

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

RENATO ALESSANDRO LOPES

**Extração seqüencial de metais pesados em sedimentos de
fundo ao longo do rio Tietê (SP): Partição entre as fases lábil e
residual**

**PIRACICABA
2010**

RENATO ALESSANDRO LOPES

**Extração seqüencial de metais pesados em sedimentos de
fundo ao longo do rio Tietê (SP): partição entre as fases lábil e
residual**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Química na Agricultura e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mortatti

PIRACICABA

2010

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Lopes, Renato Alessandro

Extração seqüencial de metais pesados em sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP): partição entre as fases lábil e residual / Renato Alessandro Lopes; orientador Jefferson Mortatti. - - Piracicaba, 2010.

179 f.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Água fluvial – Rio Tietê (SP) 2. Biodisponibilidade 3. Efluentes 4. Resíduos sólidos domésticos 5. Sedimentologia fluvial I. Título

CDU 551.3.051:556.52

Ofereço a meus pais

Luiz Antonio Lopes e

Florisbela Pereira Lopes

Com muito amor e gratidão

Dedico

Ao meu irmão Fabio Fernando Lopes (in memoriam)

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Jefferson Mortatti, que sempre esteve disposto a ajudar, explicar e corrigir minhas dificuldades e pela confiança em minha pessoa.

Ao pesquisador Frances, Dr. Christophe Hissler, do Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann pelo apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang pela sua colaboração no protocolo analítico do projeto e a técnica química Mirtis Malagutti no auxílio das análises das amostras no Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Aplicada, UNESP, Rio Claro.

Aos pesquisadores do Laboratório de Isótopos Estáveis, Drs. José Albertino Bendassolli, Paulo Cesar Ocheuze Trivelin e Helder de Oliveira pelo apoio a mim despendido na forma de sugestões e ótimas condições de trabalho.

As companheiras Juliana Gonzales Gragnani e Graziela Meneghel de Moraes, pelo valoroso e indiscutível apoio nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos amigos do curso de Pós-graduação Henrique Coutinho Junqueira Franco, Rafael Otto, Carlos Roberto Sant'ana Filho, João Paulo Rambelli Bibian, Alexandre Martins Fernandes, Murilo Basso Nolasco, Diego Vendramini pelo convívio e amizade.

Aos funcionários do laboratório de isótopos estáveis do Centro de Energia Nuclear da Universidade de São Paulo Miguel Luis Balssin (Engenheiro Químico), Hugo Henrique Batagello (Químico industrial) e o José Aurélio Bonassi (Químico).

À Marília Ribeiro Garcia Henyei, pela normatização das referências bibliográficas e pela amizade, e às funcionárias de circulação e empréstimo, pela amizade e dedicação no atendimento.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo (CENA-USP) que possibilitou a realização do curso de mestrado e todo o corpo docente da CPG/CENA, pelos ensinamentos nesta minha formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos concedida para a realização deste trabalho.

Agradeço também a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Nós, cientistas, acreditamos que o que nós e nossos semelhantes fizermos ou deixarmos de fazer nos próximos anos determinará o destino de nossa civilização. E consideramos nossa tarefa explicar incansavelmente essa verdade, ajudar as pessoas a perceber tudo o que está em jogo, e trabalhar, não para contemporizar, mas para aumentar o entendimento e conseguir, finalmente, a harmonia entre os povos e nações de diferentes pontos de vista”.

Albert Einstein

“E o Tietê deu a São Paulo tudo quanto possuía: o ouro das areias, a força das águas, a fertilidade das terras, a madeira das matas, os mitos do sertão. Despiu-se de todo encanto e de todo mistério; despoetizou-se e empobreceu por São Paulo e pelo Brasil.”

Alcântara Machado

RESUMO

LOPES, R. A. **Extração seqüencial de metais pesados em sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP)**: partição entre as fases lábil e residual. 2010. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

O presente estudo objetivou uma avaliação sobre os principais metais pesados Co, Cr, Cu, Zn, Cd, Ni e Pb presentes nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP), em doze estações de amostragem considerando as distribuições desses metais em perfis de profundidades. O método utilizado foi a da extração seqüencial seletiva em quatro frações (solúvel + trocável, ácido solúvel ou carbonatos, óxidos de ferro e manganês e matéria orgânica) dentro da fase lábil, contando ainda com a determinação da fase residual através da fusão alcalina, e visando complementar o estudo utilizou-se da técnica de Sulfetos Volatilizados por ataque Ácido (AVS) com Extração Simultânea de Metais Pesados (SEM). Os resultados obtidos com a extração seqüencial, para a estação de Pirapora, no alto Tietê foram de 47% de biodisponibilidade de Cu, sendo este principalmente associada à matéria orgânica e 85% de biodisponibilidade de Zn, nas fases dos óxidos de Fe e Mn e ácido solúvel. Já no médio Tietê, altas concentrações de Cu também puderam ser observadas apresentando percentuais de biodisponibilidade de 46 e 65%, respectivamente para as estações de Tietê e Anhembi. Para as estações do baixo rio Tietê, próximas à foz, Nova Avanhandava e Três Irmãos, resultados similares puderam ser observados, com elevadas concentrações de metais pesados, de origem antrópica nessa região e no caso do Cu em particular, como controle de algas nesses reservatórios. Com relação ao método da extração simultânea de metais (SEM) e AVS empregados na avaliação da biodisponibilidade dos principais metais pesados nos sedimentos ao longo da bacia do rio Tietê, foi possível confirmar os resultados obtidos da extração seqüencial, sendo verificados prováveis efeitos de toxicidade de Zn, Cu e Cr nos sedimentos das estações de Tietê e Anhembi, no médio Tietê e efeitos ainda incertos de toxicidade de Cu, Zn e Co nos sedimentos próximos a foz do rio Tietê, em Nova Avanhandava e Três Irmãos. As diferenças observadas nos potenciais de extração entre os métodos utilizados evidenciaram que na maioria dos casos o método AVS correspondeu à fração S2 da extração sequencial seletiva para amostras de baixos teores de silte/argila e à fração S3 para amostras com elevados teores de silte/argila, ficando evidente que o caráter de biodisponibilidade de metais pesados para ambos os métodos utilizados apresentaram interpretações diferentes e discutíveis.

Palavras-chaves: Biodisponibilidade, metais pesados, sedimentos, rio Tietê

ABSTRACT

LOPES, R. A. **Sequential extraction of heavy metals in bottom sediments along the Tiete River (SP):** partitioning between labile and residual phases. 2010. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

The study aimed to evaluate the main heavy metals (Co, Cr, Cu, Zn, Cd, Ni and Pb) present in bottom sediments along Tietê River, São Paulo state, Brazil, in twelve sampling stations, considering the distributions of these metals in profiles depths. The methods were sequential selective extraction in four fractions (soluble + exchangeable, soluble acid or carbonates, iron and manganese oxides and organic matter) in the labile phase and, alkaline fusion in the residual phase. A complementary study based on acid volatile sulfide (AVS) with simultaneous heavy metal extraction (SEM) was conducted. The results showed 47% of Cu bioavailability, for Pirapora station, high Tietê, which is mainly associated with organic matter and, 85% of Zn bioavailability, in Fe and Mn oxides and acid soluble phases. In middle Tietê, high concentrations of Cu could be observed, showing a bioavailability percentage of 46 and 65% for Tietê and Anhembi stations, respectively. For low Tietê stations, Nova Avanhandava and Três Irmãos, similar results were observed with high heavy metal concentrations of anthropogenic origin and, in particular for Cu, to control algae in these reservoirs. Regarding the complementary study, AVS and SEM confirmed the sequential extraction results, identifying possible toxicity effects of Zn, Cu and Cr in sediments of Tietê and Anhembi stations, in middle Tietê. However, the toxicity effects were uncertain for Cu, Zn and Co in sediments near Tietê River mouth, in Nova Avanhandava and Três Irmãos. The differences in extraction potential between the methods showed that, in most cases, AVS corresponded to S2 fraction of the sequential selective extraction for low silt / clay level samples and, S3 fraction for high silt / clay level samples. Thus, the bioavailability character of heavy metals for both methods had different and debatable interpretations.

Keywords: Bioavailability, heavy metals, sediment, Tietê River

LISTA DE FIGURAS

Figura	Legenda	Pg.
1	Localização da bacia de drenagem do rio Tietê, e estações de amostragem: 1- Ponte Nova, 2- Biritiba, 3- Mogi das Cruzes, 4- Pirapora, 5- Tietê, 6- Anhembi, 7- Barra Bonita, 8- Bariri, 9- Ibitinga, 10- Promissão, 11- Nova Avanhandava e 12- Três Irmãos. (Modificado a partir da Agencia Nacional dos Transportes Aquaviários, Antaq, 2007).....	29
2	Principais solos da bacia do rio Tietê. (Modificado a partir de Embrapa, 1999).....	30
3	Principais características geológicas da bacia do rio Tietê. (Modificado de www.geobank.sa.cprm.gov.br).....	32
4	Amostrador de perfil de sedimentos de fundo tipo torpedo: (A) Êmbolo utilizado para retirar a amostra do tubo de PVC. (B) Tubo de PVC para acondicionar a amostra. (C) Amostrador.....	38
5	Alguns tipos de embarcações utilizados durante as amostragens de sedimento de fundo no rio Tietê (SP).....	39
6	Transportes fluviais utilizados nas amostragens de sedimento de fundo no rio Tietê (SP).....	39
7	Transportes terrestres utilizados nas amostragens de sedimento de fundo no rio Tietê (SP).....	40
8	Identificação da posição de cada estação de amostragem com o uso de GPS.....	40
9	(A) Sedimento de fundo coletado em perfil de profundidade, (B) fatiado e acondicionado em placas petri e (C) encaminhamento para processamento analítico.....	41
10	Cadinhos de platina utilizados no processo de fusão alcalina...	42
11	Frascos de polipropileno, de 50 mL, utilizados no acondicionamento das amostras oriundas do processo de fusão alcalina.....	42
12	Frascos de polipropileno (tubos Falcon) de 50 mL contendo as amostras e as respectivas soluções extratoras sob agitação....	45
13	Reagentes utilizados em cada etapa da extração sequencial....	45
14	Amostras prontas para a centrifugação à 3000 rpm por 30 minutos.....	46
15	Amostra centrifugada observa-se o sobrenadante (parte líquida clara) e a amostra precipitada ao fundo.....	46

16	Amostra residual seca a 40 °C sob vácuo após cada etapa da extração.....	46
17	Sistema analítico para a determinação de AVS e extração simultânea de metais pesados em sedimentos de fundo fluvial: 1- cilindro de N ₂ (gás de arraste); 2- retenção de O ₂ do gás de arraste; 3- lavagem do gás de arraste; 4- fluxímetro; 5- reservatório de ácido (HCl); 6- torneira de 3 vias; 7- balão de volatilização/extração (amostra); 8- retenção de excesso de Cl ⁻ ; 9- balão de complexação (AgNO ₃). (MORTATTI ET AL., 2008).....	50
18	Análise granulométrica das areias e teores de silte/argila para as doze estações de amostragem ao longo do rio Tietê.....	54
19	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Ponte Nova, próxima as nascentes do rio Tietê.....	56
20	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Biritiba, próxima as nascentes do rio Tietê.....	57
21	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Mogi das Cruzes, próxima as nascentes do rio Tietê.....	59
22	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Pirapora, parte final do alto rio Tietê.....	60
23	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê.....	61
24	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê.....	63
25	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Barra Bonita, na parte final da bacia do médio rio Tietê.....	64
26	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Bariri, na parte inicial da bacia do baixo rio Tietê....	65

27	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê.....	67
28	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê.....	68
29	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê.....	69
30	Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Três Irmãos, na foz do rio Tietê.....	70
31	Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Ponte Nova e Biritiba, no alto rio Tietê.....	73
32	Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Mogi das Cruzes e Pirapora, no alto rio Tietê.....	77
33	Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Tietê, Anhembi e Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê.....	81
34	Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Bariri, Ibitinga e Promissão, na bacia do baixo rio Tietê.....	86
35	Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Nova Avanhandava e Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê.....	90
36	Variabilidade espacial das concentrações médias dos principais metais pesados extraídos em cada perfil de sedimentos de fundo em suas respectivas estações de amostragem: 1- Ponte Nova, 2- Biritiba, 3- Mogi das Cruzes, 4- Pirapora, 5- Tietê, 6- Anhembi, 7- Barra Bonita, 8- Bariri, 9- Ibitinga, 10- Promissão, 11- Nova Avanhandava e 12- Três Irmãos.....	92
37	Distribuição de Cu nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	94

38	Distribuição de Co nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	96
39	Distribuição de Cr nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	97
40	Distribuição de Zn nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	99
41	Distribuição de Cd nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	100
42	Distribuição de Ni nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	101
43	Distribuição de Pb nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.....	103
44	Variabilidade do Cu biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	104
45	Variabilidade do Co biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	104
46	Variabilidade do Cr biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	105
47	Variabilidade do Zn biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	105
48	Variabilidade do Cd biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	106
49	Variabilidade do Ni biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	107

50	Variabilidade do Pb biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão.....	107
51	Distribuição das fases biodisponível (lábil) e residual para os principais metais pesados, nos perfis médios dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê.....	108
52	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Ponte Nova, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	116
53	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Biritiba, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	118
54	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Mogi das Cruzes, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	121
55	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Pirapora, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	124
56	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	127
57	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	130
58	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	132
59	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Bariri, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	135
60	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	138

61	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	141
62	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	144
63	Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb).....	146
64	Variabilidade espacial do caráter de toxicidade metálica dos sedimentos de fundo amostrados (perfil médio) na bacia do rio Tietê, de acordo com os índices SEM / AVS, SEM – AVS e (SEM-AVS) / Corg.....	148
65	Comparação entre a extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) e a extração seqüencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) das principais espécies químicas nos sedimentos de fundo do alto rio Tietê em Ponte Nova.....	150
66	Comparação entre a extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) e a extração seqüencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) das principais espécies químicas nos sedimentos de fundo do médio rio Tietê em Anhembi.....	152
67	Comparação entre a extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) e a extração seqüencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) das principais espécies químicas nos sedimentos de fundo do baixo rio Tietê na estação Três Irmãos, junto a foz.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela	Legenda	Pg.
1	Localização das estações de amostragem ao longo do rio Tietê, desde a nascente até a foz.....	40
2	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Ponte Nova, na bacia do alto rio Tietê.....	72
3	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Biritiba, na bacia do alto rio Tietê.....	74
4	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Mogi das Cruzes, na bacia do alto rio Tietê.....	75
5	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Pirapora, na bacia do alto rio Tietê.....	76
6	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Tietê, na bacia do médio rio Tietê.....	78
7	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Anhembi, na bacia do médio rio Tietê.....	79
8	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê.....	80
9	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Bariri, na bacia do baixo rio Tietê.....	83
10	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê.....	84

11	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Promissão, na bacia do baixo rio Tietê.....	85
12	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê.....	88
13	Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê.....	89
14	Porcentagens das frações (S1, S2, S3 e S4) fases biodisponível e residual para Si, Al, Fe, Mn, Sr e K nos perfis médios dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê.....	111
15	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Ponte Nova, na parte alta da bacia do rio Tietê.....	114
16	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Biritiba, na parte alta da bacia do rio Tietê.....	117
17	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Mogi das Cruzes, na parte alta da bacia do rio Tietê.....	120
18	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Pirapora, na parte alta da bacia do rio Tietê.....	123
19	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê.....	126
20	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê.....	129

21	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê.....	131
22	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Bariri, na bacia do baixo rio Tietê.....	134
23	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê.....	137
24	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê.....	140
25	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê.....	142
26	Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê.....	145

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3 ÁREA DE ESTUDO	29
3.1 Bacia de drenagem do rio Tietê.....	29
3.2 Solos e vegetação.....	30
3.3 Geologia.....	31
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.1 Equipamentos.....	36
4.2 Vidrarias.....	36
4.3 Reagentes.....	37
4.4 Outros.....	37
4.5 Desenvolvimento metodológico.....	37
4.5.1 Protocolo de Amostragem.....	37
4.5.2 Análise Granulométrica.....	41
4.5.3 Concentrações totais dos metais pesados e principais espécies químicas nos perfis de sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê.....	41
4.5.3.1 Óxidos principais nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê.....	43
4.5.3.2 Variabilidade espacial das concentrações totais dos metais pesados dos sedimentos de fundo na bacia do rio Tietê.....	44
4.5.4 Extração Sequencial Seletiva.....	44
4.5.4.1 Distribuição dos metais pesados entre as principais frações e fases geoquímicas.....	44
4.5.5 Sulfetos Volatilizados por Ataque Ácido (AVS) com Extração Simultânea de Metais Pesados (SEM).....	50
4.5.5.1 Comparação dos critérios de biodisponibilidade de metais....	53
4.5.6 Comparação dos Métodos SEM-AVS (HCl 2M) e Extração Sequencial Seletiva.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1 Análise Granulométrica.....	55

5.2 Concentrações totais dos metais pesados e principais espécies químicas nos perfis de sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê.....	55
5.2.1 Óxidos principais nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê.....	71
5.2.2 Variabilidade espacial das concentrações totais dos metais pesados dos sedimentos de fundo na bacia do rio Tietê.....	91
5.3 Extração seqüencial seletiva.....	92
5.3.1 Distribuição dos metais pesados entre as principais fases e frações geoquímicas.....	92
5.4 Sulfetos Volatilizados por Ataque Ácido (AVS) com Extração Simultânea de Metais Pesados (SEM).....	112
5.4.1 Comparação dos critérios de biodisponibilidade de metais....	147
5.4.2 Comparação dos Métodos SEM-AVS (HCl 2M) e Extração Seqüencial Seletiva.....	148
6 CONCLUSÕES.....	155
REFERENCIAS.....	157
APÊNDICES.....	167

1 INTRODUÇÃO

É inegável e indiscutível que a água seja elemento mais importante e precioso deste planeta, um recurso fundamental para a vida, pois esta intrinsecamente relacionada com a manutenção da vida e do meio ambiente, e através dela que surgiram às primeiras formas de vida.

O homem, desde o aparecimento na terra, sempre estabeleceu um elo forte com a água, principalmente através dos rios, pois estes lhe garantiam vida e alimentos e perpetuação da vida. A cultura egípcia se desenvolveu por meio de uma estreita ligação com o rio Nilo, sendo responsável direto por manter a continuidade de uma das mais antigas culturas que temos registro, como também a civilização fenícia que tinha um plano econômico centralizado no comércio marítimo.

E em virtude da crescente expansão demográfica e industrial, ocorreu um aumento na busca e procura pelos recursos naturais principalmente nas últimas décadas, entre eles a água. Os recursos hídricos apresentam-se de suma importância para a economia, uma vez que muitas atividades (agrícolas, industriais, saneamento, entre outras) dependem desse recurso diretamente, sendo assim, praticamente toda atividade humana constitui uma fonte potencial de contaminantes para os sistemas fluviais e terrestres (MOZETO; ZAGATTO, 2006), e conseqüentemente fazendo crescer os lançamentos e descartes de um grande número de resíduos e substâncias químicas, principalmente de metais pesados em nossos rios.

E nessa conjuntura apresentam-se os sedimentos fluviais que agem como agentes transportadores, e reservatórios desses poluentes, se tornando uma ferramenta útil e de grande valia para a identificação no monitoramento e no controle das fontes poluidoras (FORSTNER, 2004), e em virtude disso têm recebido especial atenção em estudos ecotoxicológicos (WARNKEN et al., 2001).

De acordo com vários autores os metais pesados estão presentes em solos e sedimentos de forma natural com respeito aos aspectos geoquímicos das rochas, erupção vulcânica, lixiviação do solo e as possíveis atividades antropogênicas que afetam a qualidade das águas e dos solos via atividades industriais, agrícolas e efluentes domésticos (LAWS, 1993; MOUNTOURIS et al., 2002). Dessa forma o seu estudo passa a ser de extrema importância, pois constitui uma das grandes

ameaças à qualidade e preservação do meio ambiente e a saúde humana (XIANGDONG et al., 2001).

Medidas de biodisponibilidade e da mobilidade são requeridos para analisar o comportamento de metais pesados em sedimentos visando minimizar sua toxicidade (GISMERA et al., 2004).

Assim sendo, torna-se necessário avaliar o impacto ambiental associado a essas poluições sobre um ecossistema ou sobre uma dada população, de maneira a prevenir tal risco ambiental a médio e curto prazo. Por outro lado, a simples determinação da concentração total do metal pesado no sedimento de fundo fluvial não representa a informação necessária sobre a dimensão da poluição, pois é a forma química do elemento que determina a sua mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade, sendo dessa forma recomendada a introdução do conceito chamado de especiação química.

O Brasil ainda apresenta carência de estudos sobre o comportamento de seus corpos hídricos, principalmente devido às suas dimensões, diferenças geográficas regionais, como também a problemática na questão da poluição (BRAGA et al., 1999).

E nesse contexto a necessidade de estudos e avaliação nas bacias hidrográficas como um todo, se faz necessária como o objetivo e intuito de disponibilizar informações às autoridades e à sociedade, para que problemas atuais sejam solucionados e os futuros sejam evitados.

Diante do exposto o presente trabalho teve por objetivo realizar um estudo detalhado sobre a especiação química dos principais metais pesados e espécies químicas de interesse presentes nos sedimentos de fundo do rio Tietê (SP), considerando as distribuições desses metais em perfis de profundidade, sendo este rio o mais importante para o Estado de São Paulo e tendo um papel de destaque no período dos Bandeirantes, e na eletrificação da cidade de São Paulo. Embora seja um dos rios mais importantes economicamente para o estado de São Paulo e para o país, o rio Tietê ficou mais conhecido pela sua problemática ambiental, devido aos aportes antrópicos despejados no trecho da Grande São Paulo, tendo uma maior contribuição principalmente a partir do processo de industrialização e da expansão demográfica desordenada ocorrida nas décadas de 1940 a 1970.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A problemática dos metais pesados remonta de tempos longínquos desde o Império Romano, onde eram necessárias grandes quantidades de metais pesados, especialmente Pb, Cu e Zn para sustentar o alto padrão de vida daquela sociedade. É sabido que os Romanos utilizavam grandes quantidades de chumbo, na construção de encanamento para o transporte de água (NRIAGU, 1996), sendo assim desconfia-se que o declínio daquele Império ocorreu principalmente por causa dos efeitos danosos causados por este metal.

As primeiras observações sobre os efeitos da poluição em sistemas fluviais e avaliações de seus impactos causados em um ambiente natural, devido à poluição antrópica, datam do início do século XX (SCHAFER, 1985), e podemos considerar o ponto de partida para muitos estudos, principalmente na Europa e América do Norte procurando avaliar causas e efeitos da poluição em ambientes aquáticos.

No Brasil em particular no Estado de São Paulo, ocorreu uma crescente contribuição na degradação ambiental devido principalmente ao adensamento populacional e ao desenvolvimento industrial, que ocorreram de forma acelerada a partir da revolução industrial, gerando profundas transformações econômicas-sociais, sendo um período favorecido pela crise de 1929 (decadência da cafeicultura) e pela Revolução de 1930. A distribuição territorial da indústria brasileira ocorreu de forma concentrada principalmente na cidade de São Paulo, onde possuía grande estrutura para a instalação das indústrias devido à cafeicultura, como também a criação de empresas estatais do setor de base (siderurgia e mineração) através da atuação do estado com o Governo Vargas (CAMPOS, 1988).

Em paralelo a esse pleno desenvolvimento econômico, ocorreu crescente e continua degradação ambiental, onde os resíduos de carvão que moviam as máquinas a vapor e substâncias utilizadas nos processos industriais eram simplesmente descartados na água, no ar e no solo. A expansão demográfica observada, no estado de São Paulo, ocorreu em virtude do desenvolvimento industrial, vindo a contribuir ainda mais com a degradação do meio ambiente onde efluentes urbanos eram descartados em sistemas fluviais sem tratamento prévio, sem considerar os possíveis resultados dessas ações, devendo-se isso principalmente a falta de fiscalização, organização e de responsabilidade.

Um dos poluentes mais prejudiciais e preocupantes causados pela ação do homem ao meio ambiente são os metais pesados, amplamente empregados nas indústrias e na fabricação de produtos. O uso e o descarte sem controle, lançados no meio ambiente, acarreta sérios efeitos de contaminação no ambiente e em organismos vivos (animais e plantas) sendo estes absorvidos e transferidos ao homem através da sua ingestão.

Na vasta literatura encontramos inúmeras definições para o termo “metal pesado”, sendo que algumas delas baseiam-se na densidade atômica, outras no peso ou número atômico, nas propriedades químicas, e muitas vezes, este termo é utilizado a um grupo de elementos como cobre, cobalto, cádmio, cromo, níquel e chumbo.

Alloway e Ayres (1993) consideram metais pesados com densidades atômicas superiores a 6 g cm^{-3} , embora a autores que considerem acima de 4 g cm^{-3} (MELO et al., 1997; MALAVOLTA, 1994).

Metais pesados são elementos quimicamente reativos e bio-acumulativos, e em virtude de sua baixa concentração, são freqüentemente denominados como metais-traço ou elementos-traço (BAIRD, 1998), e participam do ciclo geoquímico global onde a água e os sedimentos fluviais desempenham um papel principal.

