm	2,3002	-26,4140	0,1113	20,6736	7,4951	-27,2550	0,1757	42,6545	6,2262	-32,1020	0,1727	36,0480
40-42 cm	5,2839	-26,3930	0,0694	76,1685	4,1951	-26,9490	0,1877	22,3549	0,3234	-25,7050	0,1659	1,9494
44-46 cm	0,8625	-25,7890	0,0754	11,4354	3,3815	-26,9130	0,1781	18,9917	0,3151	-25,8690	0,0733	4,2970
48-50 cm	1,1275	-25,7970	0,0792	14,2380	2,0887	-26,7000	0,0931	22,4388	5,9025	-32,1020	0,0813	72,6400
52-54 cm	1,1260	-25,7340	0,0807	13,9543	3,4793	-26,6490	0,1251	27,8155	0,3926	-25,8100	0,0930	4,2215
56-58 cm	1,1271	-25,5990	0,0933	12,0805	2,6340	-25,9940	0,0957	27,5347	0,3562	-25,0010	0,1182	3,0130
60-62 cm	1,4768	-25,7970	0,0790	18,6894	2,2683	-25,6720	0,1187	19,1065	1,8122	-26,2480	0,0711	25,4704
64-66 cm	0,7296	-25,5850	0,0846	8,6249	4,2011	-26,7710	0,1342	31,3061	0,4312	-25,9330	0,0847	5,0900
68-70 cm	0,5700	-25,5370	0,0623	9,1546	2,4613	-25,1610	0,1651	14,9077	6,4194	-32,1020	0,1682	38,1651
72-74 cm	0,9001	-25,8500	0,0709	12,6998	2,0686	-25,2040	0,1366	15,1446	0,6652	-25,5830	0,1521	4,3727
76-78 cm	1,0466	-25,7120	0,0755	13,8686	3,7860	-26,1780	0,1940	19,5150	0,4234	-25,8160	0,0577	7,3431
80-82 cm	1,3985	-25,7680	0,0782	17,8935	4,4170	-25,7430	0,1913	23,0941	0,6694	-25,4850	0,1229	5,4446
84-86 cm	0,9584	-25,0690	0,0746	12,8412	2,1175	-25,4700	0,1815	11,6662	1,3589	-25,6900	0,1429	9,5099
88-90 cm	1,0263	-25,5210	0,0458	22,4091	2,0713	-25,7800	0,1533	13,5087	0,5840	-26,7860	0,1465	3,9874
92-94 cm	0,3941	-25,5730	0,0474	8,3102	1,6369	-25,2990	0,1531	10,6928	0,6965	-25,5280	0,1664	4,1853
96-98 cm	0,5643	-25,2420	0,0449	12,5613	1,8553	-25,2350	0,1128	16,4409	1,0116	-25,5760	0,1051	9,6248
100-102 cm	1,0332	-25,4520	0,0448	23,0427	1,9128	-24,7310	0,1359	14,0780	0,3660	-25,6860		
104-106 cm	0,5313	-24,8720	0,0858	6,1921	1,4429	-24,8390	0,1022	14,1242	0,2662	-25,7050	0,0726	3,6670
108-110 cm	0,8647	-24,9090	0,1119	7,7292	1,6387	-24,7900	0,1161	14,1096	0,3070	-25,9370	0,0454	6,7615
112-114 cm	2,1406	-24,9210	0,1139	18,7906	1,8826	-24,8550	0,1248	15,0871	0,3156	-26,0670	0,0469	6,7233
116-118 cm	0,5071	-25,2910	0,1038	4,8868	1,9429	-24,9390	0,1238	15,7001	0,0499	-26,0950	0,0581	0,8592

Valores de Carbono orgânico total, Nitrogênio orgânico total e isótopos de C para os testemunhos S4, S5 e S6 (continuação).

Profundidade	S4				S5				S6			
	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N	COT	d13C/12C	% N Total	C/N
120-122 cm	0,3443	-25,6320	0,0590	5,8341	2,0459	-24,7070	0,1555	13,1563	5,9139	-32,1020	0,0514	115,0277
124-126 cm	1,0433	-24,9970	0,1171	8,9114	2,3677	-25,2360	0,1343	17,6348	0,2647	-24,5070	0,0404	6,5555
128-130 cm	0,8103	-24,9730	0,0677	11,9619	5,1742	-26,6330	0,4237	12,2116				
130-132 cm	1,0955	-25,3820	0,0848	12,9154	2,3240	-26,2380	0,2503	9,2850				
136-138 cm	0,2975	-25,0180	0,0838	3,5516	1,6515	-26,7440	0,3247	5,0857				
140-142 cm	0,4814	-25,0810	0,0907	5,3056	0,6798	-26,1270	0,2982	2,2799				
144-146 cm	0,4611	-25,6550	0,0957	4,8211	1,8058	-26,5830	0,2484	7,2701				
148-150 cm	0,6545	-25,7320	0,0915	7,1543	4,5894	-26,2550	0,2834	16,1967				
152-154 cm	0,8627609	-25,028	0,1037607	8,31491	4,3444	-26,4150	0,3267	13,2979				
156-158 cm	0,9956489	-25,282	0,1131715	8,7977001	2,1282	-25,9790	0,1455	14,6218				
160-162 cm	1,4915646	-25,297	0,0665246	22,421249	3,2801	-25,6450	0,1587	20,6621				
164-166 cm	1,0394092	-25,175	0,1396645	7,4421864	1,9956	-24,4450	0,1752	11,3885				
168-170 cm	0,4323446	-24,343	0,0617488	7,0016679	2,3192	-24,6960	0,1857	12,4872				
172-174 cm	7,261052	-32,102	0,079442	91,40067	2,6881	-25,1770	0,2079	12,9269				
180-182 cm	1,0594682	-24,849	0,0762963	13,886233	2,4980	-25,0570	0,1726	14,4744				
188-190 cm	0,5054629	-25,303	0,0878414	5,7542674	1,9065	-24,7190	0,1853	10,2899				