De acordo com Duffs (2002), este argumenta contra o uso do termo “metal pesado”, descrevendo 25 definições descritas na literatura para o termo. Embora o autor concluindo que a terminologia não deve ser empregada, e sugerindo uma nova definição embasada na avaliação da toxicidade potencial dos elementos metálicos. Apesar de concordar com o exposto pelo autor, empregarei neste trabalho o termo “metal pesado”, uma vez que ainda não existe um consenso sobre o assunto e uma terminologia adequada para ser utilizada.

A ocorrência natural de metais pesados em sistemas fluviais é proveniente principalmente através dos minerais que constituem as rochas e por processos geoquímicos advindo do intemperismo, que são as fontes primárias de metais para com meio ambiente, sendo encontrados em diversas concentrações nas diferentes camadas superficiais em sedimentos e solos (FADIGAS et al., 2002). As rochas principalmente as basálticas são ricas em metais pesados, apresentando altas concentrações, já os solos e sedimentos formados por gnaisses, granitos, siltitos e arenitos apresentam baixas concentrações (VALADARES, 1975; ROVERS et al., 1983; OLIVEIRA, 1996). Contudo a outros fatores que podem influenciar na

concentração de metais pesados, como o teor e a composição da fração argila, matéria orgânica e as condições físico-químicas (BARONA, 1996).

Outro fator muito importante e preocupante é com relação ao tempo de residência em sistemas fluviais, mesmo depois de interrompidas as emissões de metais pesados nesses sistemas, estes podem permanecer ali por anos complexados em sedimentos, sendo liberados lentamente devido às condições físico-químicas do meio.

As concentrações de metais pesados em solos e sedimentos têm recebido grande contribuição antrópica nos últimos tempos através da geração e o descarte de resíduos urbanos e industriais, afetando de modo significativo a qualidade de vida dos animais e a saúde dos seres humanos, promovendo grandes impactos ao meio ambiente e as populações em geral.

O consumo de água e alimentos contaminados com metais pesados coloca em risco a saúde humana, quando absorvidos pelo ser humano estes elementos se depositam no tecido ósseo e gorduroso e deslocam minerais nobres de ossos e músculos, visto que possui uma grande afinidade por tecidos biológicos Souza (2001), como também por compostos orgânicos contidos em solos e sedimentos.

Em grande parte dos solos e sedimentos os metais pesados estão presentes em diferentes formas: carbonatos, óxidos, sulfetos ou sais (He et al, (2005) e o domínio de cada forma metálica se encontra associada aos diferentes minerais presentes em vários tipos de solos. Os principais elementos metálicos pesados estão presentes através de importantes minerais sob as seguintes formas: os minerais de ferro (Fe) apresentam as formas (Fe_2CO_3), siderita; (Fe_2O_3), hematita; (FeOOH), goethita; (Fe_3O_4), magnetita; (FeS_2), pirita; (Fe_{1-x}S), pirrotita e ($\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_4$), jarosita. Muitas vezes os óxidos amorfos ou os hidróxidos do Fe contribuem muito mais em solução do que os minerais cristalinos.

Os minerais de manganês (Mn) incluem os o (MnCO_3), rhodochrosita; (MnO_2), pirolusita; (Mn_3O_4), hausmannita; (MnOOH), manganita; ($(\text{Mn}, \text{Si})_2\text{O}_3$), braunita; ($\text{BaMg}_9\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), psilomelana e (MnSiO_3), rhodantha.

Os minerais contendo cobre (Cu) são: ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), malaquita; ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$), azurita; (Cu_2O), cuprita; (CuO), óxido cuprico; (Cu_2S), calcolita; (CuS), covellita; (CuFeS), calcopirita; (Cu_3FeS_4), bornita; (Cu_9S_5), digenita; (Cu_3AsS_4), enargita e ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), tetraedrita.

Os principais minerais contendo zinco (Zn) são: (ZnO), zincita; (ZnS), esfalerita; (ZnCO₃), smithsonite e (Zn₄(OH)₂Si₂O₇ · H₂O), hemimorphite.

As formas dos minerais de níquel (Ni) e do cobalto (Co) são mais complexas, a do Ni é o ((Fe, Ni)₉S₈), pentlandite; (Ni₃Fe), awaruite; ((Fe, Ni)₂₃C₆), cohenite; ((Fe, Ni)₂₃C₆), haxonite já para o cobalto (Co) os minerais são: (CoAsS), cobaltite; (CoAs₂-3), skutterudite e (Co₃(AsO₄)₂ · 8H₂O), erythrite sendo que estes minerais estão principalmente amalgamados nas rochas ígneas.

Para o chumbo (Pb) os principais minerais são Galena, PbS, Anglesite, PbSO₄, Cerussite, PbCO₃.

O cádmio (Cd) este se apresenta principalmente na forma de (CdS) Greenockite e o cromo (Cr) na forma (Fe, Mg)Cr₂O₄, Cromite.

Os metais pesados são considerados sérios poluentes devido aos seus efeitos tóxicos e, portanto para se avaliar a disponibilidade dos metais é necessário compreender sob quais condições eles estão presentes e em que formas químicas (SILVA et al., 2002), sendo controlados pelas suas condições físico-químicas e pelas suas espécies principais.

Conforme o Geo Brasil (2002), os resíduos provenientes da poluição antropica estão dispostos de uma maneira totalmente inadequada, ou seja, 76% dos rejeitos estão alocados em céu aberto “lixões”, 13% estão em aterros controlados e 10% são alocados em aterros sanitários. Isso demonstra a problemática que o homem vem causando ao meio ambiente.

Segundo o Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2000) com relação ao aspecto sedimentológico, o represamento e as barragens geram uma redução no fluxo da corrente fluvial provocando assim a deposição gradual dos sedimentos carregados pelo curso d água e esses sedimentos possuem um papel importante, pois tem uma grande capacidade de reter espécies químicas orgânicas e inorgânicas quase 99% e os restantes são dissolvidos em água.

A análise química dos sedimentos é de fundamental importância e se torna um parâmetro muito útil e de grande valia para a identificação no monitoramento e no controle das fontes poluidoras (FORSTNER, 2004), como também sendo utilizados como traçadores em estudos ambientais (COTTA et al., 2006), e devido a sua capacidade de acúmulo de metais pesados, têm recebido especial atenção em estudos ecotoxicológicos (WARNKEN et al., 2001).

Os contaminantes presentes nos sedimentos dos rios, lagos, etc., podem desencadear uma degradação ambiental mesmo após a suspensão de descargas de efluentes no corpo receptor (USEPA, 1998).

Os sedimentos são misturas complexas oriundos do intemperismo de erosão das rochas e sendo transportados por agentes geológicos, os quais compreendem várias fases, onde ocorrem mecanismos de associação com os metais em diversas fases específicas (TESSIER, 1992).

Atualmente, os metais pesados estão entre os poluentes mais comuns em sedimento de fundo, e características como a granulometria de partículas presentes nos sedimentos, influenciam na acumulação desses elementos contaminantes, frações finas (<63 μ m) apresentam uma grande interação em sua superfície com os metais (ESTEVES, 1988).

A toxicidade dos metais pesados é particularmente importante para certos elementos químicos: cobalto, cromo, cobre, cádmio, níquel, zinco e chumbo, onde se apresentam, ligados aos sedimentos e na fase sortiva sedimento/água, representando assim um alto risco as populações constituintes dos ecossistemas e para o homem.

Estudos vêm demonstrando que as altas concentrações presentes nos sedimentos de metais pesados estão relacionadas principalmente aos efluentes urbanos e industriais (ADRIANO, 1986; EGREJA, 1999).

Segundo Lemes et al. (2003) fatores como: elevada concentração salina; potencial redox; queda no pH; agentes naturais e sintéticos que podem formar complexos com os metais e ainda processos bioquímicos que afetam a mobilização de metais nos sedimentos aquáticos.

Rousseaux et al. (1989) realizaram um estudo sobre as concentrações de metais pesados no lixo brasileiro, identificando sua origem, demonstrando a ocorrência de cádmio em matérias plásticas (67 a 77% do total), do cromo relacionadas as atividades de cortume (35%) e do zinco devido principalmente da fabricação de papel (10 a 14%).

A agricultura também tem contribuído de forma significativa no aumento da concentração de metais pesados, principalmente em solos agrícolas devido a aplicação de fertilizantes, pesticidas e outros resíduos, causando assim uma contaminação direta e indireta na cadeia alimentar (PAEZ-OSUNA et al., 2003;

GIMENO-GARCIA et al., 1996; SHARPLEY; MENZEL, 1987), pois além de permanecer nos solos estes também são lixiviados para os sistemas fluviais.

Dessa forma o estudo de metais pesados passa a ser de extrema importância, pois conhecer o seu comportamento e a sua concentração no solo é fundamental para se avaliar o impacto ambiental, o que compromete à qualidade e preservação do meio ambiente bem como a saúde humana (XIANGDONG et al., 2001).

Alguns rios do mundo se apresentam de grande importância, como o caso do rio Tietê no Brasil, sendo este o mais importante curso d'água do estado de São Paulo, atravessando à capital e todo o território paulista, desde os contrafortes da Serra do Mar até o rio Paraná, extremo oeste do estado, tendo uma extensão 1100 km, abrigando uma intensa área sob forte influencia antrópica (poluição doméstica, agrícola e industrial), o que contribui sobremaneira para a péssima qualidade das águas e sedimentos fluviais desse rio.

Os elementos traços metálicos que ocorrem em sua grande maioria nos sistemas fluviais, são carregados principalmente por partículas em suspensão e somente uma pequena fração é transportada na forma solúvel (HOROWITZ, 1991; MOORE; RAMAMOORTHY, 1984).

Viets (1962) classificou o solo como tendo cinco fases ou compartimentos principais que interferiam na disponibilidade dos metais, sendo assim difundida a idéia de extração seqüencial.

A utilização da concentração total de metais pesados utilizados somente como um critério para avaliar os efeitos potenciais de contaminação nos sedimentos implica que todas as formas de um determinado metal têm um impacto igual no meio ambiente, sendo que pressuposto é claramente insustentável. (TESSIER et al., 1979).

A metodologia de extração seqüencial tem sido uma importante ferramenta e amplamente utilizada por vários autores para inferir sobre o potencial e avaliação dos metais pesados nas várias frações dos sedimentos, e principalmente para distinguir entre a origem natural e antropogênica, esta vem apresentando a mais eficaz para a avaliação de especiação em solos e sedimentos (HLAVAY et al., 2004; GLEYZES et al., 2002; FILGUEIRAS et al., 2002; HO; EVANS, 2000)

Muitos autores adaptaram esta metodologia em função do estudo ambiental e da sedimentologia regional (KASHEM et al., 2007; GÓMEZ-ÁLVAREZ et al., 2007;

CANEPARI et al., 2005; BASÍLIO et al., 2005; GUEVARA-RIBA et al., 2004; MORILLO et al., 2003; TUZEN 2003; AKCAY et al., 2003).

A metodologia apresentada por Tessier et al. (1979) é uma das mais citadas na literatura dentre os métodos de extração seqüencial, desenvolvida para a determinação e a avaliação de metais pesados em sedimentos. As frações de sedimentos no método de Tessier são: trocável, a ligada a carbonatos, a ligada a oxi-hidróxidos de ferro e manganês, a ligada à matéria orgânica e a residual.

O uso de extrações seqüenciais, embora mais demorada, fornece informações detalhadas sobre a origem, o modo de ocorrência, disponibilidade, mobilização e transporte de metais pesados e a sua precisão e exatidão do procedimento da extração seqüencial de modo geral apresenta-se boas.

O principio do método de extração seqüencial consiste na extração de elementos metálicos que estão complexados nas diferentes frações do sedimento, sendo extraídos com reagentes apropriados e com ataques cada vez mais fortes em cada uma das frações, devendo-se obedecer a uma seqüência de ataque (LANGEN et al., 1994; TESSIER, 1992; TESSIER et al., 1980; TESSIER et al., 1979).

Silva et al. (2002) realizaram um estudo sobre a distribuição das associações químicas dos principais metais pesados nos sedimentos do complexo fluvial Tietê-Pinheiros, utilizando um protocolo de extração seqüencial de três fases. Os resultados mostraram característica de poluição de metais pesados associados principalmente aos sulfetos, carbonatos e óxidos de ferro e manganês, oriundos de fonte de poluição difusa.

A geração e o descarte de resíduos urbanos e industriais têm sido motivo de grande preocupação. A atividade humana no que se refere ao despejo dessas substâncias promove grandes impactos ao meio ambiente, aos recursos hídricos e as populações. Mas tal fato não ocorre somente no estado de São Paulo como também em outros estados brasileiros e no mundo. Vários estudos demonstram a ocorrência desta problemática ambiental.

Guedes et al. (2005) realizaram o levantamento de metais pesados nas águas do rio Jundiáí, em Macaíba, no estado do Rio Grande do Norte, em dez pontos de amostragem escolhidos desde a montante até jusante da cidade de Macaíba onde se verificou elevadas concentrações de metais pesados, advindos principalmente da contribuição antrópica.

Rodrigues Filho et al. (2002) avaliaram a poluição por metais pesados em sedimentos ao longo do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro, onde utilizou a metodologia de extração seqüencial em quatro frações: lixiviável, oxidável, redutível e residual, demonstrando que a ocorrência dos elementos arsênio, zinco e manganês se apresentavam na fração lixiviável, se tornado assim facilmente disponíveis para o meio.

Estudos de metais pesados em sedimentos de corrente na região do Vale do Rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul, revelaram concentrações elevadas de elementos traço metálicos como: cromo, zinco, cobre e chumbo, para tal foi avaliado as frações disponível e total dos sedimentos, tendo como referencia os níveis de base (Background) da região (ROBAINA et. al., 2002).

Na Espanha, Guevara-Riba et al. (2004) avaliaram a mobilidade de metais pesados em sedimentos no Porto de Barcelona, utilizando o método BCR de extração seqüencial em três fases, utilizando dois sedimentos certificados para comparação das amostras coletadas. Verificaram-se em um dos pontos de amostragem altas concentrações de metais pesados atribuído aos efluentes domésticos. Os elementos cromo e níquel mostraram concentrações similares em todos os pontos de amostragem.

Os sedimentos do rio Yesilirmak em Tokat, Turquia foram determinados por Tuzen (2003), utilizando se do método de extração seqüencial em quatro fases, constatando que a maioria dos metais se encontravam no resíduo solúvel e principalmente ligado às frações da matéria orgânica e sulfetos, onde constatou baixo potencial de biodisponibilidade.

As atividades antrópicas contribuíram com elevadas concentrações de metais pesados no rio San Pedro, México. O estudo realizado por Gómez-Álvarez et al. (2007), descrevem as formas químicas de seis principais metais pesados cádmio, cobre, ferro, manganês, chumbo e zinco em diferentes frações de sedimentos de fundo ao longo do rio San Pedro, utilizando o método de extração seqüencial proposto por Tessier (1979), onde os resultados demonstraram elevadas concentrações de metais pesados na fração não residual.

Além do método de extração seqüencial, outro método que vem sendo muito empregado para se avaliar a toxicidade dos sedimentos fluviais é a determinação de sulfetos volatilizados por ataque ácido (AVS) com a extração simultânea de metais pesado (SEM) proposto por Di Toro et al. (1990).

Em ambientes anóxicos, principalmente no fundo de rios o sulfeto age no sedimento como controle na concentração de metais, ou seja, a matéria orgânica ligada aos sedimentos, normalmente é oxidada por bactérias que usam sulfato como receptores de elétrons. Essa redução bacteriana do sulfato produz sulfeto de hidrogênio (H_2S) e outros componentes de S reduzidos. De acordo com Di Toro et al. (1992) e Allen et al. (1993), nessas condições, os óxidos de ferro são reduzidos às formas iônicas ferrosas, que por sua vez reagem com H_2S , formando uma grande variedade de minerais de sulfetos de ferro, incluindo a forma amorfa (FeS) e a pirita (FeS_2). Sendo assim a não biodisponibilidade e/ou toxicidade de metais pesados pode ser avaliada observando a concentração de sulfetos presentes nesses sedimentos em relação à concentração de metais pesados existentes (SILVÉRIO et al., 2006; MCGRATH et al., 2002; DI TORO et al., 1990).

Em estudos anteriores realizados em laboratório mostraram que para $SEM / AVS < 1$ o sedimento não apresentava nenhuma toxicidade em relação aos organismos vivos, enquanto para $SEM / AVS > 1$ a mortalidade aumentava significativamente para teores de 1,5 a 2,5 $\mu mol g^{-1}$ de SEM por $\mu mol g^{-1}$ de AVS (DI TORO et al., 1992), sendo que a partir de Hansen et al. (1996) foi proposto o uso da diferença SEM - AVS como valor guia de qualidade de sedimentos (VGQS) e tal formulação tem a vantagem de verificar a capacidade de ligação dos metais com o AVS mesmo quando esta for excedida, além de verificar a ocorrência de outras possíveis fases no controle da biodisponibilidade.

Na previsão da toxicidade, de acordo com USEPA (2000) e Di Toro et al. (2000) devem ser considerados a partição de metais com respeito ao carbono orgânico no controle da biodisponibilidade, estabelecendo critérios como tóxicos, toxicidade incerta ou potencial de toxicidade e não tóxicos conforme o valor guia $(SEM-AVS) / C_{org}$.

3 Área de estudo

3.1 Bacia de drenagem do rio Tietê

Nascendo em Salesópolis, na Serra do Mar, a uma altitude de 840 metros, o rio Tietê corta todo o Estado de São Paulo de leste a oeste, percorrendo 1100 km até o município de Itapura, em sua foz no rio Paraná, na divisa com o Mato Grosso do Sul. O rio Tietê drena uma área composta por seis sub-bacias hidrográficas (Alto Tietê, Sorocaba/Médio Tietê, Piracicaba-Capivari-Jundiaí, Tietê/Batalha, Tietê/Jacaré e Baixo Tietê) em uma das regiões mais ricas do hemisfério sul, onde suas margens banham 62 municípios ribeirinhos abrigando mais de 26 milhões de habitantes (SÃO PAULO, 2006).

A área estudada compreendeu a totalidade da bacia de drenagem do rio Tietê, com 70.500 km², conforme pode ser observado na Figura 1, a qual ilustra a localização das estações de amostragens utilizadas para coleta de amostras de sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê.

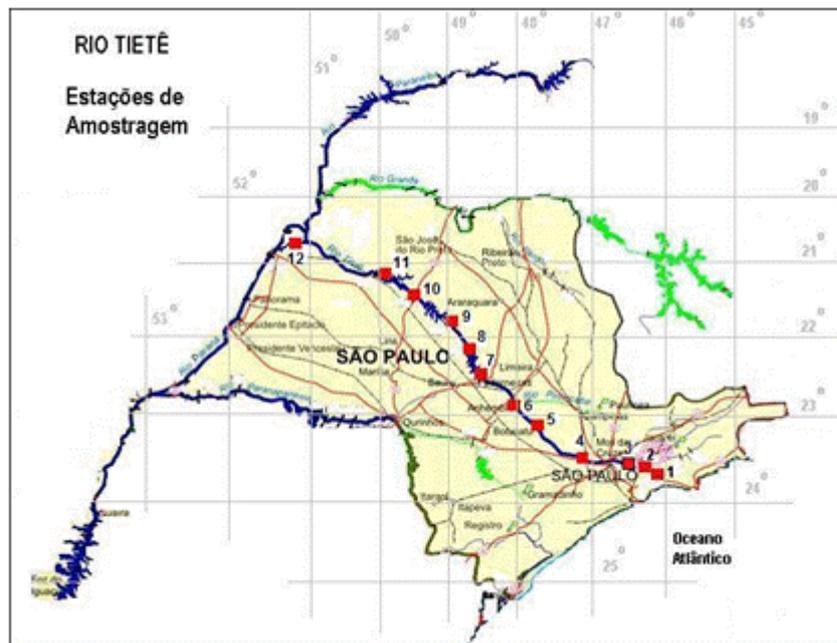


Figura 1. Localização da bacia de drenagem do rio Tietê, e estações de amostragem: 1- Ponte Nova, 2- Biritiba, 3- Mogi das Cruzes, 4- Pirapora, 5- Tietê, 6- Anhembi, 7- Barra Bonita, 8- Bariri, 9- Ibitinga, 10- Promissão, 11- Nova Avanhandava e 12- Três Irmãos. (Modificado a partir da Agencia Nacional dos Transportes Aquaviários, Antaq, 2007)

A bacia de drenagem do rio Tietê é caracterizada por um clima com o predomínio da estiagem no inverno e de chuvas no verão, e segundo a classificação de *Köppen*, apresenta o tipo Cwb nas partes mais elevadas e o tipo Cwa na Depressão Periférica.

3.2 Solos e vegetação

Os principais tipos de solos encontrados na bacia do rio Tietê, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), podem ser observados na Figura 2, com detalhe para as sub-bacias do alto, médio e baixo rio Tietê.

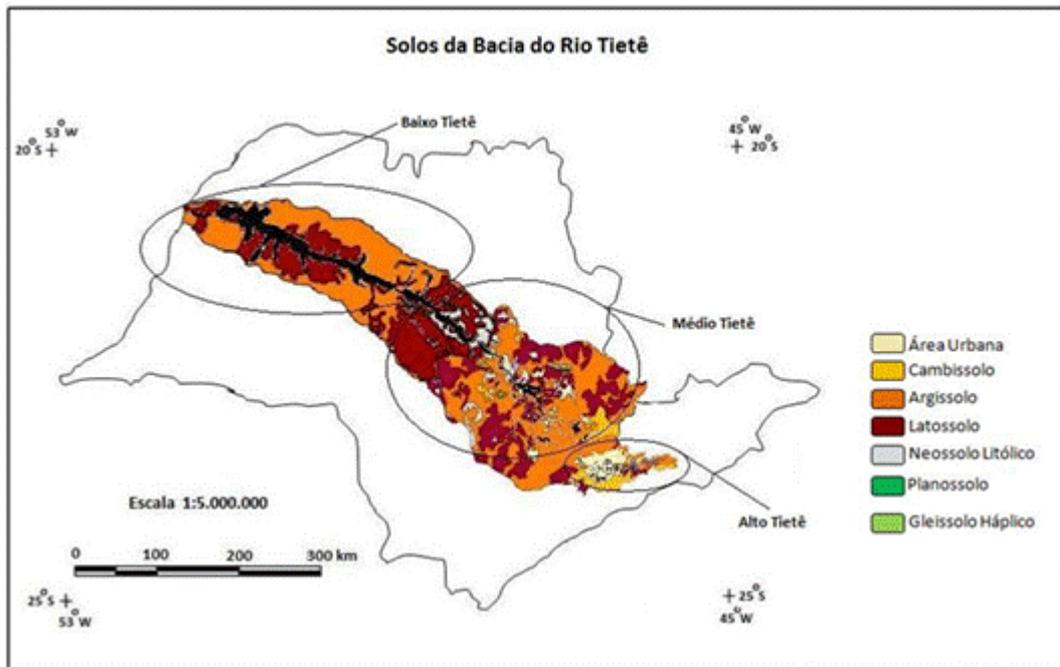


Figura 2. Principais solos da bacia do rio Tietê. (Modificado a partir de Embrapa, 1999)

As nascentes no alto rio Tietê foram caracterizadas principalmente pelos cambissolos álicos e organossolos. O médio rio Tietê, em sua parte superior, apresentou um predomínio de argissolo vermelho-amarelo textura arenosa e em sua parte inferior a ocorrência de latossolo vermelho textura média. Mais a jusante, no baixo Tietê, os principais solos observados foram os argissolos com variância de vermelho-amarelo para vermelho, textura arenosa/argilosa e nas partes mais baixas os latossolos vermelhos textura média.

O uso do solo na bacia de drenagem do rio Tietê comporta uma área de intensa ocupação agrícola e industrial e as atividades do parque industrial centram-se basicamente na produção de papel e celulose, produtos alimentícios e têxteis. A montante do seu curso superior, o rio Tietê se encontra severamente poluído devido principalmente à poluição de origem doméstica e industrial (curtumes, metalúrgicas, químicas e refinaria de petróleo) ao cruzar a área metropolitana de São Paulo. Já no médio e baixo Tietê, além de outros centros urbanos, a intensa atividade agrícola devido às regiões de cultivo de cana de açúcar e pastagens, e já sendo observados os principais processos erosivos mecânicos relativos ao manejo dos solos que fazem parte dessa grande área agriculturável do Estado de São Paulo.

De acordo com Câmara (1991) a região em estudo apresenta tipos básicos de vegetação primitiva, fortemente influenciada pelo solo, relevo e clima, onde se destacam a floresta atlântica nas cabeceiras dos rios e a floresta estacional semidecídua nos trechos próximos ao rio Paraná. Entre esses extremos podem ser observadas áreas de cerrados que se associam as vegetações típicas do centro-oeste do país.

3.3 Geologia

Em seu trecho inicial, o rio Tietê passa pelo Planalto Atlântico onde se encontram as rochas do embasamento cristalino, as quais estão entre as mais antigas do Estado, e são representadas basicamente por granitos, gnaisses e quartzitos. Adentrando o interior paulista o rio Tietê atinge a Depressão Periférica, a qual é caracterizada por colinas, morrotes e pequenas serras, cujas altitudes variam entre 400 e 700 metros, tendo na seqüência o Planalto Ocidental até desembocar no rio Paraná.

Conforme pode ser observado na Figura 3, a bacia do rio Tietê apresenta em sua maior parte rochas cristalinas e metamórficas e somente à jusante é que podem ser observadas rochas sedimentares detríticas e pequenas regiões de basalto.

A bacia do rio Tietê (canal principal da Primeira Zona Hidrográfica) possui uma importante fonte de dados que são provindos das rochas e terrenos existentes em sua área de drenagem. Nestes dados encontram-se informações sobre os vários ciclos pelos quais esta região passou, sejam eles climáticos ou ambientais.

Apesar de o rio Tietê encontrar-se apenas a 22 km do mar, seu percurso é na direção noroeste, indo para o interior do Estado de São Paulo. Em princípio ele

passa pelo Planalto Atlântico, onde se encontram as rochas do embasamento cristalino, as quais estão entre as mais antigas do Estado, e são representadas basicamente por granitos, gnaisses e quartzitos.

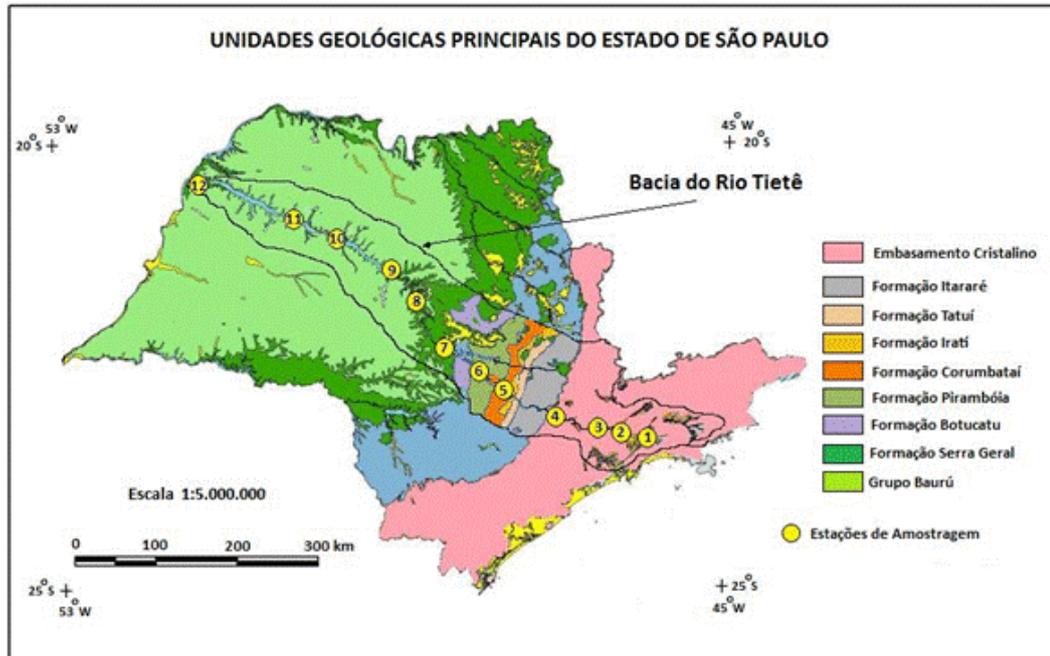


Figura 3. Principais características geológicas da bacia do rio Tietê. (Modificado de www.geobank.sa.cprm.gov.br)

A composição mineralógica inicial destas rochas modificou-se devido a imensos esforços, os quais também provocaram falhas, dobras e fraturas. Estes fenômenos determinariam mais tarde, o traçado atual que o Tietê viria assumir.

Depois de passar pela região de rochas mais resistentes o rio Tietê atinge a bacia sedimentar de São Paulo, onde predominam áreas planas (fundos de vale), as quais são denominadas várzeas aluvionares. Porém, após isso, ele volta a se encontrar com o embasamento cristalino, onde existem algumas corredeiras e cachoeiras nas áreas dominadas pelos gnaisses e granitos.

Adentrando o interior paulista o rio Tietê atinge a Depressão Periférica, a qual é caracterizada por colinas, morrotes e pequenas serras, cujas altitudes variam entre 400 e 700 metros. Tal região corresponde a uma faixa alongada que contorna a borda da bacia sedimentar do rio Paraná e que se constitui numa área que chega a centenas de quilômetros quadrados.

De acordo com Brasil (1983), esta bacia formou-se por meio da deposição de sedimentos e rochas basálticas trazidas de regiões mais elevadas, sendo que tal

processo alongou-se por 350 milhões de anos. Desta forma, esta deposição formou uma camada de material litológico que em certos locais chega a alcançar a espessura de três quilômetros. Este processo foi ocasionado por um gradual afundamento ocorrido na região ao longo deste período. Sendo assim, durante esse afundamento formou-se oito pacotes de camadas sedimentares, cada qual representando o clima e a geologia que atuava em cada época (glacial, marinho, lacustre, fluvial e desértico).

A mais antiga dessas camadas é denominada Formação Itararé. Tal camada surgiu devido à ação das geleiras que vez ou outra chegaram a cobrir o continente em quase toda sua totalidade. Nesta formação predominam folhelhos, arenitos e argilitos, as quais são rochas formadas por fragmentos cimentados entre si.

Assim que o período glacial foi aos poucos dando lugar a condições de clima mais amenas, o mar invadiu a região ocupada pela bacia sedimentar do Paraná. Desta forma, um novo ambiente passou a atuar, no qual foram depositados materiais finos como arenitos, siltitos e argilitos, intercalados por camadas calcárias. Estes materiais formaram uma camada de aproximadamente 130 m, cujo nome é conhecido atualmente por Formação Tatuí, levando a mesma um tempo de 20 milhões de anos para ser constituída.

Com o mar iniciando seu recuo, predominaram nesta região local de águas rasas, confinadas em ambiente marinho ou lagoas com estreita ligação com o mesmo. Foi neste ambiente que se formou o terceiro pacote sedimentar: a Formação Irati. Seu tempo de formação chega a 20 milhões de anos e sua espessura a 30 metros. Esta formação é composta na base por conglomerados, folhelhos e arenitos e no topo por rochas calcárias, siltitos, folhelhos e arenitos.

Na seqüência da Formação Irati, tem-se a Formação Corumbataí, que também levou cerca de 20 milhões de anos para constituir-se e cujo período geológico é caracterizado pela predominância da deposição de sedimentos de granulação bastante fina, tais como argilitos, siltitos, folhelhos e arenitos de origem marinha ou lacustre.

Tendo as águas marinhas completadas seu recuo, iniciou-se um novo período de deposição do material litológico, a qual passou a ocorrer em ambiente fluvial. Tal deposição, que ocorreu também em 20 milhões de anos, formou uma camada de 300 m de areia. Essa formação recebeu o nome de Pirambóia.

Passado o período das águas fluviais e marinhas, ocorreu uma drástica mudança no clima da bacia sedimentar: imperou na mesma um imenso deserto, o qual perdurou por mais de 50 milhões de anos. Nesse período sedimentou-se uma camada de areia com espessuras variando entre 50 e 90 metros. A esta camada foi dado o nome de Formação Botucatu. Devido à presença de materiais finos, como siltitos e fósseis de crustáceos, encontra-se nele uma semelhança com os desertos atuais, dado que os mesmos indicam a presença de oásis e pequenos lagos.

Dominando quase todo o oeste da Depressão Periférica encontram-se as chamadas Cuestas Basálticas, cujo trecho frontal é possuidor de muitas corredeiras. Tal região litológica estende-se até a região de Barra Bonita. De todas as regiões da Depressão Periférica, esta é a que apresenta uma maior resistência aos agentes erosivos, devido ao fato de ser constituída por rochas mais novas (BRASIL, 1983; CETESB, 1994).

Uma região de escarpas e encostas foi moldada pela presença de fraturas verticais, sendo a mesma denominada por frente das Cuestas Basálticas. Suas rochas mais duras são os basaltos, que se formaram pelas lavas que se esfriaram e solidificaram, as quais foram expelidas através das fissuras dos vulcões que, naquele tempo, surgiram na região, e derramou-se sobre os pacotes sedimentares que ali já existiam. A idade destas rochas está estimada em torno de 130 a 150 milhões de anos.

O fenômeno do vulcanismo pode ser comprovado verificando-se a presença deste material entre as diversas camadas litológicas da bacia sedimentar. Devido à dureza destas rochas, o intemperismo não consegue nelas atuar de forma mais intensa, de tal maneira que os diques e sills que elas constituem na região, explicam porque ali o rio Tietê possui tantas cachoeiras e corredeiras.

Atravessando as Cuestas Basálticas, caminhando no sentido oeste, chega-se ao Planalto Ocidental, de superfície levemente ondulada, onde se aloja o último pacote sedimentar da bacia do Paraná. Denominada de Formação Bauru, esta possui rochas constituídas por argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados, cuja espessura chega a atingir cerca de 200 metros. Sua origem é fluvial e possui aproximadamente entre 65 a 100 milhões de anos.

Apesar da história geológica dos terrenos da bacia ter-se iniciado a 350 milhões de anos, o rio Tietê teve um surgimento bem mais recente: sua idade é estimada em 12 milhões de anos. O seu curso foi traçado sobre rochas que já

existiam, deixando-as expostas. Sendo assim, a bacia do rio Tietê mostrou-se como um importante fator de desenvolvimento para o Estado de São Paulo, devido ao grande potencial econômico existente em suas características geológicas e hidrológicas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento metodológico proposto para o presente trabalho foi embasado no projeto de pesquisa “Especiação de Metais Pesados em Sedimentos de Fundo ao Longo do Rio Tietê (SP): Distribuição, Origem e Fatores de Controle”, coordenado pela Prof. Dr. Jefferson Mortatti (FAPESP - Processo N° 2007/56393-0).

4.1 Equipamentos

- Espectrômetro de Emissão Ótica com plasma acoplado indutivamente ICP-OES
- Espectrômetro de Emissão Atômica Acoplado Indutivamente ICP-MS
- Medidor Digital de Temperatura Portátil.
- Condutivímetro Portátil
- Estufa de Secagem com Circulação de Ar
- Freezer
- Refrigerador
- Amostrador de sedimentos de fundo “torpedo”
- Cadinhos de Platina
- Centrifuga
- Bomba de vácuo
- Mufla (para a fusão alcalina a 1000 °C)
- Bloco Digestor
- Balança analítica
- Microcomputador e impressora
- GPS
- Máquina digital
- Cronometro

4.2 Vidrarias

- Vidraria convencional de laboratório.
- Tubos de vidro de borossilicato para análise de AVS (sulfetos ácidos voláteis).

4.3 Reagentes

- Reagentes químicos utilizados para extração seqüencial dos metais pesados, fusão alcalina e sulfetos volatilizados por ataque ácido: Nitrato de magnésio, acetato de sódio, cloreto de hidróxilamônio, oxalato de amônio, ácido oxálico, ácido ascórbico, peróxido de hidrogênio, acetato de amônio, tetraborato de lítio, metaborato de lítio, nitrato de prata.
- Ácido nítrico e clorídrico concentrado p.a.
- Soluções padrões de condutividade de $1412\mu\text{S cm}^{-1}$ e $146,9\mu\text{S cm}^{-1}$.

4.4 Outros

- Sacos e frascos plásticos para acondicionamento das amostras
- Frascos de polietileno para acondicionamento das amostras (50 mL)
- Sistemas de filtração manual a vácuo (47 mm)
- Filtros de membrana celulose Durapore HVLP hidrófilo $0,45\mu\text{m}$ (47 mm)
- Pinças de teflon
- Almofariz e pistilo de ágata
- Peneiras de teflon (63-2000 μm)
- Micropipeta (500-5000 μL)
- Tubos de PVC para os perfis de sedimentos de fundo, 40 mm de diâmetro e 80 cm de comprimento
- Corda de nylon de 40 m

4.5 Desenvolvimento metodológico

4.5.1 Protocolo de amostragem

As amostragens dos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê, da nascente até a sua foz, foram realizadas em triplicata nos perfis de profundidade nas estações de amostragens previamente definidas (estações de 1 a 12), utilizando um amostrador de perfil de sedimento de fundo, tipo torpedo, conforme pode ser observado Figura 4.

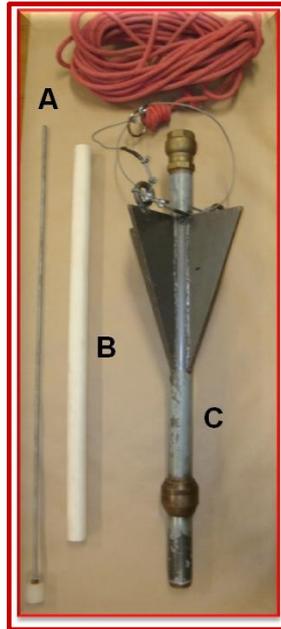


Figura 4. Amostrador de perfil de sedimentos de fundo tipo torpedo: (A) Êmbolo utilizado para retirar a amostra do tubo de PVC. (B) Tubo de PVC para acondicionar a amostra. (C) Amostrador

Tal amostrador foi desenvolvido para o presente estudo e é constituído por três partes:

O êmbolo tem por finalidade retirar a amostra coletada do interior do tubo de PVC, como também medir o comprimento do perfil de sedimento coletado. Tal êmbolo é compreendido por uma haste de aço inox e na sua extremidade uma ponteira roliça feito de teflon.

Tubo de PVC, este tem por objetivo acondicionar o sedimento coletado evitando assim o contato com a parede do amostrador.

O amostrador tipo torpedo permitiu coletar os sedimentos fluviais em perfis de profundidade. O amostrador é feito de aço e possui o formato de torpedo, sendo este formato adotado devido a sua aerodinâmica. Na parte superior a uma rosca para encaixe de uma válvula de retenção, sendo que esta válvula permite a retirada da amostra perfilada sem nenhuma perturbação e descompactação, na parte inferior a uma rosca para o encaixe da ponteira de aço, essa ponteira se faz necessário, pois devido à composição e a compactação dos sedimentos em determinados pontos de amostragem pode danificá-la (amassar) o que impossibilitaria nova coleta.

Tal amostrador permitiu coletar perfis de sedimento de fundo fluvial até cerca de 30 cm de profundidade, sendo que os perfis de sedimentos de fundo amostrados nos respectivos tubos de PVC foram fechados em suas extremidades e

aconicionados na vertical em suportes próprios e mantidos sob congelamento até o fatiamento e processamento analítico em laboratório.

As amostras obtidas de cada repetição foram compostas a cada centímetro, visando uma melhor representatividade do perfil amostrado e uma quantidade maior de amostra para atender também outras análises químicas, incluindo a determinação dos sulfetos volatilizados por ataque ácido (AVS). Todas as amostragens foram realizadas no meio do canal do rio, no eixo da corrente, procurando uma melhor representatividade amostral, podendo ser verificado na Figura 5, e a infra estrutura do procedimento de amostragem pode ser observado nas Figuras 6 e 7.



Figura 5. Alguns tipos de embarcações utilizadas durante as amostragens de sedimento de fundo no rio Tietê (SP)



Figura 6. Transportes fluviais utilizados nas amostragens de sedimento de fundo no rio Tietê (SP)



Figura 7. Transportes terrestres utilizados nas amostragens de sedimento de fundo no rio Tietê (SP)

O posicionamento de todas as estações de amostragem foram georeferenciadas, no momento das coletas, com a utilização de um GPS, conforme ilustração da Figura 8.

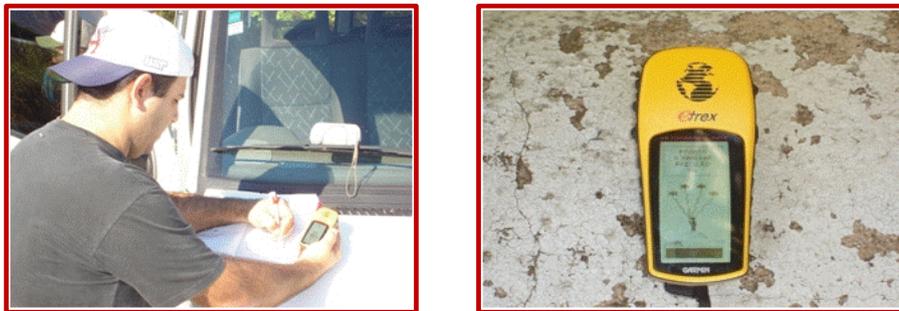


Figura 8. Identificação da posição de cada estação de amostragem com o uso de GPS.

Podem ser observadas na Tabela 1, as estações de amostragens onde as amostras foram coletadas e o exato posicionamento georeferenciado.

Tabela 1. Localização das estações de amostragem ao longo do rio Tietê, desde a nascente até a foz

Estação	Local	Data	Lat	Long
P. Nova	Ponte Nova	29/04/2008	S 23 ⁰ 35' 33,3"	W 45 ⁰ 58' 03,4"
BIR	Biritiba Mirim	29/04/2008	S 23 ⁰ 33' 52,9"	W 46 ⁰ 00' 59,0"
MOC	Mogi das Cruzes	29/04/2008	S 23 ⁰ 30' 50,6"	W 46 ⁰ 12' 12,0"
PIR	Pirapora	24/03/2009	S 23 ⁰ 23' 43,7"	W 47 ⁰ 00' 17,5"
TIE	Tietê	17/04/2008	S 23 ⁰ 05' 43,1"	W 47 ⁰ 42' 58,7"
ANH	Anhembi	01/04/2008	S 22 ⁰ 46' 58,5"	W 48 ⁰ 07' 26,7"
BAR	Barra Bonita	13/05/2008	S 22 ⁰ 31' 24,1"	W 48 ⁰ 26' 36,9"
BRR	Bariri	13/05/2008	S 22 ⁰ 09' 14,2"	W 48 ⁰ 44' 48,4"
IBI	Ibitinga	05/08/2008	S 22 ⁰ 01' 00,0"	W 48 ⁰ 26' 36,9"
PRO	Promissão	05/08/2008	S 21 ⁰ 39' 15,2"	W 49 ⁰ 17' 20,4"
NOV	Nova Avanhandava	05/08/2008	S 21 ⁰ 14' 07,1"	W 49 ⁰ 56' 38,7"
TRI	Três Irmãos	06/08/2008	S 21 ⁰ 02' 53,7"	W 50 ⁰ 28' 06,8"

Após o descongelamento parcial, os sedimentos de fundo amostrados em perfis de profundidade, foram fatiados e compostos a cada cm ao longo do perfil coletado, acondicionados em placas petri de plástico e mantidos congelados abaixo de 0 °C, conforme pode ser observado na Figura 9.

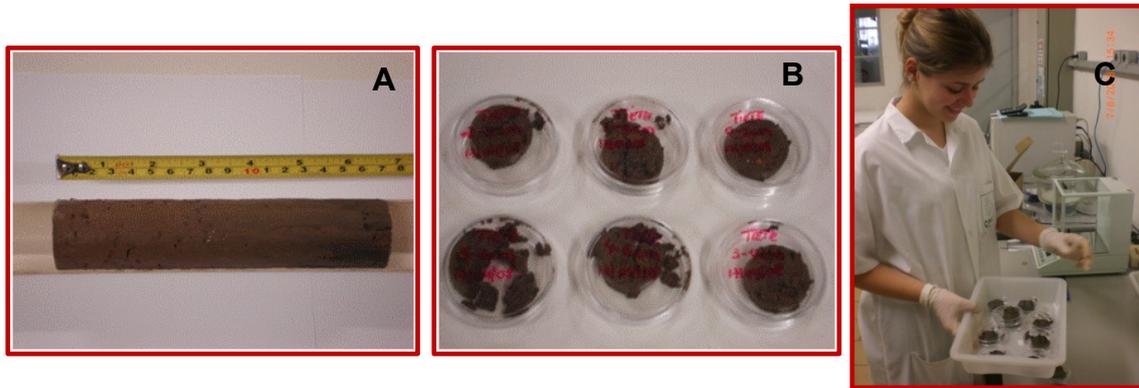


Figura 9. (A) Sedimento de fundo coletado em perfil de profundidade, (B) fatiado e acondicionado em placas petri e (C) encaminhamento para processamento analítico

4.5.2 Análise granulométrica

A granulometria foi realizada para cada estação de amostragem ao longo do rio Tietê, através do perfil coletado, utilizando o peneiramento a úmido utilizando um conjunto de peneiras para separação das frações: areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina e silte-argila.

No peneiramento a úmido adiciona-se água lentamente ao sedimento a ser peneirado com o propósito de facilitar a passagem dos finos através das telas de peneiramento.

4.5.3 Concentrações totais dos metais pesados e principais espécies químicas nos perfis de sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê

O procedimento para a preparação das amostras dos sedimentos de fundo para a extração total dos metais pesados e outras espécies químicas de interesse, foi realizado com amostras secas ao ar, sendo moídas em almorafiz e pistilo de ágata, e posteriormente homogeneizadas e peneiradas em peneiras de fibra de nylon, a fim de separar a fração inferior a 63 µm (siltes e argilas). Esta fração corresponde à parte mais quimicamente ativa do sedimento, pois tem uma grande interação na sua superfície.

A extração total envolveu a fusão alcalina proposto por Samuel et al. (1985), onde foram utilizados 100 mg de amostra seca a 105°C, com os fundentes alcalinos tetraborato de lítio (400 mg) e metaborato de lítio (200 mg), em cadinhos de platina (Figura 10). A mistura foi homogeneizada e colocada numa mufla a 1000 °C por 30 minutos. Após o esfriamento, o material fundido foi solubilizado com a adição de 25 mL de HCl 2M em chapa quente a 50°C, sob agitação, sendo adicionado posteriormente 20 ml de água deionizada e completando o volume para 50 mL, e por fim acondicionados em frascos de polipropileno e mantidos sob refrigeração até a análise química (Figura 11).



Figura 10. Cadinhos de platina utilizados no processo de fusão alcalina

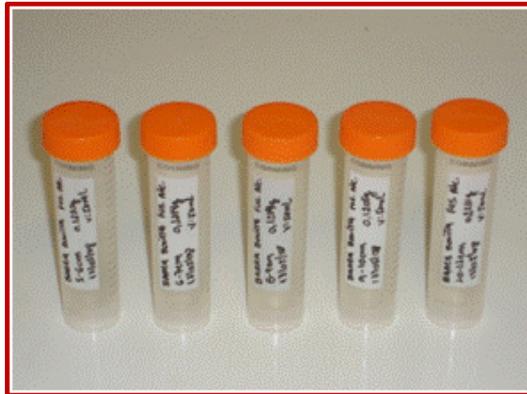


Figura 11. Frascos de polipropileno, de 50 mL, utilizados no acondicionamento das amostras oriundas do processo de fusão alcalina

As fusões alcalinas, com respeito ao branco dos reagentes químicos, foram realizadas em triplicata visando à correção do branco analítico. As concentrações dos metais pesados e dos brancos dos reagentes foram determinadas por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES).

As determinações dos metais pesados no presente estudo utilizaram-se da técnica de ICP OES que se aplica a maioria dos metais, principalmente aos que formam óxidos estáveis e não decompõem facilmente com a alta temperatura da chama. Devido às altas temperaturas geradas neste equipamento, este se apresenta uma excelente sensibilidade na quantificação desses elementos, eliminando as possíveis interferências químicas.

Esta técnica utiliza do plasma de argônio (descargas elétricas em gases, são chamados de "plasmas", significado proposto por Langmuir em 1929) como fonte de excitação, sendo este plasma produzido pela ação de um campo magnético, gerado por uma bobina, sobre o argônio na tocha. O plasma é formado na tocha, a qual é constituída por três tubos concêntricos de quartzo, com entradas independentes de cada um.

O ápice da tocha é centrado a uma bobina de radiofrequência que é a energia de todo sistema, e sendo iniciada a ignição do equipamento o plasma é propagado indutivamente com o campo gerado na bobina. Uma vez formado o plasma, procede-se à introdução do aerossol da amostra pelo tubo central, sendo introduzida para dentro de sistema através de um tubo capilar, e direcionada até o tubo central da tocha do ICP OES. Os átomos da amostra em contato com a energia da fonte de plasma imitem linhas específicas para cada elemento e sua intensidade é proporcional a concentração para cada elemento analisado, imitando assim um sinal, sendo este comparado com os padrões da curva analítica e por fim obtendo a leitura do resultado (REED, 1961; WENDT et al., 1965; GREENFIELD et al., 1964; MICHAUD-POUSSEL, 1986; BACCAN 1994).

Para controle da qualidade analítica e do processo de extração foi utilizado o material de referência internacional Soil-7 International Atomic Energy Agency (IAEA).

4.5.3.1 Óxidos principais nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê

Os resultados das composições químicas das amostras dos sedimentos de fundo foram analisados ao longo da bacia do rio Tietê, nos perfis de profundidade para todas as estações de amostragem, sendo expressos em termos percentuais de óxidos totais, para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O e matéria orgânica.

4.5.3.2 Variabilidade espacial das concentrações totais dos metais pesados dos sedimentos de fundo na bacia do rio Tietê

As concentrações médias de cada perfil amostrado nos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê foram utilizadas para a caracterização do comportamento da variabilidade espacial dos principais metais pesados desde a nascente até a foz do rio Tietê.

4.5.4 Extração seqüencial seletiva

4.5.4.1 Distribuição dos metais pesados entre as principais frações e fases geoquímicas

A extração seqüencial seletiva das principais espécies metálicas dos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê em seus perfis de profundidade, proposta no presente, foi baseada nos métodos desenvolvidos por Tessier et al (1979) e Leleyter & Probst (1999), com algumas modificações concernentes a utilização de centrifugação e secagem sob vácuo. Tal procedimento de extração permitiu identificar cada uma das quatro frações da fase biodisponível (fração 1: solúvel + trocável, fração 2: ácido solúvel ou carbonatos, fração 3: óxidos de ferro e manganês e fração 4: matéria orgânica) mudando as composições físico-químicas das fases aquosas com o emprego de soluções químicas distintas.

A distribuição dos metais pesados entre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponibilidade e residual) foram realizadas a partir das concentrações médias obtidas nos perfis estudados para cada estação.

A distribuição das frações biodisponíveis para cada metal pesado de interesse, ao longo do perfil amostrado foi realizado a partir das concentrações normalizadas pelas médias dos perfis de acordo com a equação 1:

$$\Delta M = ([M_p] - [M_{mp}]) / [M_{mp}] \quad (1)$$

Onde: ΔM representa a variabilidade do metal pesado na fração biodisponível ao longo do perfil de sedimento amostrado; $[M_p]$ é a porcentagem biodisponível do metal em cada profundidade amostrada; $[M_{mp}]$ é a porcentagem biodisponível média do metal pesado para todo o perfil amostrado.

O protocolo detalhado para a realização da extração seqüencial seletiva é apresentado a seguir:

Foram pesados e colocados 1 g de sedimento em um frasco de polipropileno (tubos Falcon) de 50 mL (Figura 12) e adicionados as respectivas soluções extratoras em cada fase (Figura 13). No fim de cada etapa de extração as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 30 minutos. A parte líquida clara foi colocada em outro frasco polipropileno de 50 mL (Figura 14). Na amostra residual foram adicionados 10 mL de água milli-Q e centrifugadas à 3000 rpm por 15 minutos. A parte líquida clara foi adicionado junto com a parte líquida anterior e completado o volume a 50 mL com água milli-Q (Figura 15). A amostra residual foi seca a 40°C sob vácuo. Após esse procedimento, cada nova etapa de extração foi reiniciada (Figura 16).



Figura 12. Frascos de polipropileno (tubos Falcon) de 50 mL contendo as amostras e as respectivas soluções extratoras sob agitação

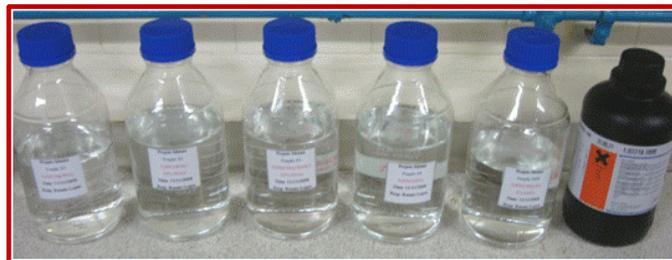


Figura 13. Reagentes utilizados em cada etapa da extração seqüencial.



Figura 14. Amostras prontas para a centrifugação a 3000 rpm por 30 minutos



Figura 15. Amostra centrifugada observa-se o sobrenadante (parte líquida clara) e a amostra precipitada ao fundo



Figura 16. Amostra residual seca a 40°C sob vácuo após cada etapa da extração

Frações da Extração:

Fração S1 (solúvel+trocável):

- Foram adicionados 10 mL de $Mg(NO_3)_2$ 0,5 M (nitrato de magnésio) no frasco contendo a amostra e mantidos sob agitação durante 2 horas à 25 °C.
Preparo da solução: foram pesados 128,21 g de $Mg(NO_3)_2$, dissolvidos em água milli-Q e completado o volume à 1 L com água milli-Q. (pH 5,0).

Fração S2 (ácido solúvel ou carbonatos):

- Foram adicionados 10 mL da solução de NaOAc 1,0 M (acetato de sódio) no frasco contendo a amostra e mantidos sob agitação durante 5 horas à 25 °C. Preparo da solução: foram pesados 82,03 g de NaOAc, dissolvidos em água milli-Q (cerca de 400 mL em um becker de 1 L), adicionados 100 mL de HOAc (ácido acético) e completado o volume à 1 L com água milli-Q. (pH 4,5).

Fração S3 (óxidos de Fe e Mn):

- Foram adicionados 10 mL da solução de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 0,04 M (cloridrato de hidroxilamônio) em 25% de HOAc no frasco contendo a amostra e mantidos sob agitação por 5 horas a 85 °C. Preparo da solução: foram pesados 2,78 g de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, dissolver em água milli-Q (cerca de 400 mL em um becker de 1 L), adicionados 250 mL de HOAc (ácido acético) e completado o volume à 1 L com água milli-Q. (pH 2,5 a 3,0).

Fração S4 (matéria orgânica):

- Foram adicionados 3 mL de HNO_3 0,02 M (ácido nítrico) e 8 mL de H_2O_2 35% (peróxido de hidrogênio) no frasco contendo a amostra, sob agitação durante 5 horas a 85 °C e deixados esfriar à 25 °C (cerca de 30 minutos). Posteriormente foram adicionados 20 mL da solução de NH_4OAc 0,85 M (acetato de amônio) em 5% de HNO_3 e agitados por 30 minutos à 25 °C.

Preparo das soluções:

HNO_3 0,02 M: Foram diluídos 1,5 mL de HNO_3 conc. em 1 L com água milli-Q.

NH_4OAc 0,85 M: Foram pesados 65,52 g de NH_4OAc e dissolver em água milli-Q (cerca de 400 mL em um becker de 1 L), adicionados 50 mL de HNO_3 conc. e completado o volume à 1 L com água milli-Q. (pH 2,0).

A fração solúvel é a primeira a ser atacada em amostra de solo ou sedimento, sendo esta fração geralmente insignificante, exceto em áreas onde os evaporitos são presentes na região de estudo.

Esta fração contém as espécies metálicas mais solúveis em água sendo a mais móvel e, potencialmente, a mais biodisponível (HE et al., 1995).

Na fração trocável os metais estão fracamente retidos na superfície sólida (sedimento ou solo) por fraca interação eletrostática, que pode ser liberados por processos de troca iônica e ser co-precipitados com carbonatos presentes em muitos tipos de sedimentos. Mudanças na forma iônica, reações de adsorção-dessorção, ou diminuição do pH pode causar a remobilização desses metais. (MARIN et al., 1997; SUTHERLAND et al., 2000; CLEVINGER, 1990).

Íons metálicos trocáveis são liberados mais facilmente no meio ambiente e soluções de sais de cátions como $MgCl_2$, $CaCl_2$, $NaNO_3$, $Mg(NO_3)_2$, $BaCl$, KNO , $Ca(NO_3)_2$, NH_4OAc , NH_4NO_3 , dentre outros, são geralmente empregadas para esta fração na lixiviação de metais ligados através das forças eletrostáticas da superfície sólida do sedimento ou do solo. (STONE; DROPO, 1996; AHNSTROM; PARKER, 2001)

Sais de nitrato são mais eficazes do que os sais de cloreto e acetato, uma vez que não ocorre complexação com o metal devido ao anion do nitrato, ocorrendo apenas à troca de cátions (KRISHNAMURTI et al., 1995).

A fração ácido solúvel apresenta os metais que são precipitados ou co-precipitados com os carbonatos (CLEVINGER, 1990). Na ausência ou em sistemas fluviais onde a baixas concentrações de óxidos de ferro e manganês, os carbonatos podem realizar a função de adsorvente para muitos metais e matéria orgânica (STONE; DROPO, 1996).

Nesta fração o reagente mais utilizado é o acetato de sódio na concentração de 1M para a liberação dos metais associados aos carbonatos (TESSIER et al., 1979; LEE et al., 1984).

O tempo necessário para que o reagente solubilize completamente os carbonatos dependem de alguns fatores, tais como: tamanho das partículas, e quantidade de carbonato presente nos sedimentos.

Segundo Tessier (1979), o tempo de 5 horas é suficiente para extrair mais de 99,9% dos metais associados aos carbonatos dos sedimentos. Os metais pesados nas frações trocável e ácido solúvel são considerados potencialmente biodisponíveis.

A fração de óxidos de ferro e manganês são conhecidas como depositante para metais pesados (STONE; DROPO, 1996).

O reagente de cloridrato de hidroxilamina em meio de ácido acético é o mais amplamente utilizado para a lixiviação na fração de óxidos de ferro e manganês,

sendo capaz de romper as ligações entre os metais e os óxidos de Fe amorfo, sem, no entanto atacar os silicatos ou a fração de matéria orgânica (GOUWS; COETZEE, 1997;). Porém se o pH da solução extratora for menor que 1,5 o reagente pode atacar parcialmente os metais associados ao silicato (TESSIER, 1979).

E por fim a fração matéria orgânica, onde os metais podem estar complexados através do processo de bioacumulação, com vários tipos de materiais orgânicos, tais como organismos vivos, detritos ou partículas minerais (TOKALIOGLU et al., 2000).

Em sistemas fluviais as substâncias orgânicas possuem uma maior afinidade para íons divalentes em relação aos íons monovalentes (STONE; MARSALEK et al., 1996), podendo permanecer complexados por longo tempo, mas podem ser mobilizados pelo processo de decomposição (KENNEDY et al., 1997).

Como metais ligados à matéria orgânica e aos sulfetos podem ser facilmente rompidos em condições oxidantes, o processo de oxidação é geralmente aplicado a lixiviação desses metais nessa fração. O oxidante mais comum utilizado é o peróxido de hidrogênio em meio ácido (KRISHNAMURTI et al., 1995; TESSIER, 1979).

O peróxido de hidrogênio é utilizado aquecido a 85°C sendo o reagente que ataca a matéria sem, no entanto atacar os silicatos (TESSIER, 1979), porém a presença de altos níveis de matéria orgânica o ataque é incompleto (SUTHERLAND et al., 2000).

A desvantagem deste reagente mais importante apresentada é a readsorção do metal na fração residual, que exige mais uma etapa de extração adicional com acetato de amônio a pH 2.

A combinação H_2O_2/NH_4OAc , impede readsorção dos metais extraídos para o substrato oxidado, sendo empregado na lixiviação de metais complexados com a matéria orgânica e sulfetos (KRISHNAMURTI et al., 1995).

A soma de todas as frações lixiviáveis (S1 a S4) representou nesse método a fase lábil ou biodisponível do sedimento fluvial. Em cada uma das etapas das extrações, foram realizadas análises com respeito ao branco dos reagentes químicos utilizados, visando às correções do branco analítico.

As concentrações dos metais pesados e dos brancos dos reagentes químicos foram determinadas por ICP OES.

4.5.5 Sulfetos Volatilizados por Ataque Ácido (AVS) com Extração Simultânea de Metais Pesados (SEM)

As determinações de AVS e extração simultânea dos principais metais pesados dos sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, ao longo do rio Tietê foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos por Di Toro et al. (1992) e Allen et al. (1993), após modificações propostas por Mortatti et al. (2008), as quais incluem as determinações de AVS por condutimetria. Após ataque ácido a frio, o H_2S liberado, arrastado por N_2 livre de oxigênio, é reagido com solução aquosa de AgNO_3 , produzindo Ag_2S e HNO_3 . Nesse caso, a variação da condutividade elétrica entre as soluções aquosa inicial e final é determinada e os teores de AVS calculados a partir de uma curva analítica envolvendo padrões de sulfeto (Na_2S) e esses valores de condutividade elétrica. Os principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo fluvial, devido ao ataque ácido a frio com HCl 2 M, foram determinados por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES).

Para as determinações de AVS e extrações simultâneas dos principais metais pesados em sedimentos de fundo fluvial foi construído um sistema analítico em vidro borossilicato, que pode ser observado na Figura 17.

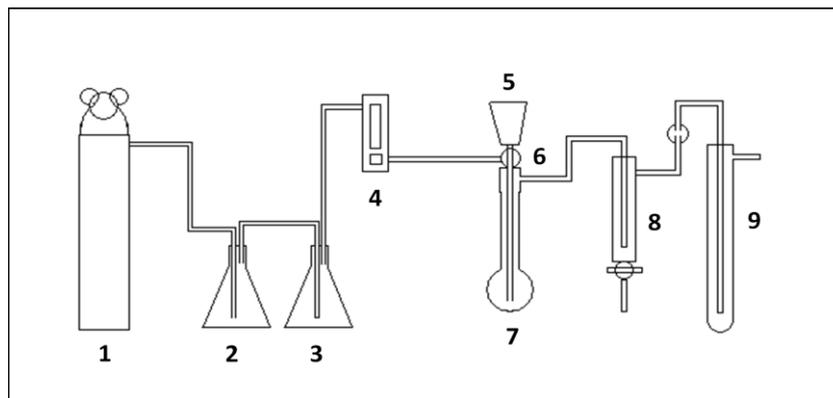


Figura 17. Sistema analítico para a determinação de AVS e extração simultânea de metais pesados em sedimentos de fundo fluvial: 1- cilindro de N_2 (gás de arraste); 2- retenção de O_2 do gás de arraste; 3- lavagem do gás de arraste; 4- fluxímetro; 5- reservatório de ácido (HCl); 6- torneira de 3 vias; 7- balão de volatilização/extração (amostra); 8- retenção de excesso de Cl^- ; 9- balão de complexação (AgNO_3). (desenvolvido por Mortatti et al., 2008)

O sistema analítico de reação/extração utilizado é composto de três partes principais, a primeira relacionada ao gás de arraste N_2 , a eliminação dos traços de O_2 e controle de fluxo. A segunda parte do sistema analítico está associada à extração dos metais dos sedimentos na fase solúvel em HCl 2 M e a terceira parte ligada a conseqüente liberação de H_2S dos sedimentos e transporte do mesmo, via N_2 , para a reação final de complexação com a solução aquosa de $AgNO_3$.

Para a operação do sistema analítico apresentado na Figura 10, alguns reagentes químicos principais foram preparados como se segue:

- Solução ácida de cloreto vanadoso: utilizada para retenção de traços de O_2 no gás de arraste N_2 a partir do cilindro de expansão. Dissolução de 2,5 g de metavanadato de amônio em 25 mL de HCl concentrado à quente, completando para um volume final de 250 mL com água deionizada. O caráter redutor é mantido com adição de cerca de 10 g de zinco metálico amalgamado. (recipiente 2 do sistema de reação/extração).

- Solução 0,05 M de ftalato ácido de potássio (solução padrão pH 4,0): utilizada para a retenção do excesso de Cl^- . Dissolução de 2,55 g de ftalato ácido de potássio para um volume final de 250 mL de água deionizada (recipiente 8 do sistema de reação/extração).

- Solução estoque 0,05 M de $AgNO_3$: utilizada na reação de complexação do S e formação de Ag_2S . Dissolução de 8,49 g de $AgNO_3$ para um volume final de 1000 mL de água deionizada. As soluções de trabalho de $AgNO_3$ são compostas de 50 mL da solução estoque por determinação de AVS (balão 9 do sistema de reação/extração).

- Solução padrão de condutividade elétrica 1,412 mS/cm: utilizado na calibração do condutímetro.

- Padrões de sulfeto: 10, 20, 30, 50, 80, 100 e 150 μ moles de S^{2-} , preparados a partir de $Na_2S \cdot 9H_2O$.

- Solução de HCl 2 M. Solução de trabalho composta por 25 mL de HCl 2 M para a extração de AVS e dos metais.

A curva analítica foi realizada através dos padrões de sulfeto (10, 20, 30, 50, 80, 100 e 150 μ moles) a serem volatilizados pelo ataque ácido (AVS) e os valores de cond (condutividade elétrica final – condutividade elétrica inicial) sendo determinado em triplicata, como se segue:

- Antes do início da operação do sistema analítico, os recipientes 2, 3 e 8, foram preenchidos com as soluções de retenção de O_2 do gás de arraste (solução ácida de cloreto vanadoso), lavagem (água deionizada) e retenção de excesso de Cl^- (solução de ftalato ácido de potássio), respectivamente.
- Após a adição de cada padrão de sulfeto no balão de volatilização/extração (7), foi colocado 25 mL de HCl 2 M no reservatório de ácido (5), e em seguida adicionado no balão de complexação (9), 50 mL de $AgNO_3$ 0,05 M, sendo medida a condutividade inicial dessa solução, antes do acoplamento no sistema;
- Todo o sistema analítico foi purgado com o gás de arraste N_2 com um fluxo de 200 cm^3 por minuto, durante 15 minutos, conectando-se a saída do balão de complexação (9) ao reservatório de ácido (5), com o objetivo da desoxigenação da solução de HCl.
- Findo o tempo de limpeza da linha, foi promovida a entrada da solução de HCl 2 M sobre o padrão de sulfeto, e sob agitação magnética com um fluxo de N_2 de 30 cm^3 por minuto, procedeu-se, durante o tempo de 30 minutos, as reações de volatilização e complexação do H_2S na forma de Ag_2S .
- Após esse período, o fluxo de N_2 foi interrompido e o balão de complexação (9) contendo o Ag_2S precipitado em solução, foi retirado do sistema analítico para medida da condutividade elétrica final.
- Após a limpeza de todo o sistema analítico e a troca do balão de volatilização e extração o processo foi reiniciado com novo padrão a ser determinado.

Ao final do estabelecimento da curva analítica entre os padrões de sulfeto (AVS) e os valores de $\Delta\text{ cond}$, todo o sistema analítico foi preparado para análise das amostras de sedimento de fundo do rio Tietê, onde foram pesados 1 g de sedimento úmido e sendo colocado no balão de volatilização/extração (7) para a determinação do AVS e extração simultânea dos principais metais pesados.

No final do processo analítico, o balão de volatilização/extração (7) foi retirado do sistema analítico e o sedimento residual com a solução extratora ácida de HCl, foi filtrado em filtro de fibra de vidro pré-pesado e secos a 60°C até peso constante, para determinação da massa seca do sedimento. O material filtrado teve o seu volume completado a 50 mL com água Milli-Q e conduzido para análise química. A

unidade utilizada para as concentrações de AVS e metais extraídos simultaneamente foi o $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

Análises paralelas, com respeito ao branco dos reagentes químicos, foram realizadas em triplicata visando à correção do branco analítico.

4.5.5.1 Comparação dos critérios de biodisponibilidade de metais

Com os resultados obtidos pelo AVS foi realizada uma comparação dos critérios de biodisponibilidade utilizando dos parâmetros SEM / AVS, SEM – AVS e $(\text{SEM-AVS}) / C_{\text{org}}$.

4.5.6 Comparação dos métodos SEM-AVS (HCl 2M) e extração seqüencial seletiva

Para tal comparação foi utilizado a de força de ataque do HCl 2M do método SEM-AVS com os reagentes da extração sequencial seletiva para os metais pesados do presente trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se a seis excursões realizadas ao longo do rio Tietê, durante o período de 01/04/2008 a 24/03/2009 sendo definidos e amostrados doze pontos de amostragem, ao longo do projeto foram no total 1.464 amostras e 13.176 análises realizadas.

5.1 Análise granulométrica

As amostras integrais, representativas de cada perfil de amostragem, para as estações de coleta, foram quantificadas com respeito à granulometria das areias e teores de silte/argila conforme item 4.5.2. Os resultados principais podem ser observados na Figura 18.

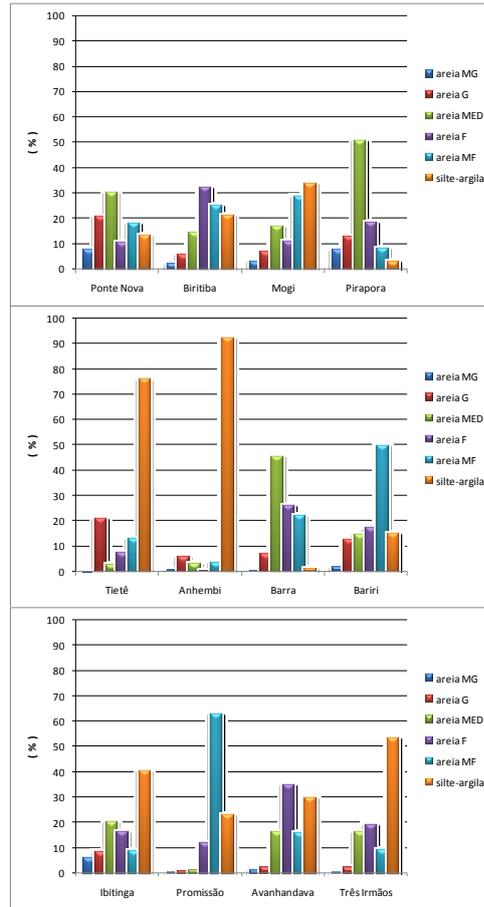


Figura 18. Análise granulométrica das areias e teores de silte/argila para as doze estações de amostragem ao longo do rio Tietê

Conforme pode ser verificado, as estações de amostragem à montante da bacia de drenagem, correspondentes ao alto Tietê, apresentaram altos teores de areia média na estação de amostragem em Ponte Nova e Pirapora 30,11 e 50,50% respectivamente em comparação com as frações silte/argila, onde foi observada uma maior concentração na estação de Mogi das Cruzes 33,86 %.

O predomínio das areias no alto rio Tietê observado se deve principalmente à fragmentação das rochas existentes nessa região.

As estações de amostragem do médio Tietê apresentaram elevados teores de silte/argila, 75,70 e 92,26 % respectivamente para Tietê e Anhembi. Para essas duas estações principalmente onde foram observadas maiores concentrações de silte/argila se devem à mecanização da região, uma vez que essa região é essencialmente agrícola, com um manejo de solo bastante evidente nas últimas décadas.

Entre os reservatórios da Barra e Bariri, um predomínio de areias de média a muito finas que pode ser observado. Da estação de amostragem de Ibitinga até Três

Irmãos, a fração silte/argila foi predominante, com exceção da estação próxima ao reservatório de Promissão, onde as areias muito finas tiveram os teores mais elevados (62,63 %).

5.2 Concentrações totais dos metais pesados e principais espécies químicas nos perfis de sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê

De acordo com o protocolo estabelecido no item 4.5.3. envolvendo fusão alcalina para a extração total dos metais pesados e demais espécies químicas de interesse, foi possível verificar a distribuição dessas concentrações totais em profundidade ao longo da bacia do rio Tietê, desde a nascente (estação de Ponte Nova, em Salesópolis) até a foz na região de Pereira Barreto, na hidroelétrica de Três Irmãos.

O material de referência internacional Soil-7 International Atomic Energy Agency (IAEA), foi utilizado como valores de referência, sendo obtidos os seguintes percentuais médios de recuperação para extração e análise em triplicata: Cr ($92,3 \pm 5,1\%$), Cu ($94,1 \pm 3,2\%$), Co ($95,3 \pm 6,4\%$), Ni ($97,4 \pm 3,4\%$), Zn ($103 \pm 9,2\%$) e Pb ($107,1 \pm 4,8\%$).

As concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas extraídas dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Ponte Nova, próxima as nascentes na bacia do alto rio Tietê podem ser observadas na Tabela 1A, (Apêndice 1).

A Figura 19 ilustra a distribuição dos principais metais pesados, ao longo do perfil amostrado, para a estação de Ponte Nova, a montante na bacia de drenagem do rio Tietê.

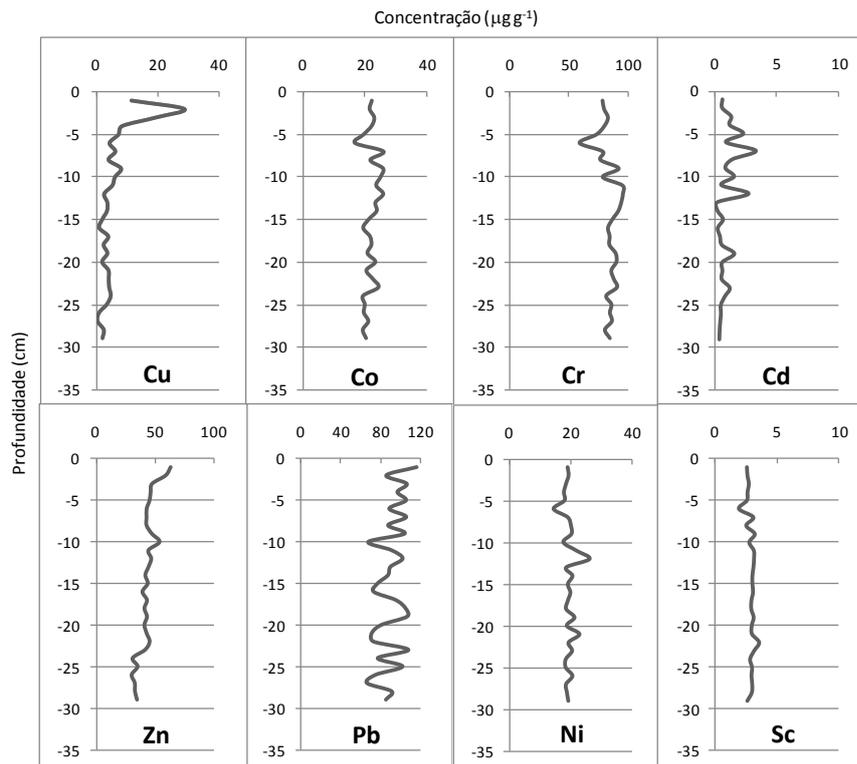


Figura 19. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Ponte Nova, próxima as nascentes do rio Tietê

Pode ser verificado que Cu, Co, Ni e Cd apresentaram baixas concentrações ($5,62 \pm 5,83$; $21,80 \pm 2,24$; $19,40 \pm 2,04$ e $0,95 \pm 0,77 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente) e distribuições com pouca variabilidade ao longo do perfil de profundidade, com exceção para o Cd, cujas concentrações foram muito baixas, enquanto o Cu se mostrou mais concentrado junto à superfície do perfil amostrado. Para Pb, Cr e Zn as concentrações médias foram de $90,22 \pm 13,85$; $83,74 \pm 7,67$ e $42,84 \pm 7,38 \mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente, sendo observadas consideradas baixas variabilidades das concentrações ao longo do perfil de profundidade, com exceção do Pb, cuja variabilidade chegou a ser superior a 15%.

A estação de amostragem de Ponte Nova esta localizada em uma região de preservação natural, ocorrendo pouco ou quase nenhuma ação antrópica, sendo circundada por uma vegetação de mata ciliar, classificada como Floresta Ombrófila Densa (MANTOVANI et al., 1990), além de arbustos e plantas ornamentais. A ocorrência desses metais é justificada pela presença de cambissolos pouco profundos com minerais primários de fácil intemperização enriquecidos em metais pesados.

O Sc, utilizado nas normalizações geoquímicas, apresentou uma distribuição homogênea ao longo do perfil amostrado, com uma média de $2,96 \pm 0,31 \mu\text{g g}^{-1}$.

As concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Biritiba, próxima as nascentes na bacia do alto rio Tietê podem ser observadas na Tabela 2A (Apêndice 1).

A Figura 20 ilustra a distribuição dos principais metais pesados, ao longo do perfil amostrado, para a estação de Biritiba, a montante na bacia de drenagem do rio Tietê.

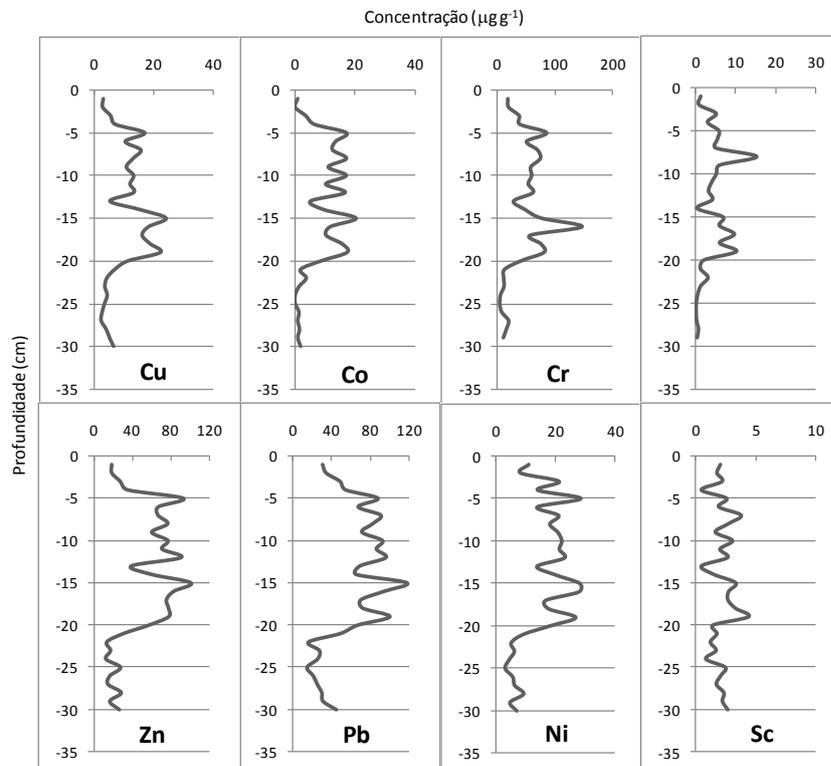


Figura 20. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Biritiba, próxima as nascentes do rio Tietê

As concentrações médias totais de Cd, Ni, Co e Cu nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Biritiba, na bacia do alto rio Tietê, foram de $3,78 \pm 3,57$; $15,12 \pm 7,90$; $7,85 \pm 6,66$ e $10,08 \pm 6,25 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, enquanto que as maiores concentrações foram para o Pb ($59,13 \pm 29,14 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn ($49,31 \pm 28,54 \mu\text{g g}^{-1}$) e Cr ($43,92 \pm 32,77 \mu\text{g g}^{-1}$).

Os elementos Cd, Cu e Zn observados apresentaram uma maior concentração em relação à estação de amostragem anterior, tal efeito tem como justificativa o manejo do solo dessa área, relacionado ao ramo hortifrutigranjeiro introduzido nessa região por imigrantes japoneses.

De uma maneira geral, praticamente todos os metais pesados observados nesta estação de amostragem apresentaram padrões de distribuição similares com elevada variabilidade até 20 cm de profundidade, sendo possivelmente relacionado à remobilização dos sedimentos no leito. Outro fator importante a ser destacado é que abaixo desses 20 cm de profundidade, as distribuições dos principais metais pesados se mostraram mais homogêneas, definindo dessa forma o padrão do fundo geoquímico natural da bacia de drenagem.

As concentrações de Sc também se mostraram bastante variáveis ao longo do perfil de profundidade, mas com baixas concentrações, com um valor médio de $2,20 \pm 0,91 \mu\text{g g}^{-1}$.

As concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Mogi das Cruzes, na bacia do alto rio Tietê, podem ser observadas na Tabela 3A (Apêndice 1).

A Figura 21 ilustra a distribuição dos principais metais pesados, ao longo do perfil amostrado, para a estação de Mogi das Cruzes, a montante na bacia de drenagem do rio Tietê.

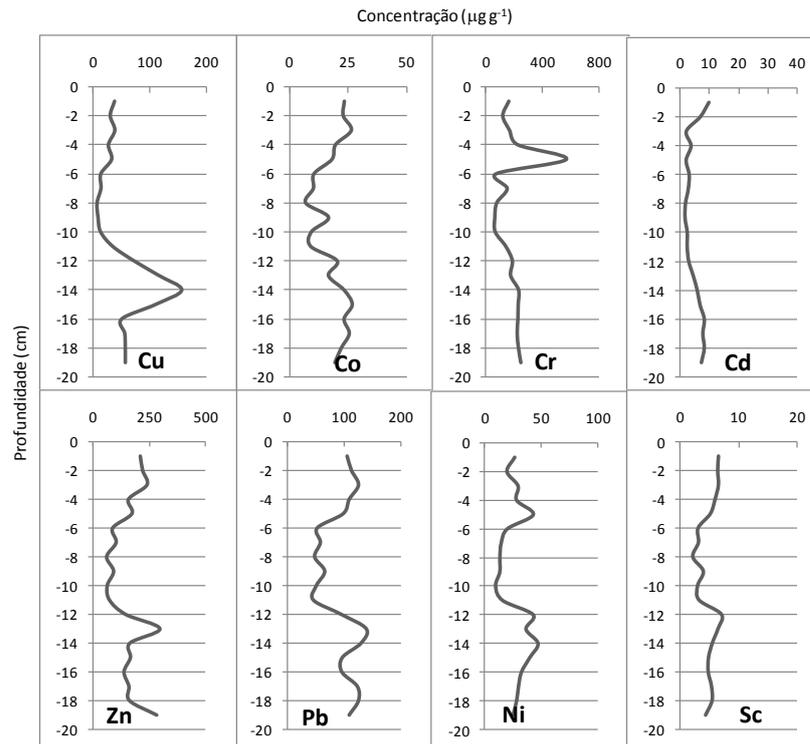


Figura 21. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Mogi das Cruzes, próxima as nascentes do rio Tietê

As concentrações médias totais nos sedimentos de fundo, no perfil de profundidade amostrados foram de Cu, Co, Cd e Ni, $49,50 \pm 40,53$; $18,21 \pm 6,38$; $4,94 \pm 2,75$ e $27,28 \pm 11,38 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, se mostrando superiores as estações de amostragens anteriores.

Nessa região, além do manejo do solo para a agricultura, a pressão urbana já mostra sua influência em termos de efluentes domésticos despejados sem tratamento nos cursos d'água, como também a presença de várias indústrias com destaque a siderurgia e montadoras automobilísticas.

Já os padrões de distribuição das concentrações desses elementos ao longo do perfil de profundidade foram similares, destacando-se concentrações elevadas e pontuais para o Cu, entre 11 e 15 cm, com um máximo de $157,66 \mu\text{g g}^{-1}$ a 14 cm e para o Cr foi observado concentrações médias totais de $190,34 \pm 111,99 \mu\text{g g}^{-1}$, evidenciando-se um pico a 5 cm de profundidade, com uma concentração de $573,99 \mu\text{g g}^{-1}$.

Para Zn, a concentração média verificada foi de $159,08 \pm 69,48 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto para o Pb, a concentração média ao longo do perfil foi de $94,59 \pm 30,62 \mu\text{g g}^{-1}$.

Tais resultados apresentados evidenciam já um forte sinal de contribuição antrópica nesta estação de amostragem.

Na Tabela 4A (Apêndice 1), são apresentadas as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Pirapora, na bacia do alto rio Tietê.

A Figura 22 ilustra a distribuição dos principais metais pesados, ao longo do perfil amostrado, para a estação de Pirapora, parte final da bacia do alto rio Tietê.

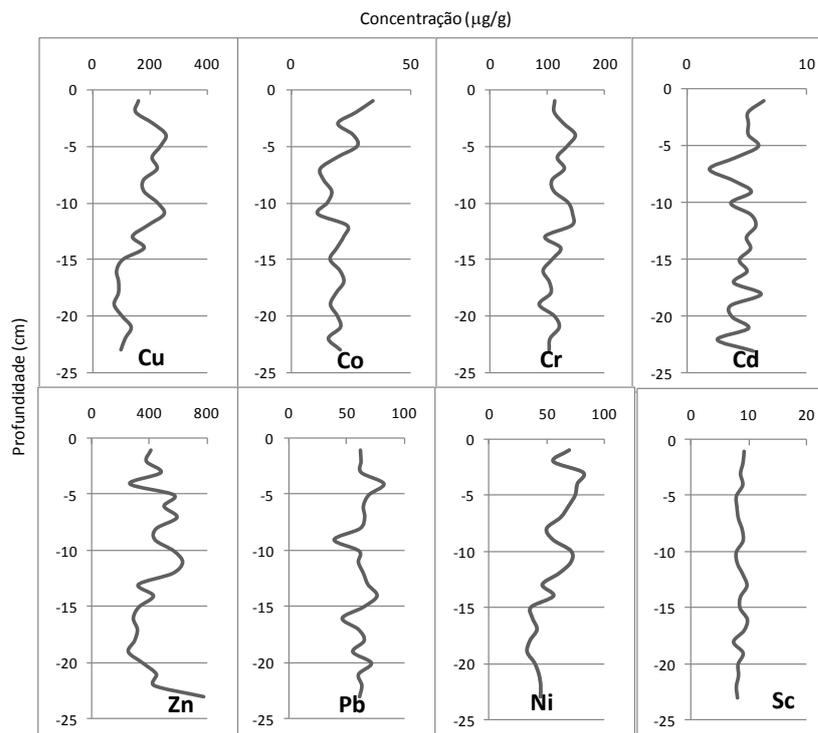


Figura 22. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Pirapora, parte final do alto rio Tietê

Pode ser verificado que as concentrações médias totais dos elementos Cu, Co, e Zn nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Pirapora, na bacia do alto rio Tietê, apresentaram teores superiores as estações anteriores, com teores de $159,59 \pm 58,23$; $19,91 \pm 5,27$; e $439,50 \pm 134,02 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

As elevadas concentrações de metais pesados verificadas nessa estação de amostragem são plenamente justificadas pela pressão urbana da grande cidade de São Paulo, onde principalmente efluentes domésticos são despejados diretamente no rio Tietê, sem nenhum tipo de tratamento, controlado pela extensa zona periférica da cidade. Cabe salientar que chega a ser impactante ao se deparar com esta

estação de amostragem, pois as águas poluídas do Tietê exalam um odor desagradável semelhante a “ovo podre” e por vezes é observada muita espuma.

Os padrões de distribuição das concentrações ao longo do perfil de profundidade se mostraram aleatórios, fato este devido influência dos processos de remobilização e sedimentação que está associado às recentes modificações no leito do rio, com obras para o alargamento e controle de cheias, o que altera as condições naturais a jusante na bacia de drenagem.

Para as concentrações de Sc foi possível observar baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado, embora com concentrações elevadas, com um valor médio de $8,69 \pm 0,62 \mu\text{g g}^{-1}$.

Na Tabela 5A (Apêndice 1), são apresentadas as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê, e a Figura 23 ilustra essa distribuição.

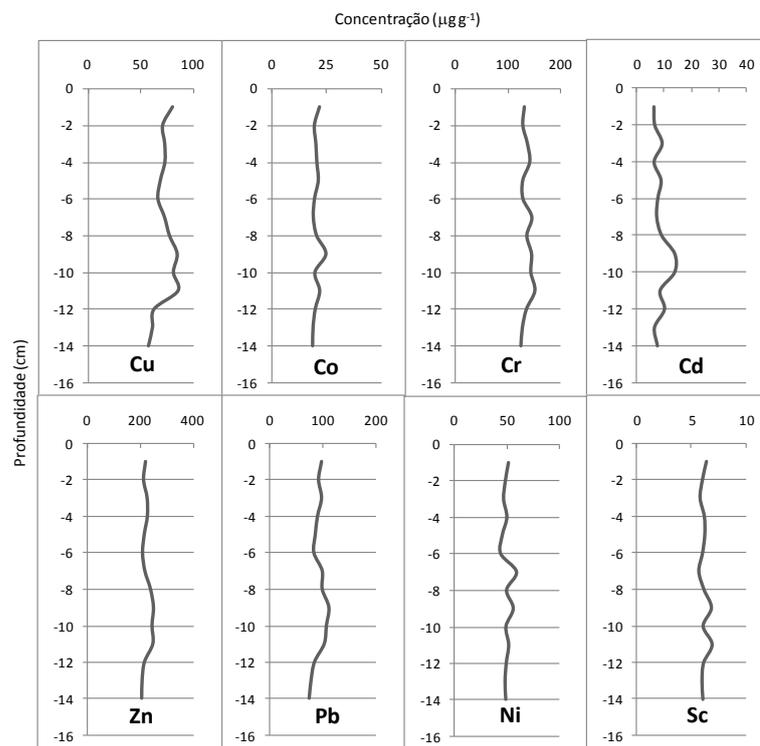


Figura 23. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê

As concentrações médias totais de Cu, Co, Cd e Ni nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê, continuaram elevadas, mas um pouco inferiores às observadas para a

estação anterior de Pirapora, com teores de $72,45 \pm 8,55$; $20,56 \pm 1,51$; $8,70 \pm 2,43$ e $49,38 \pm 3,89 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

Em relação à concentração média total obtida para Cr, com valor de $134,81 \pm 8,28 \mu\text{g g}^{-1}$ este se mostrou mais elevado que a estação de Pirapora, enquanto para o Zn, a concentração média observada ao longo do perfil de $222,85 \pm 16,70 \mu\text{g g}^{-1}$, se mostrou muito elevada em comparação aos demais metais para esta estação de amostragem.

Os padrões de distribuição das concentrações foram similares, apresentando pouca variabilidade ao longo do perfil de profundidade, apesar das elevadas concentrações desses metais em todo o perfil, destacando-se apenas uma concentração pontual para o elemento Cd a 9 cm de profundidade, com um teor de $13,73 \mu\text{g g}^{-1}$.

As concentrações de Sc se mostraram de baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado, com um valor médio de $6,11 \pm 0,34 \mu\text{g g}^{-1}$.

Os valores observados para a concentração refletem a contribuição antrópica através dos efluentes domésticos e industriais, como também as atividades agrícolas, principalmente a cultura de cana-de-açúcar predominante na região

A Tabela 6A (Apêndice 1), são apresentados as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Anhembí, na bacia do médio rio Tietê, e a Figura 24 ilustra essa distribuição.

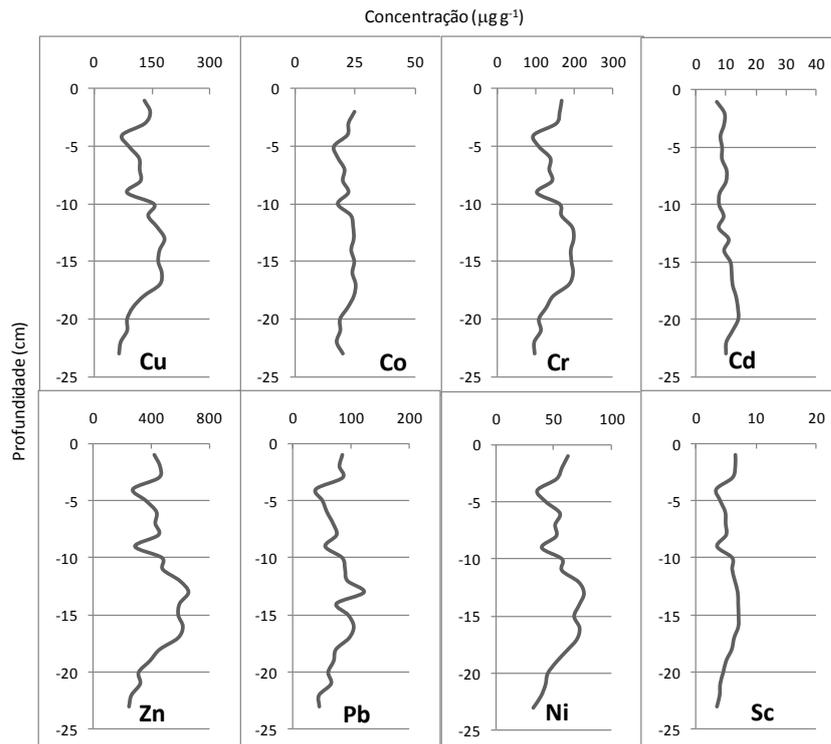


Figura 24. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê

As concentrações médias totais de Cu, Co, Cd e Ni nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê, se mostraram um pouco mais elevadas, ligeiramente superiores às observadas para a estação anterior de Tietê, com exceção do Cu, que se mostrou muito superior, com teor de $126,16 \pm 37,17 \mu\text{g g}^{-1}$. As concentrações obtidas para Co, Cd e Ni foram de $21,02 \pm 2,83$; $10,09 \pm 2,08$ e $55,05 \pm 12,65 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

Os valores obtidos para Cr, $147,84 \pm 36,39 \mu\text{g g}^{-1}$ e para o Pb, $74,33 \pm 21,09 \mu\text{g g}^{-1}$, se mostraram ainda elevados e bastante próximos aos obtidos para a estação de Tietê, enquanto que para o Zn, a concentração média observada ao longo do perfil foi de $439,08 \pm 123,85 \mu\text{g g}^{-1}$, concentração essa duas vezes superior à estação anterior.

Esta região apresenta intensa atividade agrícola, e as altas concentrações verificadas para Zn, juntamente com Cd e Pb, estão associadas ao manejo agrícola, fertilizantes e corretivos, ligados a cultura da cana-de-açúcar, onde esses metais são comumente encontrados (Conceição & Bonotto, 2005).

Podemos verificar ainda concentrações muito elevadas e pontuais para Zn de $616,22 \mu\text{g g}^{-1}$ a 16 cm de profundidade e Cu $183,64 \mu\text{g g}^{-1}$, a 13 cm de profundidade.

As concentrações de Sc se mostraram de baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado, com um valor médio de $5,37 \pm 1,25 \mu\text{g g}^{-1}$.

Na Tabela 7A (Apêndice 1), são apresentadas as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Barra Bonita, na parte final da bacia do médio rio Tietê e a Figura 25 ilustra essa distribuição.

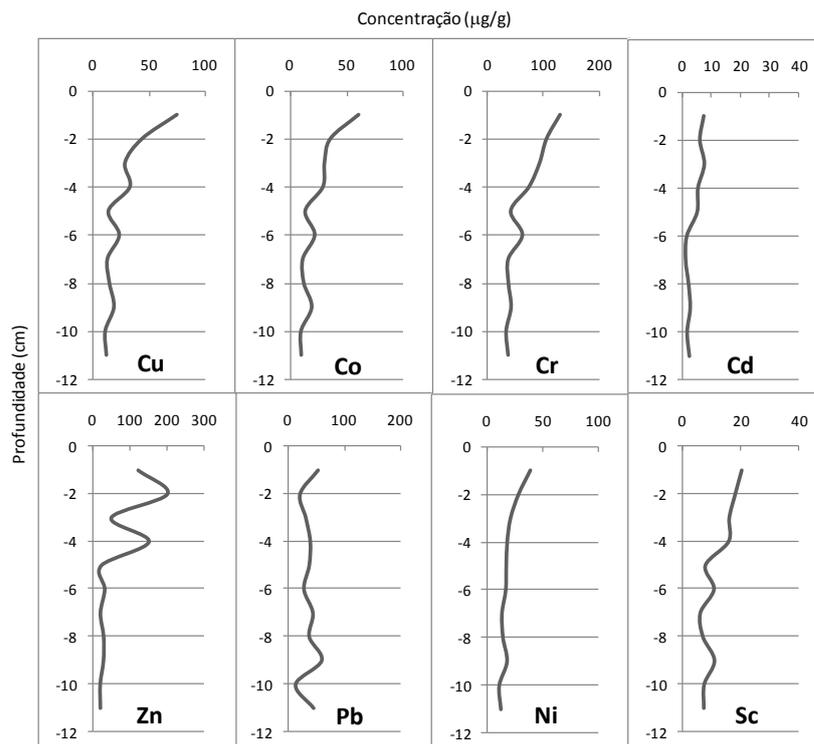


Figura 25. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Barra Bonita, na parte final da bacia do médio rio Tietê

Para a maioria dos metais pesados as concentrações médias totais observadas nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê, se mostraram relativamente baixas, com valores de $26,19 \pm 19,31 \mu\text{g g}^{-1}$ para Cu, $23,07 \pm 15,43 \mu\text{g g}^{-1}$ para Co, $62,92 \pm 33,55 \mu\text{g g}^{-1}$ para Cr, $63,08 \pm 63,39 \mu\text{g g}^{-1}$ para Zn, $3,85 \pm 2,53 \mu\text{g g}^{-1}$ para Cd, $19,05 \pm 8,09 \mu\text{g g}^{-1}$ para Ni e $37,72 \pm 13,34 \mu\text{g g}^{-1}$ para Pb.

Valores médios das concentrações de Cu, Ni e Pb foram similares ao determinado por Silvério (2003), nesta mesma estação de amostragem, os elementos Cd e Zn apesar de apresentarem uma diferença na concentração apresentaram a mesma tendência.

A análise dos perfis de concentração, mostrou um enriquecimento nas camadas superficiais dos sedimentos de fundo, considerados mais recentes, principalmente para Cr, Zn e Pb. Tal evidência se mostrou possivelmente associada ao manejo agrícola dessa região e às contribuições da bacia do rio Piracicaba, que forma o reservatório da Barra Bonita juntamente com o rio Tietê, e as concentrações relativamente baixas estão relacionadas a composição dos sedimentos de fundo nesta estação de amostragem apresentando uma alta porcentagem de areias medias e finas 45,43 e 25,99% respectivamente conforme observado no item 6.1. Esta área apresenta solos suscetíveis á erosão mecânica, fato esse confirmado devido o enriquecimento observado para o Sc na mesma área de drenagem componente do médio rio Tietê, com uma concentração média de $11,75 \pm 5,05 \mu\text{g g}^{-1}$.

Podem ser observadas na Tabela 8A (Apêndice 1) as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Bariri, na parte inicial da bacia do baixo rio Tietê, e a Figura 26 ilustra distribuição dos principais metais pesados.

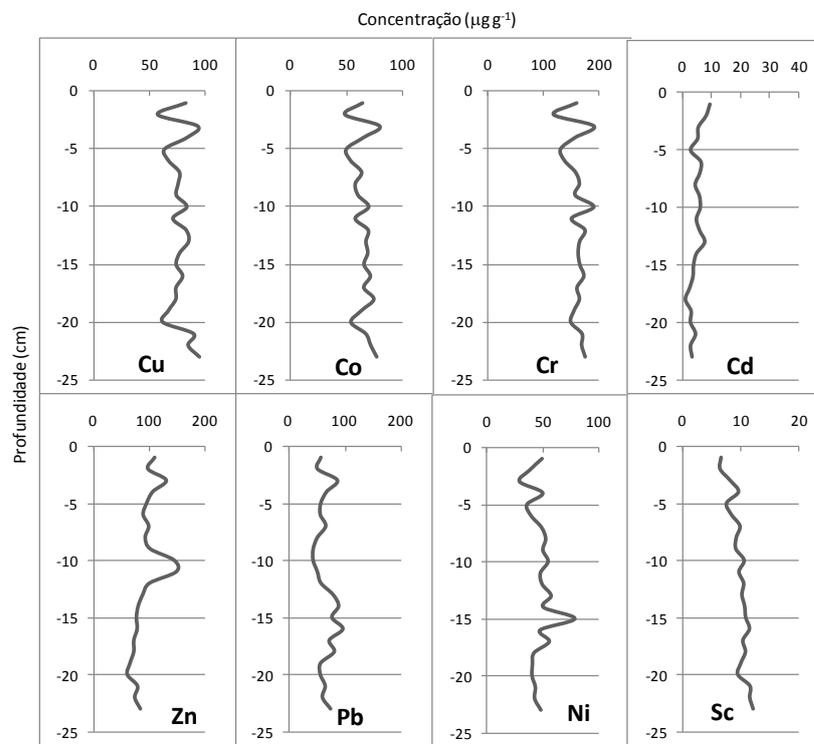


Figura 26. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Bariri, na parte inicial da bacia do baixo rio Tietê

Foi possível verificar que as concentrações médias totais de Cu, Cd, Ni, Zn e Pb nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação

de Bariri, na bacia do baixo rio Tietê, se mostraram ainda inferiores às observadas para a estação anterior da Barra Bonita, com exceção do Co e Cr, que se mostraram superiores, com teores de $64,29 \pm 8,09$ e $161,19 \pm 16,44 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

Almeida e Rocha (2006) determinaram valores similares para as concentrações totais de Cu, Pb, Ni e Zn para esta mesma estação de amostragem.

Nessa estação de amostragem se observa um predomínio de atividades urbanas, industriais e agrícola. No caso particular observado para a alta concentração do Cr se deve principalmente aos curtumes existentes nessa região.

As concentrações de Sc se mostraram de baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado, com um valor médio de $9,75 \pm 1,50 \mu\text{g g}^{-1}$.

As amostras superficiais, próximas a 3 cm de profundidade, se mostraram mais concentradas, fato esse observado para a maioria dos metais pesados analisados no perfil. Observa-se também concentrações pontuais para Zn $147,33 \mu\text{g g}^{-1}$ a 11 cm e Ni $78,83 \mu\text{g g}^{-1}$ a 15 cm de profundidade. A distribuição ao longo do perfil para os metais estudados apresentou-se homogênea ao longo do perfil de profundidade.

As concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê, podem ser observadas na Tabela 9A (Apêndice 1) e a Figura 27 ilustra a distribuição dos principais metais pesados

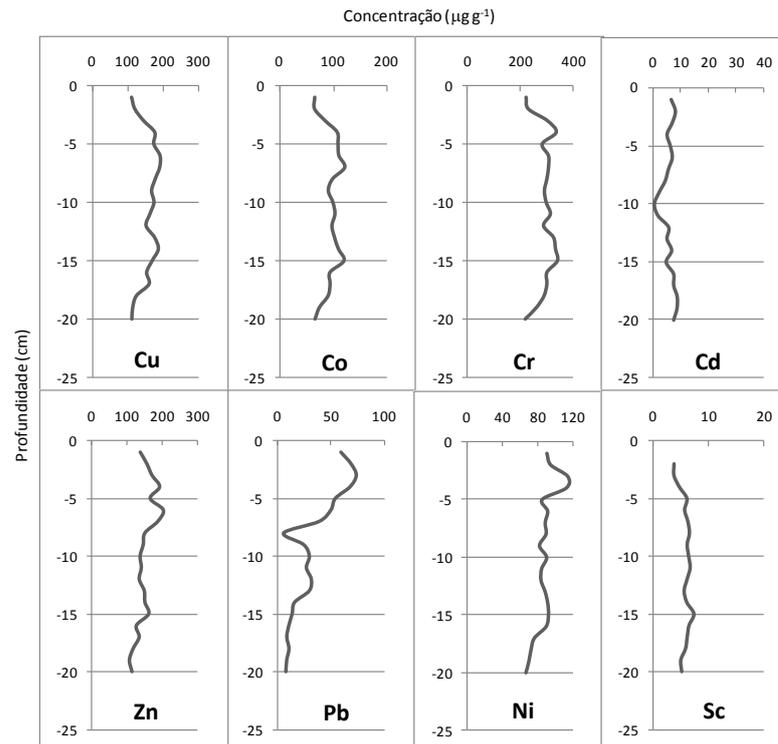


Figura 27. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê

Foi possível verificar que as concentrações médias totais de Cu, Cr, Co e Ni, nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê, se mostraram superiores às observadas para a estação anterior de Bariri, com valores de $155,86 \pm 26,88$, $290,95 \pm 35,83$, $95,79 \pm 17,02$ e $87,75 \pm 11,85 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

As altas concentrações verificadas para os metais pesados podem estar relacionadas às atividades industriais e agrícolas da região, como também aos efluentes domésticos.

O Pb, que se mostrou inferior ao demais com enriquecimento na parte superficial do sedimento, com teor de $31,34 \pm 22,79 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto as concentrações de Sc se mostraram de baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado, com um valor médio de $5,91 \pm 0,93 \mu\text{g g}^{-1}$, inferior ao observado na estação de Bariri.

Na Tabela 10A (Apêndice 1) pode ser observados as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê, e a Figura 28 ilustra a distribuição dos principais metais pesados.

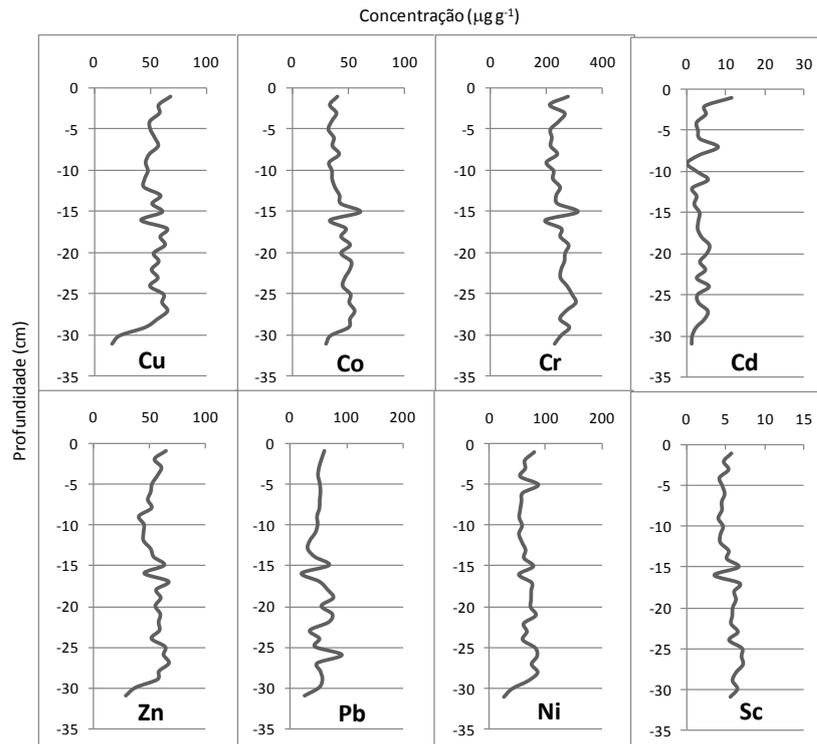


Figura 28. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê.

Foi possível verificar que as concentrações médias totais da maioria dos metais pesados estudados nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, para a estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê, se mostraram inferiores aos valores observados na estação de Ibitinga, embora apresentando uma concentração significativa para os elementos Cu, Cr, Zn e Ni $52,16 \pm 11,04$, $248,59 \pm 28,45$, $52,24 \pm 14,73$ e $65,05 \pm 13,88 \mu\text{g g}^{-1}$ e respectivamente. Já Pb se mostrou uma concentração superior de $52,24 \pm 14,73 \mu\text{g g}^{-1}$.

As distribuições das concentrações ao longo do perfil se mostraram de baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado, assim como o Sc apresentando um valor médio de $5,55 \pm 0,98 \mu\text{g g}^{-1}$.

Os valores observados das concentrações de metais pesados podem estar relacionados às atividades industriais e agrícolas da região, como também aos efluentes domésticos.

Na Tabela 11A (Apêndice 1) são apresentadas as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê e a Figura 29 ilustra a distribuição dos principais metais pesados.

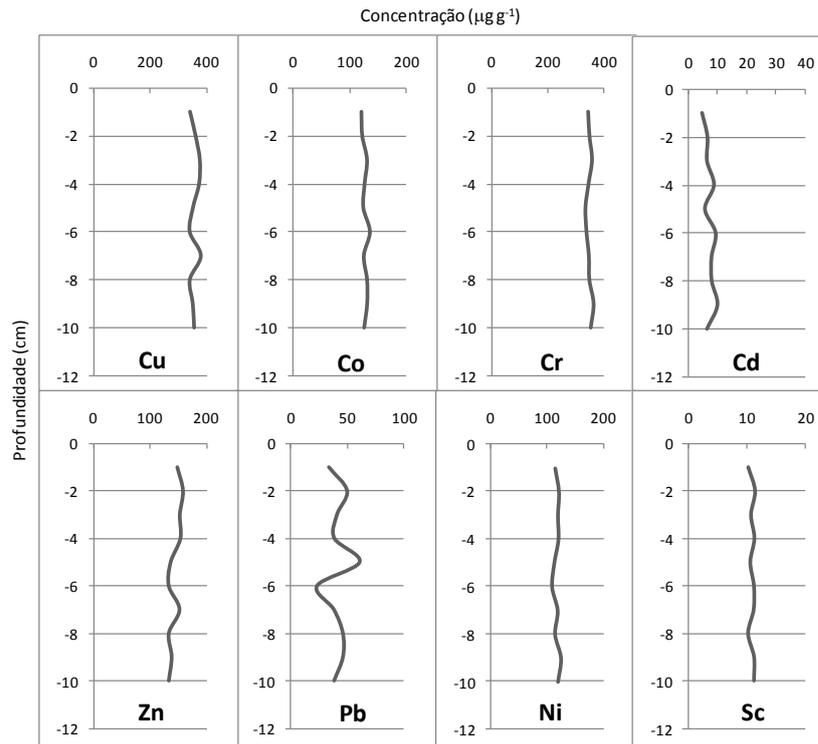


Figura 29. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê.

Puderam ser observadas elevadas concentrações de Cu, Co, Cr e Ni nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, com valores médios de $356,12 \pm 14,97$; $126,70 \pm 4,65$; $345,97 \pm 8,92$ e $118,03 \pm 4,59 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Tais valores podem estar associados aos elementos gerados na agroindústria desenvolvida na região, com cana-de-açúcar, pecuária de corte e laticínios. Os valores de Cr podem estar associados aos pontos de curtumes estabelecidos próximos as regiões ribeirinhas. O controle de algas em reservatórios normalmente utiliza CuSO_4 como algicida, mas no entanto essa informação ainda não se encontra disponível para a região.

As concentrações de Cd e Pb, por outro lado, se mostraram baixas com respeito aos demais metais, mas com distribuições similares ao longo do perfil amostrado, com médias de $7,40 \pm 1,71$ e $41,52 \pm 9,92 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. O Pb apresentou uma concentração pontual elevada de $60,54 \mu\text{g g}^{-1}$ a 5 cm de profundidade.

Com referencia a concentração de Sc esse se mostrou novamente de baixa variabilidade ao longo do perfil amostrado idêntico aos demais metais, com um valor médio de $10,94 \pm 0,46 \mu\text{g g}^{-1}$, muito superior ao observado para a estação anterior de Promissão.

Na Tabela 12A (Apêndice 1) são apresentadas as concentrações totais dos metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Três Irmãos, na foz do rio Tietê e a Figura 30 ilustra a distribuição dos principais metais pesados

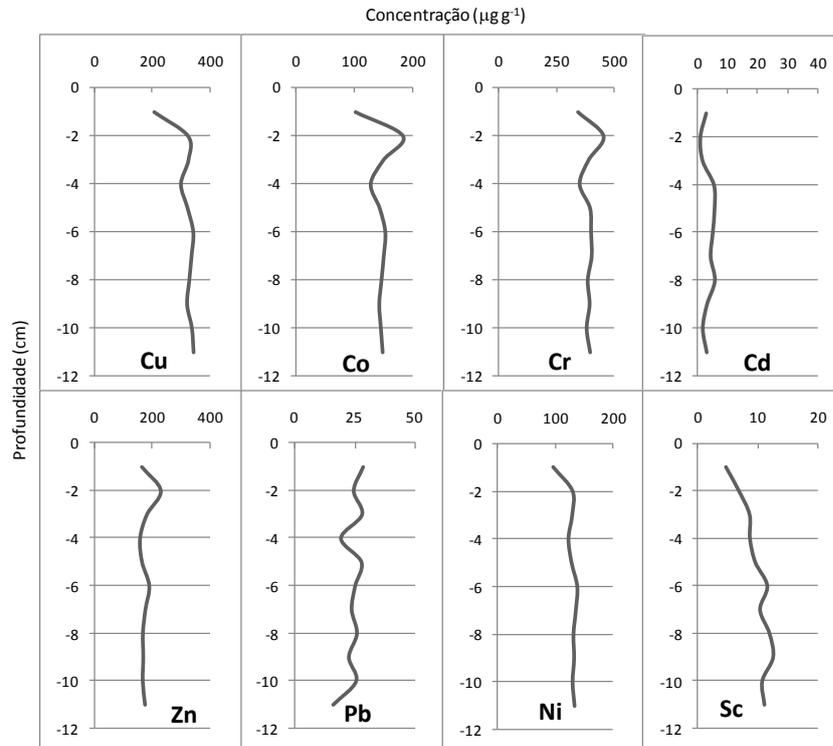


Figura 30. Concentrações totais dos principais metais pesados extraídos dos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Três Irmãos, na foz do rio Tietê.

Da mesma forma como verificado para a estação de Nova Avanhandava, elevadas concentrações de Cu, Co, Cr e Ni nos sedimentos de fundo, nos perfis de profundidade amostrados, puderam ser observadas na foz do rio Tietê, junto à estação de Três Irmãos, com valores médios de $314,94 \pm 38,06$; $145,25 \pm 19,61$; $392,04 \pm 28,89$ e $128,47 \pm 11,11 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

Conforme destacado para a estação de Nova Avanhandava, essas concentrações elevadas podem estar associadas aos processos agroindustriais desenvolvidos na região, com cana-de-açúcar, pecuária de corte e laticínios. Os valores de Cr também podem estar associados aos pontos de curtumes estabelecidos próximos as regiões ribeirinhas. O controle de algas em reservatórios normalmente utiliza CuSO_4 como algicida, mas no entanto essa informação ainda não se encontra disponível para a região.

O mesmo padrão da estação anterior, foi observado para as concentrações de Zn, Cd e Pb, que também se mostraram baixas com respeito aos demais metais e também foram mais baixas que Nova Avanhandava, com médias de $178,32 \pm 19,62$; $3,79 \pm 1,75$ e $24,30 \pm 3,76 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, enquanto as concentrações de Sc foram similares à estação anterior, com um valor médio de $9,72 \pm 2,34 \mu\text{g g}^{-1}$.

5.2.1 Óxidos principais nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê

Conforme o item 4.5.3.1., foi calculado os principais óxidos nos sedimentos de fundo, ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade.

Os valores calculados em termos percentuais de óxidos totais para as estações de amostragem do alto rio Tietê, próximos as nascentes, Ponte Nova e Biritiba, pode ser observados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Encontram-se incluídas nessas tabelas as concentrações percentuais da matéria orgânica, dados médios e desvio-padrão

De uma maneira geral, pode ser observado para a parte alta da bacia do rio Tietê, próximo as nascentes, para a estação de amostragem em Ponte Nova, um predomínio de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , com concentrações de $51,61 \pm 2,21$, $29,79 \pm 1,19$ e $3,34 \pm 0,33$ %, respectivamente. Concentrações similares foram verificadas um pouco mais a jusante, na estação de Biritiba, com $63,96 \pm 17,45$, $16,07 \pm 9,52$ e $1,38 \pm 1,06$ %, respectivamente.

Tabela 2. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Ponte Nova, na bacia do alto rio Tietê

Ponte Nova	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	52,89	27,82	3,05	0,03	0,48	0,18	0,21	1,62	10,70
1-2	50,59	28,39	2,90	0,02	0,44	0,19	0,20	1,59	10,61
2-3	54,05	30,54	3,00	0,02	0,44	0,19	0,21	1,47	9,58
3-4	53,17	30,01	3,06	0,02	0,46	0,20	0,22	1,43	8,60
4-5	52,78	28,91	2,86	0,02	0,43	0,19	0,21	1,42	8,36
5-6	53,88	28,00	2,30	0,01	0,36	0,14	0,17	1,02	8,15
6-7	52,55	29,47	3,05	0,02	0,40	0,18	0,19	1,30	7,87
7-8	50,49	27,67	2,95	0,02	0,38	0,17	0,25	1,19	7,68
8-9	52,99	30,05	3,41	0,02	0,41	0,18	0,20	1,30	8,09
9-10	55,03	31,92	3,51	0,02	0,42	0,19	0,21	1,34	7,44
10-11	50,72	29,75	3,31	0,02	0,41	0,18	0,21	1,20	7,20
11-12	51,16	30,28	3,39	0,01	0,41	0,19	0,22	1,52	5,74
12-13	51,65	30,33	3,39	0,01	0,37	0,19	0,19	1,38	5,60
13-14	51,92	31,36	3,44	0,01	0,37	0,19	0,20	1,42	5,40
14-15	48,95	28,35	3,46	0,01	0,36	0,18	0,20	1,32	5,58
15-16	50,10	29,32	3,43	0,01	0,38	0,19	0,20	1,27	5,61
16-17	51,69	29,01	3,39	0,01	0,35	0,18	0,19	1,23	5,23
17-18	50,79	30,24	3,62	0,01	0,38	0,19	0,22	1,20	5,07
18-19	50,22	30,59	3,56	0,01	0,40	0,19	0,22	1,19	5,01
19-20	49,14	30,13	3,73	0,01	0,44	0,20	0,26	1,16	4,81
20-21	47,80	29,22	3,52	0,01	0,36	0,19	0,20	1,15	4,84
21-22	50,45	30,08	3,64	0,01	0,39	0,20	0,22	1,22	4,71
22-23	49,95	30,38	3,68	0,01	0,40	0,17	0,22	1,18	4,57
23-24	49,23	29,52	3,35	0,01	0,42	0,15	0,21	1,09	4,52
24-25	49,10	30,47	3,42	0,01	0,42	0,14	0,20	1,08	4,58
25-26	50,51	30,01	3,51	0,01	0,35	0,16	0,18	1,06	4,67
26-27	56,03	32,07	3,77	0,01	0,44	0,17	0,23	1,08	4,81
27-28	51,62	28,28	3,39	0,01	0,38	0,16	0,21	1,09	4,72
28-29	57,33	31,80	3,78	0,01	0,47	0,17	0,23	1,11	4,63
média	51,61	29,79	3,34	0,01	0,40	0,18	0,21	1,26	6,36
SD	2,21	1,19	0,33	0,00	0,04	0,02	0,02	0,16	1,93

As variabilidades observadas nas concentrações percentuais de SiO_2 e Al_2O_3 para essa estação de amostragem, ao longo do perfil de profundidade, sugere uma heterogeneidade de deposição desses sedimentos, quando comparada com a mesma distribuição obtida para a estação de Ponte Nova, conforme pode ser verificado nas Figura 31, a mesma variabilidade se mostrou associada ao perfil da matéria orgânica nos sedimentos, principalmente para o Al_2O_3 , enquanto que a distribuição de SiO_2 ao longo do perfil, para a estação de Biritiba, se mostrou inversamente proporcional à variabilidade da matéria orgânica.

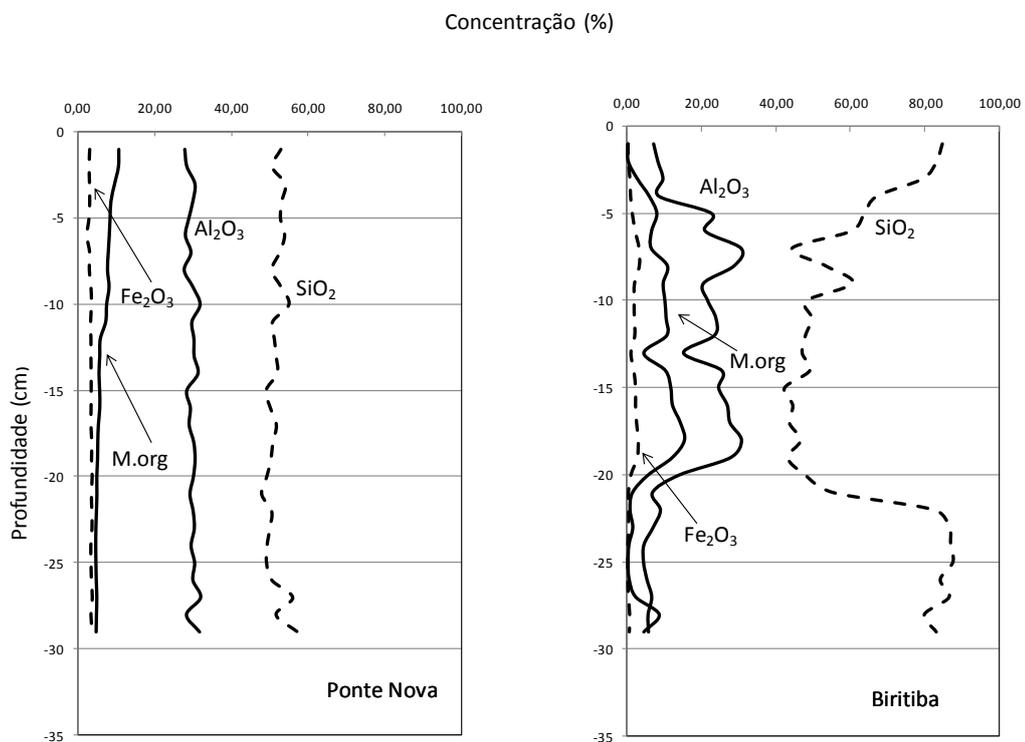


Figura 31. Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Ponte Nova e Biritiba, no alto rio Tietê

Os valores calculados em termos percentuais de óxidos totais para as estações de amostragem do alto rio Tietê, nas estações de amostragem em Mogi das Cruzes e Pirapora, pode ser observados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Encontram-se incluídas nessas tabelas as concentrações percentuais da matéria orgânica, dados médios e desvio-padrão

Tabela 3. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Biritiba, na bacia do alto rio Tietê

Biritiba	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	84,77	7,22	0,22	0,01	0,10	0,05	0,20	2,88	0,31
1-2	83,25	8,36	0,31	0,01	0,12	0,07	0,26	3,23	0,40
2-3	79,51	9,73	0,75	0,02	0,15	0,11	0,30	3,36	2,83
3-4	67,19	8,62	0,93	0,06	0,50	0,13	0,24	3,51	6,03
4-5	63,75	22,84	1,42	0,07	0,28	0,27	0,19	2,70	8,09
5-6	60,32	21,06	2,23	0,05	0,24	0,26	0,37	4,02	6,67
6-7	44,30	30,74	3,31	0,05	0,19	0,19	0,15	1,70	6,60
7-8	53,40	28,84	3,39	0,06	0,24	0,27	0,25	3,08	10,93
8-9	60,64	20,63	2,04	0,05	0,23	0,27	0,50	5,80	9,80
9-10	48,20	21,76	1,92	0,06	0,23	0,29	0,37	4,88	10,26
10-11	49,62	23,95	1,99	0,06	0,27	0,34	0,43	4,96	10,58
11-12	47,93	23,52	2,11	0,07	0,21	0,33	0,37	4,87	10,72
12-13	47,08	15,27	1,03	0,03	0,20	0,24	0,53	5,28	4,58
13-14	49,13	25,51	1,85	0,05	0,26	0,31	0,43	4,91	10,38
14-15	42,33	24,70	2,34	0,07	0,19	0,30	0,27	3,57	11,84
15-16	44,54	27,01	2,33	0,07	0,19	0,28	0,23	3,27	12,31
16-17	43,62	27,73	2,62	0,06	0,26	0,34	0,35	3,66	14,42
17-18	46,65	30,83	3,09	0,07	0,24	0,30	0,19	2,50	15,51
18-19	43,19	27,86	2,80	0,07	0,19	0,25	0,19	2,56	12,22
19-20	47,85	14,05	1,01	0,04	0,13	0,21	0,46	4,64	5,73
20-21	55,36	6,92	0,33	0,01	0,08	0,07	0,35	3,77	1,55
21-22	82,68	9,05	0,37	0,01	0,10	0,09	0,37	3,82	0,88
22-23	86,67	7,11	0,38	0,01	0,10	0,08	0,35	3,30	1,61
23-24	87,01	4,62	0,19	0,01	0,07	0,04	0,25	2,62	0,58
24-25	87,61	4,52	0,17	0,01	0,07	0,04	0,24	2,57	0,35
25-26	84,22	5,44	0,18	0,01	0,06	0,04	0,20	2,39	0,66
26-27	86,59	6,72	0,33	0,01	0,08	0,06	0,24	3,02	2,43
27-28	79,94	5,74	0,68	0,01	0,14	0,10	0,27	3,19	8,72
28-29	83,16	5,85	0,57	0,01	0,09	0,10	0,33	3,44	4,58
29-30	78,43	5,79	0,55	0,01	0,08	0,11	0,31	3,63	3,42
média	63,96	16,07	1,38	0,04	0,18	0,19	0,31	3,57	6,50
SD	17,45	9,52	1,06	0,03	0,09	0,11	0,10	0,98	4,74

Tabela 4. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Mogi das Cruzes, na bacia do alto rio Tietê

Mogi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	46,99	27,21	3,67	0,05	0,55	0,46	0,31	1,90	6,77
1-2	48,76	29,72	3,56	0,04	0,49	0,45	0,19	1,64	9,62
2-3	47,44	30,86	3,72	0,05	0,48	0,42	0,20	1,67	5,19
3-4	53,46	30,18	3,55	0,05	0,47	0,42	0,23	1,81	5,79
4-5	49,23	27,07	3,30	0,05	0,57	0,42	0,32	2,77	4,24
5-6	67,86	15,06	1,74	0,03	0,35	0,30	0,30	2,49	3,21
6-7	66,59	15,79	2,10	0,03	0,35	0,32	0,26	2,36	5,00
7-8	75,90	10,79	1,56	0,02	0,25	0,25	0,25	2,00	1,96
8-9	70,43	13,34	1,81	0,03	0,27	0,25	0,22	2,09	2,27
9-10	68,97	15,73	1,76	0,02	0,25	0,24	0,22	2,34	2,66
10-11	66,95	19,58	2,35	0,03	0,41	0,21	0,23	2,41	5,18
11-12	47,27	31,46	4,10	0,05	0,41	0,30	0,21	2,05	5,48
12-13	47,45	30,52	3,75	0,04	0,45	0,29	0,28	1,94	5,21
13-14	49,82	28,75	4,13	0,08	0,38	0,31	0,21	2,26	7,03
14-15	48,19	30,88	4,20	0,21	0,42	0,38	0,21	2,58	10,54
15-16	47,61	28,56	3,85	0,25	0,42	0,37	0,21	2,53	12,20
16-17	47,59	31,15	4,13	0,21	0,44	0,38	0,20	2,35	11,55
17-18	47,32	31,87	4,00	0,21	0,42	0,37	0,19	2,34	11,58
18-19	48,78	28,50	3,37	0,14	0,41	0,40	0,32	2,60	12,21
média	55,08	25,11	3,19	0,08	0,41	0,34	0,24	2,22	6,72
SD	10,29	7,30	0,96	0,08	0,09	0,08	0,05	0,33	3,50

Tabela 5. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Pirapora, na bacia do alto rio Tietê

Pirapora	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	64,10	19,91	6,18	0,07	1,15	1,12	0,37	3,55	4,06
1-2	63,54	20,39	6,13	0,07	1,08	1,08	0,38	4,25	3,51
2-3	61,93	19,92	5,69	0,07	1,25	1,08	0,40	3,32	4,16
3-4	62,68	23,14	6,05	0,07	1,47	1,13	0,36	3,56	5,34
4-5	59,17	22,63	6,31	0,07	1,40	1,15	0,31	3,39	5,03
5-6	58,24	19,49	5,10	0,06	1,22	1,15	0,35	2,96	5,61
6-7	52,37	19,18	4,52	0,05	1,19	1,17	0,40	2,53	6,25
7-8	51,22	18,50	4,53	0,06	1,11	1,18	0,38	2,52	5,23
8-9	51,51	17,95	4,62	0,06	1,12	1,15	0,36	2,50	5,16
9-10	54,03	19,31	4,65	0,06	1,30	1,15	0,37	2,51	6,05
10-11	55,88	22,82	5,39	0,06	1,31	1,13	0,37	2,74	6,29
11-12	57,92	23,21	6,11	0,07	1,07	1,10	0,38	3,29	5,87
12-13	62,09	18,99	5,47	0,07	1,07	1,02	0,37	3,34	2,95
13-14	55,00	21,46	5,61	0,07	1,16	0,88	0,28	2,85	4,64
14-15	52,97	24,85	6,35	0,05	0,46	0,70	0,19	2,88	2,98
15-16	45,63	23,00	5,87	0,04	0,28	0,62	0,14	2,54	2,66
16-17	50,44	25,49	6,52	0,05	0,28	0,61	0,11	2,73	2,67
17-18	53,45	25,67	6,43	0,05	0,28	0,60	0,12	2,90	2,34
18-19	46,28	21,73	5,53	0,04	0,24	0,49	0,10	2,45	2,22
19-20	57,43	27,34	6,90	0,05	0,33	0,65	0,14	3,07	2,66
20-21	55,03	28,13	6,97	0,05	0,36	0,71	0,16	3,01	3,38
21-22	52,55	25,53	6,38	0,05	0,37	0,68	0,18	2,79	3,69
22-23	57,08	25,81	6,64	0,05	0,39	0,67	0,20	3,02	3,38
média	55,68	22,37	5,82	0,06	0,86	0,92	0,28	2,99	4,18
SD	5,14	3,01	0,75	0,01	0,45	0,25	0,11	0,44	1,36

Pode ser observado para a estação de amostragem em Mogi das Cruzes, um predomínio de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , com concentrações de $55,08 \pm 10,29$, $25,11 \pm 7,30$ e $3,19 \pm 0,96$, respectivamente, enquanto que para a estação de Pirapora os percentuais verificados foram $55,68 \pm 5,14$, $22,37 \pm 3,01$ e $5,82 \pm 0,75$, respectivamente. A distribuição de SiO_2 , ao longo do perfil de profundidade para a estação de Mogi das Cruzes apresentou um aumento anormal de concentração entre 5 e 12cm de profundidade, seguido de maneira inversa pelo Al_2O_3 (Figura 32), enquanto a matéria orgânica se mostrou mais concentrada em profundidade.

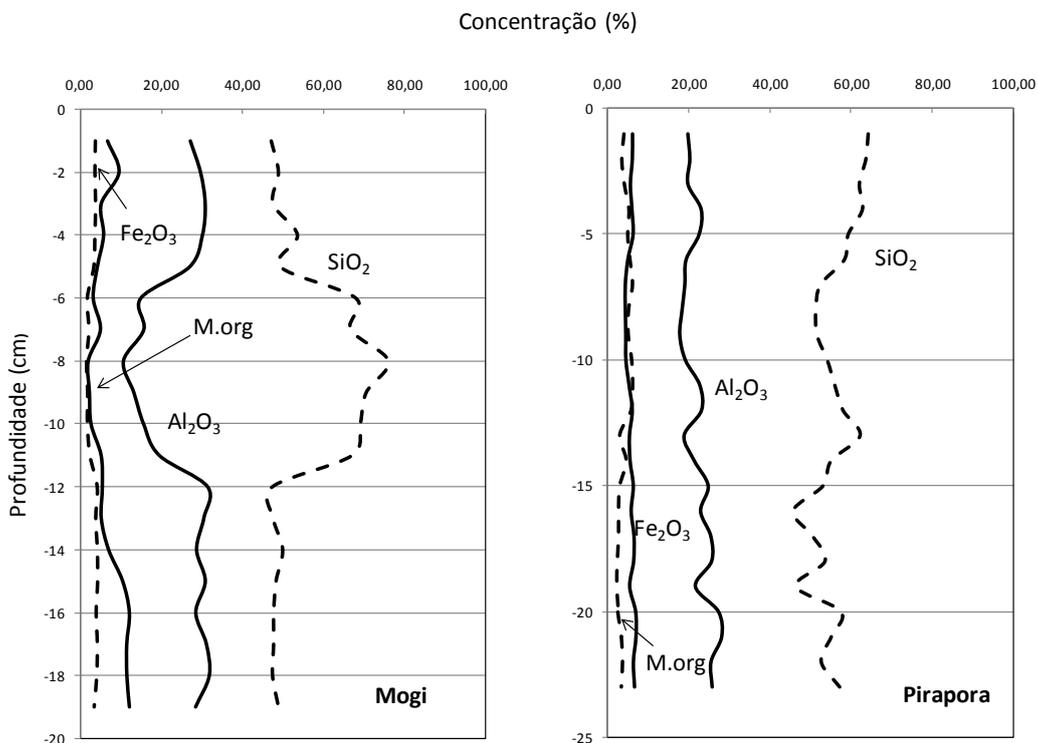


Figura 32. Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Mogi das Cruzes e Pirapora, no alto rio Tietê

Os resultados das composições químicas das amostras dos sedimentos em perfis de profundidade na bacia do médio Tietê, para as estações de amostragem em Tietê, Anhembi e Barra Bonita, podem ser observadas nas Tabelas 6, 7 e 8 respectivamente. Encontra-se incluídas nessas tabelas as concentrações percentuais da matéria orgânica, dados médios e desvio-padrão

Tabela 6. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Tietê, na bacia do médio rio Tietê

Tietê	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	65,96	17,89	5,66	0,13	0,38	0,59	0,22	2,34	2,58
1-2	60,33	21,18	5,29	0,14	0,31	0,55	0,20	2,15	2,75
2-3	64,12	18,01	5,57	0,14	0,31	0,58	0,21	2,27	2,70
3-4	63,64	16,90	5,81	0,17	0,31	0,57	0,20	2,43	2,72
4-5	61,61	18,80	5,37	0,14	0,29	0,55	0,21	2,29	2,58
5-6	67,45	16,89	5,47	0,13	0,29	0,54	0,22	2,44	2,62
6-7	62,02	18,42	5,35	0,16	0,32	0,54	0,21	2,19	2,58
7-8	59,32	19,02	5,71	0,18	0,28	0,56	0,21	2,20	2,62
8-9	67,62	18,69	5,89	0,13	0,28	0,61	0,21	2,35	2,72
9-10	63,28	16,52	5,89	0,18	0,27	0,56	0,21	2,28	2,72
10-11	68,28	17,68	6,24	0,18	0,26	0,60	0,23	2,59	2,52
11-12	69,29	17,06	5,88	0,16	0,25	0,59	0,22	2,62	2,33
12-13	67,33	16,06	5,46	0,11	0,52	0,56	0,37	2,49	2,21
13-14	68,91	16,02	5,34	0,08	0,51	0,58	0,38	2,49	2,19
média	64,94	17,80	5,64	0,15	0,33	0,57	0,24	2,37	2,56
SD	3,33	1,39	0,28	0,03	0,09	0,02	0,06	0,15	0,19

Tabela 7. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Anhembi, na bacia do médio rio Tietê

Anhembi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	63,32	15,81	6,37	0,10	0,52	0,70	0,27	1,99	4,76
1-2	63,79	16,45	6,63	0,12	0,54	0,70	0,25	2,05	4,78
2-3	64,43	15,78	6,41	0,13	0,53	0,68	0,23	2,09	4,66
3-4	65,24	10,26	4,55	0,12	0,41	0,47	0,32	1,97	2,81
4-5	67,29	11,12	4,93	0,13	0,42	0,50	0,26	1,79	3,69
5-6	65,47	13,29	5,71	0,13	0,52	0,59	0,25	2,02	4,32
6-7	63,29	12,65	5,60	0,14	0,52	0,58	0,23	2,02	4,76
7-8	62,56	13,80	5,84	0,13	0,55	0,61	0,23	2,00	4,71
8-9	59,80	10,54	4,46	0,11	0,43	0,51	0,27	1,86	3,04
9-10	58,30	15,49	6,43	0,12	0,67	0,89	0,22	2,05	5,27
10-11	56,65	15,67	6,55	0,12	0,66	0,87	0,21	2,11	5,29
11-12	53,04	17,56	7,12	0,10	0,68	0,81	0,20	2,00	5,51
12-13	51,36	18,51	7,53	0,11	0,71	0,79	0,19	2,07	6,12
13-14	53,25	17,88	7,31	0,11	0,68	0,78	0,19	2,12	5,73
14-15	54,58	18,23	7,44	0,10	0,65	0,77	0,19	2,09	5,27
15-16	53,89	18,61	7,65	0,11	0,65	0,79	0,19	2,10	5,66
16-17	53,56	15,30	6,74	0,12	0,56	0,67	0,17	1,86	5,88
17-18	55,19	13,98	6,34	0,11	0,52	0,63	0,21	1,86	4,76
18-19	65,64	12,86	5,95	0,12	0,57	0,56	0,25	1,96	4,22
19-20	63,51	11,61	5,52	0,12	0,43	0,52	0,24	1,89	3,67
20-21	64,96	11,43	5,46	0,12	0,44	0,51	0,23	1,75	3,93
21-22	68,84	10,90	5,05	0,12	0,42	0,50	0,26	1,86	3,43
22-23	68,74	10,36	4,72	0,11	0,41	0,47	0,23	1,71	3,50
média	60,73	14,26	6,10	0,12	0,54	0,65	0,23	1,97	4,60
SD	5,63	2,84	0,97	0,01	0,10	0,13	0,04	0,12	0,94

Tabela 8. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê

Barra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	76,27	9,35	5,35	0,12	0,36	0,38	0,11	0,92	8,13
1-2	76,25	6,42	3,14	0,07	0,23	0,23	0,16	0,72	6,44
2-3	66,48	4,99	2,50	0,05	0,09	0,12	0,05	0,62	4,68
3-4	69,11	5,15	2,53	0,05	0,09	0,12	0,13	0,65	3,89
4-5	85,56	2,28	1,36	0,03	0,08	0,04	0,02	0,42	1,94
5-6	75,88	2,93	1,89	0,04	0,09	0,08	0,03	0,51	2,19
6-7	90,81	1,74	1,03	0,02	0,06	0,02	0,01	0,36	1,02
7-8	91,43	2,03	1,19	0,03	0,06	0,03	0,02	0,37	1,05
8-9	88,74	3,19	1,66	0,03	0,06	0,06	0,02	0,44	1,79
9-10	88,28	2,20	1,08	0,02	0,06	0,02	0,01	0,35	0,92
10-11	78,72	2,26	0,98	0,02	0,06	0,02	0,01	0,39	0,70
média	80,68	3,87	2,06	0,04	0,11	0,10	0,05	0,52	2,98
SD	8,75	2,38	1,31	0,03	0,09	0,11	0,06	0,19	2,50

Enquanto que para as estações de Tietê e Anhembi, as concentrações de SiO_2 foram similares, da ordem de 60%, os valores observados para a estação da Barra Bonita se mostraram mais concentrados, ficando em torno de 80%, principalmente devido às características mais arenosas dos solos predominantes na região.

As distribuições de Al_2O_3 ao longo do perfil de profundidade, conforme ilustrados na Figura 33 foram similares para as estações de Tietê e Anhembi, com concentrações médias de $17,80 \pm 1,39$ % e $14,26 \pm 2,84$ %, respectivamente, enquanto que para a estação da Barra Bonita, o teor médio de Al_2O_3 foi mais baixo, $3,87 \pm 2,38$ %, se mostrando mais concentrados em superfície.

Em termos de Fe_2O_3 , o comportamento da estação de Barra Bonita foi o mesmo do Al_2O_3 , se mostrando também mais concentrado em superfície, com valor de $2,06 \pm 1,31$ %, ainda inferior ao observado para as estações de Tietê e Anhembi, com $5,64 \pm 0,28$ % e $6,10 \pm 0,97$ %, respectivamente. As distribuições dos óxidos principais e da matéria orgânica, ao longo do perfil de profundidade, para as estações de Tietê, Anhembi e Barra Bonita se mostraram bastante similares, com uma maior variabilidade para o SiO_2 , enquanto a matéria orgânica se mostrou mais concentrada em superfície.

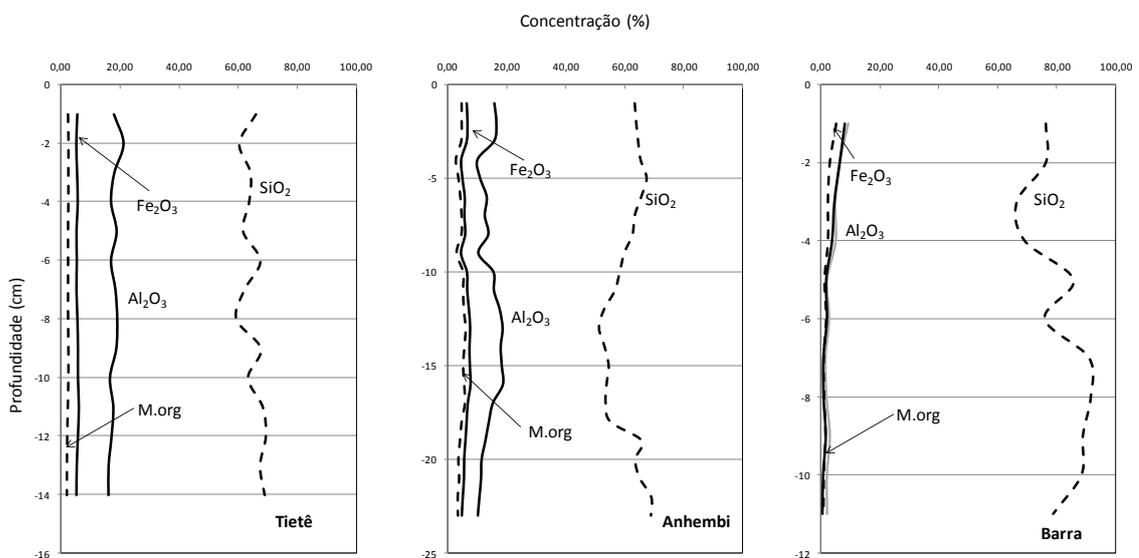


Figura 33. Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Tietê, Anhembi e Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê.

Os valores calculados em termos percentuais de óxidos totais para as estações de amostragem do baixo rio Tietê, nas estações de amostragem em Bariri, Ibitinga e Promissão, pode ser observados nas Tabelas 9, 10 e 11 respectivamente. Encontram-se incluídas nessas tabelas as concentrações percentuais da matéria orgânica, dados médios e desvio-padrão.

Tabela 9. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Bariri, na bacia do baixo rio Tietê

Bariri	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	63,30	17,10	6,62	0,19	0,42	0,34	0,03	0,27	6,01
1-2	68,09	14,13	4,54	0,13	0,26	0,23	0,04	0,28	4,54
2-3	60,09	15,50	5,58	0,21	0,31	0,33	0,04	0,32	6,24
3-4	58,49	15,76	6,70	0,17	0,33	0,34	0,05	0,30	5,89
4-5	61,87	15,64	6,91	0,13	0,32	0,33	0,06	0,27	3,47
5-6	61,68	15,13	7,10	0,13	0,30	0,33	0,05	0,25	3,54
6-7	68,34	16,81	6,72	0,15	0,47	0,31	0,04	0,24	3,97
7-8	62,24	14,02	6,14	0,14	0,27	0,28	0,03	0,24	3,78
8-9	64,22	15,08	6,65	0,15	0,31	0,31	0,04	0,27	4,71
9-10	59,15	17,28	7,37	0,16	0,29	0,32	0,03	0,26	3,97
10-11	56,08	16,27	6,08	0,13	0,22	0,23	0,02	0,22	3,01
11-12	54,73	16,61	7,19	0,15	0,24	0,30	0,04	0,24	3,82
12-13	56,88	17,55	6,69	0,15	0,24	0,28	0,02	0,32	3,13
13-14	67,53	18,64	6,69	0,19	0,24	0,26	0,01	0,32	2,91
14-15	59,30	16,94	6,52	0,23	0,23	0,24	0,02	0,32	3,12
15-16	66,29	17,03	6,39	0,21	0,24	0,21	0,02	0,33	3,54
16-17	65,10	15,36	6,22	0,16	0,18	0,20	0,02	0,34	3,07
17-18	62,30	15,59	6,26	0,16	0,18	0,20	0,02	0,34	7,41
18-19	55,65	15,50	6,01	0,14	0,18	0,19	0,01	0,31	3,42
19-20	57,29	16,99	6,34	0,15	0,21	0,20	0,01	0,30	4,18
20-21	65,06	18,74	7,69	0,16	0,29	0,28	0,01	0,36	4,30
21-22	61,09	18,41	6,95	0,14	0,23	0,24	0,02	0,32	3,24
22-23	61,95	18,84	7,14	0,14	0,25	0,24	0,01	0,35	4,00
média	61,60	16,47	6,54	0,16	0,27	0,27	0,03	0,29	4,14
SD	4,03	1,39	0,65	0,03	0,07	0,05	0,02	0,04	1,19

Tabela 10. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê

Ibitinga	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	48,17	19,87	6,58	0,46	0,76	0,57	0,26	1,24	4,61
1-2	45,29	20,31	7,42	0,40	0,61	0,50	0,19	1,11	4,30
2-3	41,79	19,87	9,31	0,34	0,62	0,43	0,16	0,83	4,00
3-4	41,02	18,88	8,19	0,35	0,42	0,35	0,13	0,77	4,01
4-5	37,90	21,50	10,17	0,38	0,51	0,41	0,12	0,62	3,52
5-6	33,95	21,56	10,91	0,35	0,47	0,43	0,12	0,64	4,13
6-7	33,93	22,17	10,94	0,35	0,39	0,36	0,09	0,53	3,79
7-8	33,16	23,78	10,87	0,38	0,31	0,27	0,06	0,35	2,79
8-9	40,26	23,93	10,23	0,36	0,25	0,25	0,06	0,33	2,21
9-10	40,62	24,79	10,89	0,40	0,20	0,25	0,05	0,28	1,94
10-11	38,43	22,89	10,41	0,43	0,34	0,27	0,06	0,32	3,30
11-12	35,78	23,89	10,45	0,44	0,36	0,28	0,05	0,37	3,33
12-13	32,60	24,16	11,50	0,40	0,40	0,29	0,05	0,30	3,30
13-14	32,06	19,69	9,40	0,34	0,25	0,20	0,04	0,26	3,11
14-15	33,35	21,02	9,29	0,35	0,29	0,22	0,05	0,25	2,77
15-16	38,58	24,72	10,51	0,32	0,35	0,25	0,05	0,29	2,84
16-17	38,15	22,51	10,13	0,37	0,37	0,27	0,05	0,31	3,21
17-18	34,98	20,29	7,06	0,38	0,32	0,27	0,08	0,53	3,21
18-19	37,88	23,60	7,91	0,34	0,37	0,34	0,09	0,62	3,11
19-20	37,54	22,62	7,26	0,31	0,38	0,47	0,14	0,95	4,85
média	37,77	22,10	9,47	0,37	0,40	0,33	0,10	0,55	3,42
SD	4,28	1,86	1,52	0,04	0,14	0,10	0,06	0,30	0,75

Tabela 11. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Promissão, na bacia do baixo rio Tietê

Promissão	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	62,78	19,58	3,72	0,12	0,51	0,66	0,10	2,14	15,69
1-2	62,86	16,29	3,19	0,11	0,50	0,56	0,09	1,85	16,34
2-3	63,91	19,08	3,58	0,11	0,47	0,65	0,09	2,14	12,99
3-4	68,45	15,94	3,18	0,09	0,46	0,53	0,09	1,98	13,21
4-5	60,93	17,56	3,43	0,09	0,37	0,58	0,08	1,89	9,40
5-6	65,14	17,71	3,43	0,09	0,37	0,60	0,09	2,05	9,95
6-7	63,17	17,26	3,43	0,10	0,44	0,68	0,10	2,12	14,23
7-8	68,98	16,89	3,40	0,10	0,33	0,69	0,11	2,37	9,33
8-9	66,69	16,05	3,13	0,08	0,27	0,62	0,09	2,11	8,74
9-10	64,69	16,98	3,61	0,11	0,32	0,68	0,09	2,22	8,02
10-11	70,14	16,37	3,50	0,10	0,31	0,70	0,10	2,26	6,56
11-12	65,13	16,56	3,75	0,10	0,31	0,74	0,11	2,46	7,75
12-13	68,03	18,37	4,12	0,10	0,37	0,87	0,11	2,52	8,14
13-14	69,88	15,47	3,52	0,09	0,27	0,71	0,10	2,80	6,92
14-15	64,91	19,13	4,25	0,12	0,34	0,86	0,12	3,37	7,87
15-16	56,92	11,91	2,54	0,07	0,19	0,54	0,08	2,21	7,40
16-17	59,09	18,72	3,92	0,11	0,41	0,90	0,10	2,87	8,26
17-18	58,26	16,76	0,35	0,10	0,39	0,85	0,10	2,61	11,07
18-19	73,46	18,38	4,14	0,11	0,41	0,87	0,11	3,02	8,18
19-20	65,25	16,82	3,82	0,11	0,37	0,78	0,09	2,71	5,97
20-21	69,82	17,31	4,05	0,15	0,45	0,82	0,10	2,79	6,07
21-22	68,99	1,66	0,36	0,18	0,43	0,76	0,10	2,73	6,55
22-23	59,19	17,63	4,44	0,22	0,48	0,90	0,08	2,68	5,59
23-24	60,08	15,24	3,79	0,14	0,39	0,82	0,10	2,79	5,32
24-25	64,53	18,15	4,31	0,16	0,47	1,01	0,11	3,27	5,56
25-26	66,57	18,13	4,19	0,12	0,40	0,98	0,11	3,28	5,08
26-27	62,79	18,66	4,34	0,13	0,46	1,00	0,11	3,33	4,88
27-28	67,77	16,96	3,92	0,12	0,46	0,96	0,11	3,30	4,35
28-29	64,17	16,12	3,67	0,11	0,62	0,85	0,12	3,01	5,05
27-28	73,01	12,41	2,51	0,09	0,41	0,45	0,14	2,74	2,77
28-29	74,91	8,52	1,89	0,08	0,25	0,27	0,12	2,24	1,68
média	65,50	16,21	3,40	0,11	0,39	0,74	0,10	2,58	8,03
SD	4,49	3,53	0,99	0,03	0,09	0,17	0,01	0,46	3,55

Da mesma forma como observado para as estações de Tietê e Anhembi no médio Tietê, as concentrações de SiO_2 foram similares para Bariri e Promissão, com $61,60 \pm 4,03$ % e $65,50 \pm 4,49$ %, respectivamente, com exceção de Ibitinga, o qual se mostrou menos arenoso, com somente $37,77 \pm 4,28$ %, principalmente devido às características mais argilosas dos solos predominantes nessa região.

Conforme pode ser observado na Figura 34, as distribuições de Al_2O_3 ao longo do perfil de profundidade foram bastante similares para as estações de Bariri, Ibitinga e Promissão, com concentrações médias em torno de 20 %, enquanto que para o Fe_2O_3 , as concentrações médias para a estação de Ibitinga foram as maiores, $9,47 \pm 1,52$ %, em contraposição as baixas concentrações de SiO_2 observadas.

As distribuições dos óxidos principais e da matéria orgânica, ao longo do perfil de profundidade, para as estações de Bariri, Ibitinga e Promissão se mostraram bastante similares, com uma maior variabilidade para o SiO_2 , enquanto a matéria orgânica se mostrou mais concentrada em superfície, particularmente para a estação de promissão, com concentrações próximas ou superiores a 10 % nos primeiros 10 cm de profundidade.

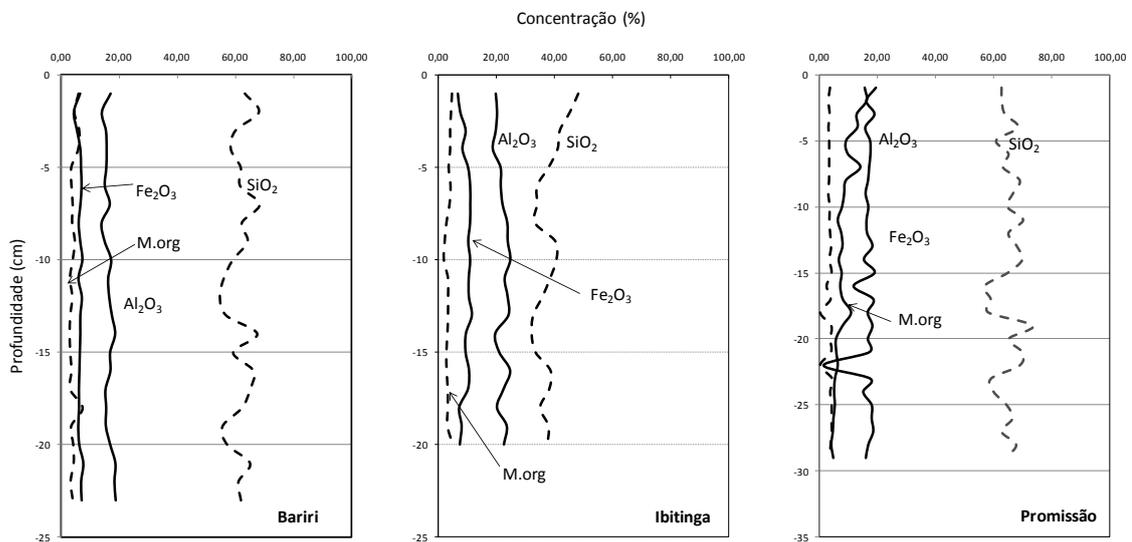


Figura 34. Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Bariri, Ibitinga e Promissão, na bacia do baixo rio Tietê.

Os valores calculados em termos percentuais de óxidos totais para as estações de amostragem em Nova Avanhandava e Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê, próximas a foz, pode ser verificados nas Tabelas 12 e 13, respectivamente. Encontram-se incluídas nessas tabelas as concentrações percentuais da matéria orgânica, dados médios e desvio-padrão.

Tabela 12. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê

N. Avanhan.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
prof (cm)	(%)								
0-1	39,99	19,82	11,49	0,42	0,86	0,51	0,05	0,59	5,73
1-2	39,22	21,30	11,60	0,35	0,77	0,50	0,04	0,66	5,61
2-3	42,05	21,02	12,18	0,43	0,87	0,49	0,04	0,71	5,58
3-4	42,13	20,78	12,20	0,41	0,84	0,49	0,04	0,75	5,63
4-5	40,72	20,69	12,05	0,44	0,88	0,47	0,04	0,72	5,66
5-6	39,75	20,44	12,44	0,64	1,02	0,48	0,04	0,73	5,97
6-7	41,88	21,60	11,87	0,37	0,76	0,02	0,04	0,75	5,56
7-8	37,06	20,17	12,00	0,59	0,90	0,45	0,04	0,66	5,10
8-9	40,82	21,83	12,34	0,59	0,84	0,48	0,04	0,71	4,78
9-10	41,00	22,77	12,39	0,51	0,79	0,50	0,04	0,75	4,39
média	40,46	21,04	12,06	0,47	0,85	0,44	0,04	0,70	5,40
SD	1,55	0,87	0,32	0,10	0,07	0,15	0,00	0,05	0,49

Tabela 13. Composição química dos óxidos principais e matéria orgânica nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de amostragem em Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê

Três Irmãos prof (cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	M.Org
	(%)								
0-1	48,19	13,97	9,18	0,35	1,19	0,51	0,13	0,71	4,06
1-2	44,73	17,56	11,80	0,31	0,61	0,46	0,08	0,52	3,72
2-3	40,22	21,36	11,37	0,31	0,58	0,42	0,05	0,53	4,52
3-4	38,75	22,50	11,06	0,53	0,62	0,40	0,04	0,47	4,62
4-5	38,99	22,31	11,53	0,77	0,72	0,42	0,04	0,48	4,73
5-6	39,88	22,36	11,63	0,52	0,64	0,42	0,04	0,47	4,61
6-7	38,64	22,15	11,24	0,50	0,68	0,40	0,04	0,48	4,69
7-8	38,27	22,49	11,31	0,40	0,61	0,42	0,03	0,49	4,27
8-9	40,19	22,58	11,47	0,36	0,60	0,44	0,03	0,50	4,22
9-10	38,78	24,17	11,56	0,34	0,62	0,43	0,03	0,48	4,35
10-11	37,19	23,95	11,54	0,34	0,61	0,43	0,03	0,45	4,37
média	40,35	21,40	11,24	0,43	0,68	0,43	0,05	0,51	4,38
SD	3,24	3,01	0,71	0,14	0,17	0,03	0,03	0,07	0,30

A Figura 35 ilustra a distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica nos perfis de amostragem para as estações de Nova Avanhandava e Três Irmãos, no baixo rio Tietê, próximo a foz.

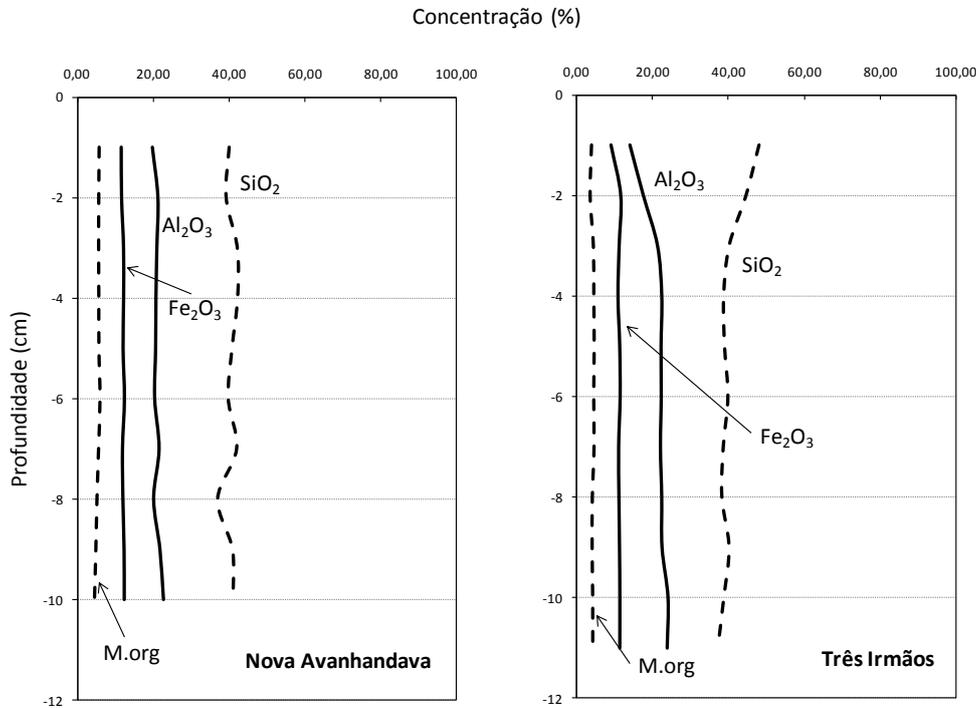


Figura 35. Distribuição dos principais óxidos e matéria orgânica determinados nos sedimentos de fundos, em perfis de profundidade, para as estações de Nova Avanhandava e Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê

Puderam ser verificadas para as estações de Nova Avanhandava e Três Irmãos, baixas concentrações médias de SiO_2 ao longo de todo o perfil de amostragem, com valores de $40,46 \pm 1,55$ e $40,35 \pm 3,24$ %, respectivamente. Em termos de Al_2O_3 os percentuais verificados para Nova Avanhandava e Três irmãos foram bastante similares, com concentrações médias de $21,04 \pm 0,87$ e $21,40 \pm 3,01$ %, respectivamente, o mesmo ocorrendo com a distribuição de Fe_2O_3 , com concentrações médias de $12,06 \pm 0,32$ e $11,24 \pm 0,71$ %, respectivamente. A distribuição da matéria orgânica nos perfis de amostragem se mostrou de baixa variabilidade, com concentrações médias de $5,40 \pm 0,49$ e $4,38 \pm 0,30$ %, respectivamente para as estações de Nova Avanhandava e Três Irmãos.

5.2.2. Variabilidade espacial das concentrações totais dos metais pesados dos sedimentos de fundo na bacia do rio Tietê

O comportamento da variabilidade espacial das concentrações médias dos principais metais pesados extraídos, conforme item 4.5.3.2., foi realizado em cada perfil de sedimentos de fundo em suas respectivas estações de amostragem, desde a nascente até a foz, perfazendo um total de 650 km dos 1100 km do rio Tietê, como pode ser observado na figura 36.

Foi observado para as concentrações médias dos metais pesados extraídos em cada perfil de sedimento de fundo amostrados apresentaram-se bastante baixas nas estações à montante na bacia de drenagem (Ponte Nova, Biritiba e Mogi das Cruzes), com exceção do Pb, o qual apresentou concentrações da ordem de 90,22 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Ponte Nova e 94,59 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Mogi das Cruzes. Junto ao médio Tietê, principalmente nas estações Tietê e Anhembi, elevadas concentrações de Cd, Zn, Ni e Pb puderam ser observadas, principalmente devido às atividades agrícolas da região, enquanto no baixo Tietê, principalmente em Nova Avanhandava e Três Irmãos, puderam ser verificadas concentrações elevadas de Cu, Co, Cr e Ni.

O Cu apresentou uma variabilidade espacial, que variou em torno de 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ até a estação de Promissão, no baixo Tietê, passando a um valor extremo de 356,12 $\mu\text{g g}^{-1}$ na estação de amostragem em Nova Avanhandava já próximo a foz. A variabilidade espacial de Co mostrou ser praticamente constante até o reservatório da Barra Bonita, aumentando significativamente a jusante da bacia de drenagem, atingindo 145,25 $\mu\text{g g}^{-1}$ na estação de Três Irmãos, junto à foz do rio Tietê.

A variabilidade espacial de Cr foi bastante similar ao Co, aumentando significativamente a partir da estação de amostragem na Barra Bonita, atingindo uma concentração média de 392,04 $\mu\text{g g}^{-1}$ na estação de amostragem em Três Irmãos.

Contrariamente ao Cr, as concentrações de Zn foram superiores no trecho médio da bacia do rio Tietê, próximos a estação de Anhembi, com valores superiores a 430 $\mu\text{g g}^{-1}$, fato esse similar ao Cd, que atingiu nessa estação de amostragem um valor médio de 69,73 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentrações mais elevadas para Ni puderam ser verificadas a jusante na bacia de drenagem, em direção a foz do rio Tietê, apresentando um valor extremo de 128,47 $\mu\text{g g}^{-1}$, enquanto que o Pb apresentou um comportamento de diminuição

nessa mesma direção, sendo considerado elevado no início do médio rio Tietê, com uma concentração de $92,44 \mu\text{g g}^{-1}$.

A distribuição média de Sc nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê foi da ordem de $5 \mu\text{g g}^{-1}$, mostrando ser bastante invariável.

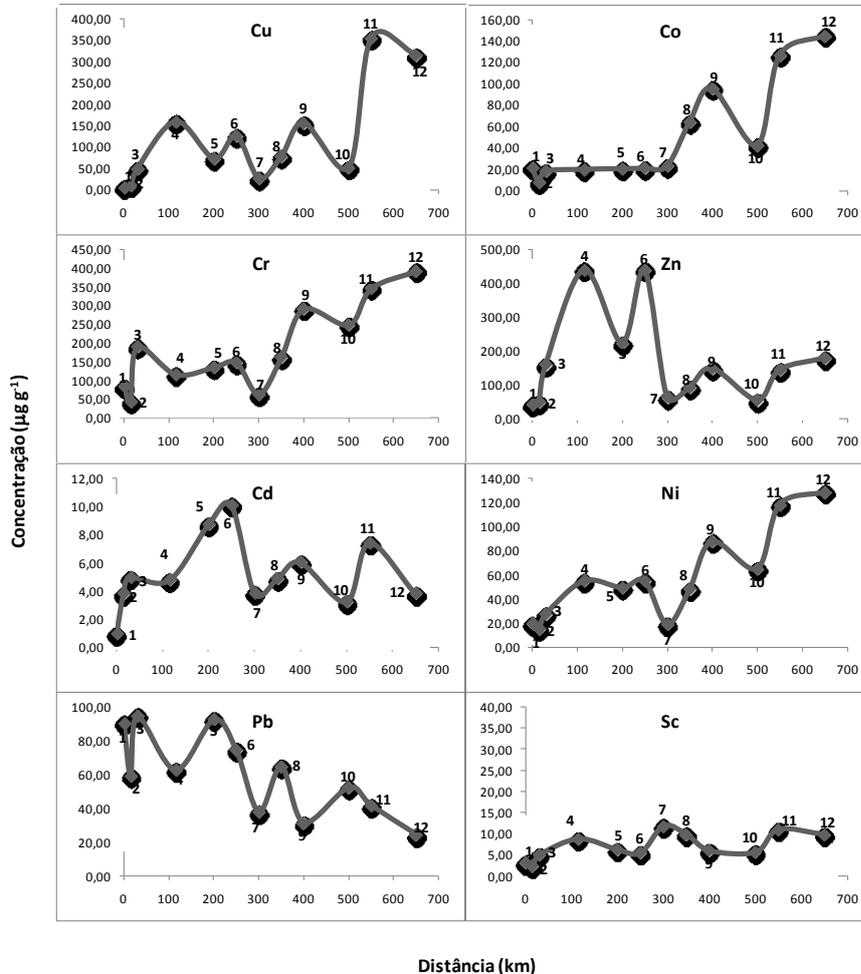


Figura 36. Variabilidade espacial das concentrações médias dos principais metais pesados extraídos em cada perfil de sedimentos de fundo em suas respectivas estações de amostragem: 1- Ponte Nova, 2- Biritiba, 3- Mogi das Cruzes, 4- Pirapora, 5- Tietê, 6- Anhembi, 7- Barra Bonita, 8- Bariri, 9- Ibitinga, 10- Promissão, 11- Nova Avanhandava e 12- Três Irmãos

5.3. Extração sequencial seletiva

5.3.1. Distribuição dos metais pesados entre as principais frações e fases geoquímicas

Os sedimentos de fundo, considerados anteriormente como ambientes de deposição de metais pesados, na realidade desempenham um papel importante na interação e distribuição dessas espécies químicas nos sistemas aquáticos. Esses

metais pesados distribuídos e fixados nos sedimentos de fundo, de acordo com Bevilacqua et al., (2009), podem retornar à coluna d'água por meio de alterações de suas propriedades físico-químicas por uma mudança brusca no meio aquático (pH, potencial redox, solubilidade, etc.).

A extração seqüencial seletiva permitiu avaliar a distribuição dos metais pesados de acordo com as frações geoquímicas associadas principalmente às fases biodisponível e residual, procurando dar subsídios ao estudo das interações, redistribuições e destino desses metais nos sedimentos aquáticos.

De acordo como item 4.5.4.1., foi possível avaliar a distribuição dos principais metais pesados nas quatro frações geoquímicas distintas (fração 1: solúvel e trocável; fração 2: ácido solúvel ou carbonatos; fração 3: óxidos de Fe e Mn e Fração 4: matéria orgânica). A soma dessas quatro fases compôs a fração considerada biodisponível, enquanto que a diferença do total extraído representou a fração residual.

A Figura 37 ilustra a partição de Cu dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.

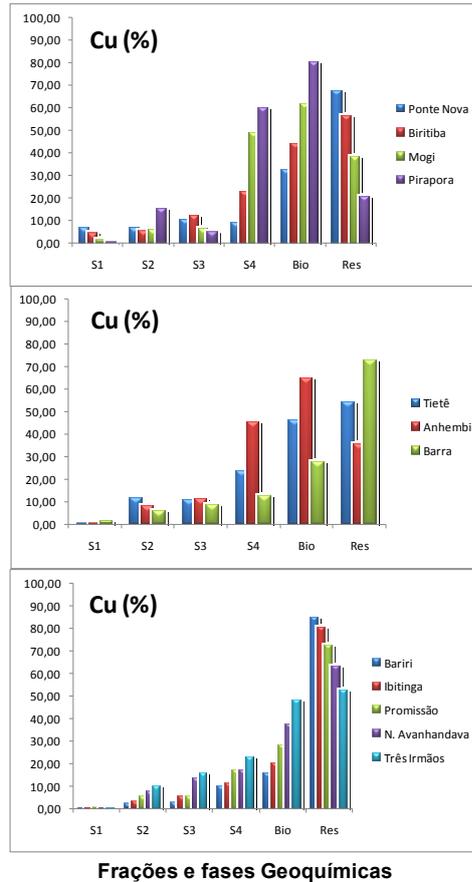


Figura 37. Distribuição de Cu nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

Pode ser verificado que o Cu, na bacia do alto rio Tietê se mostrou mais concentrado na fração residual para a estação de Ponte Nova e Biritiba, no entanto, mais a jusante dessa bacia para as estações de Mogi das Cruzes e Pirapora o Cu se apresentou biodisponível, 62% e 80% respectivamente, sendo principalmente associado à matéria orgânica (S4), possivelmente associado aos efluentes urbanos, uma vez que a fase relativa aos óxidos de Fe e Mn foi inferior a 10%.

Para o médio rio Tietê (Tietê, Anhembi, Barra), o caráter de biodisponibilidade para o Cu ficou evidenciado nas estações de Tietê e Anhembi, com 46 e 65% respectivamente, também associados à matéria orgânica. Na estação de amostragem em Barra Bonita o Cu se mostrou mais concentrado na fase residual 72%. Tais resultados se mostraram similares aos obtidos por Silva et al. (2002) para o reservatório da Barra Bonita, em sedimentos superficiais.

Na região do baixo rio Tietê (Biriri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos) foi possível verificar, de uma forma geral, um predomínio de Cu na fase residual, inversamente em direção à foz do rio Tietê na estação de amostragem em Três Irmãos. Tal indicação mostrou um aumento da biodisponibilidade de Cu nessa direção, principalmente associada à fração orgânica (S4). O Cu ligado aos óxidos de Fe e Mn se apresentaram baixas do total extraído, o que demonstrou uma complexação orgânica significativa 22%. As elevadas concentrações de Cu observadas nessa região já apresentam um caráter de biodisponibilidade preocupante, onde cerca de 10% se mostrou associada à fase ácido solúvel, de fácil degradação.

A Figura 38 ilustra a partição de Co dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.

Foi possível verificar que o Co na bacia do alto rio Tietê se mostrou, de uma forma geral, mais concentrado na fase residual para todas as estações de amostragem, sendo os valores mais expressivos obtidos para as estações de Ponte Nova (97%) e Biritiba (84%), decrescendo na estação de Mogi das Cruzes (70%). Na fase biodisponível a estação de Mogi das Cruzes apresentou 30% de biodisponibilidade sendo associada com a fração geoquímica ligada aos óxidos de Fe e Mn.

Para a bacia do médio rio Tietê, o padrão de partição do Co foi o mesmo do observado nas estações à montante, aumentando sua concentração na fase residual, de Tietê (64%) até a estação da Barra Bonita (84%), com conseqüente diminuição da fração biodisponível nesse sentido. A fração geoquímica mais importante foi a dos óxidos de Fe e Mn, atingido 20% na estação de amostragem em Tietê. Tal resultado observado foi inferior ao observado por Mortatti et al. (2002) para os sedimentos em suspensão no rio Piracicaba, um tributário do rio Tietê nessa mesma região, que apresentou uma concentração de Co ligado óxidos de Fe e Mn da ordem de 50%.

Na bacia do baixo rio Tietê, mesmo comportamento foi observado para o Co, onde a concentração da fase residual de mostrou expressiva para a estação de Bariri 94% e Ibitinga 84%. A biodisponibilidade do Co se mostrou também associada aos óxidos de Fe e Mn, atingindo 24% em Nova Avanhandava.

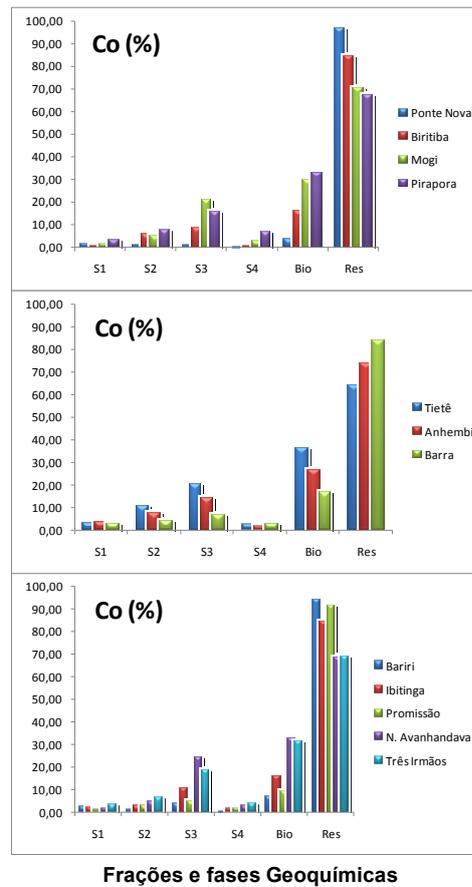


Figura 38. Distribuição de Co nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

A Figura 39 ilustra a partição de Cr dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.

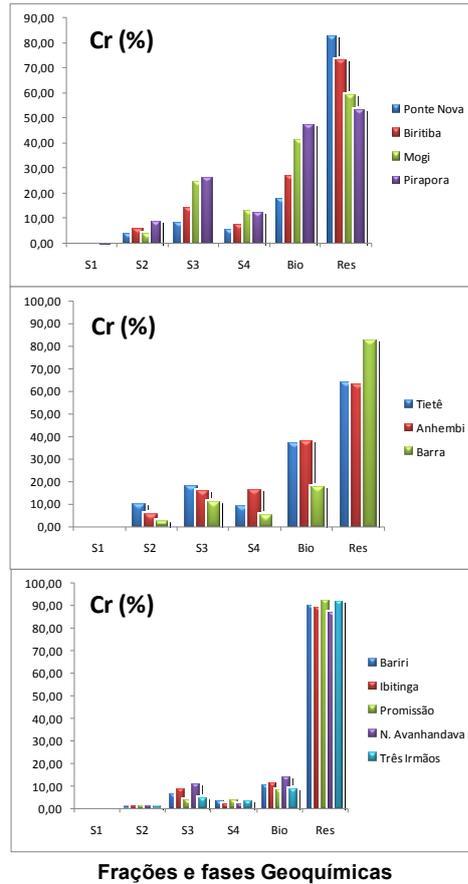


Figura 39. Distribuição de Cr nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

Para a região do alto rio Tietê, pode ser verificado que o Cr se mostrou de uma forma geral mais concentrado na fase residual principalmente junto a nascente nas estações de Ponte Nova e Biritiba, 83 e 73% respectivamente. E na estação de Pirapora observa-se uma concentração de 47% na fase biodisponível, associado principalmente às frações ligadas aos óxidos de Fe e Mn (26%) e matéria orgânica (12%), possivelmente associada aos efluentes urbanos.

Para o médio rio Tietê, o caráter de biodisponibilidade para o Cr ficou evidenciado nas estações de Tietê e Anhembi, com 36 e 37% respectivamente, também associados às frações dos óxidos (18 e 16%) e matéria orgânica (9 e 16%), respectivamente. Na estação de amostragem em Barra Bonita o Cr se mostrou mais concentrado na fase residual (82%). Tais resultados se mostraram similares aos obtidos por Silva et al. (2002) para o reservatório da Barra Bonita, em sedimentos superficiais.

Na região do baixo rio Tietê foi possível verificar um predomínio de Cr na fase residual em todas as estações amostradas, com valores em torno de 90%, sendo

que os 10% biodisponíveis estão associados aos óxidos de Fe e Mn e matéria orgânica. Dessa forma, apesar das elevadas concentrações de Cr observadas nos sedimentos de fundo, o caráter de biodisponibilidade desse metal para a biota se mostrou relativamente baixa.

A Figura 40 ilustra a partição de Zn dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.

Foi possível verificar que o Zn na bacia do alto rio Tietê se mostrou, mais concentrado na fração biodisponível para as estações de amostragem de Ponte Nova e Pirapora, com valores de 79 e 85% respectivamente. Na estação de Mogi das Cruzes, o Zn também se mostrou mais concentrado na fase biodisponível (54%) sendo 5% na fração solúvel+trocável, 16% na fração ácido solúvel, 29% na fração de óxidos de Fe e Mn e apenas 4% na fração ligada à matéria orgânica. Dessa forma, as concentrações de Zn, mesmo não sendo muito elevadas nos sedimentos amostrados, se mostram preocupantes face à facilidade de incorporação na biota, devido ao alto grau de biodisponibilidade verificado nessa região.

Da mesma forma como observado na bacia do alto Tietê, as concentrações de Zn se mostraram mais significativas na fase biodisponível para as estações de Tietê e Anhembi no médio Tietê, com valores de 58 e 81% respectivamente, sendo que nessa fase, as frações geoquímicas predominantes foram ácidos solúveis e óxidos de Fe e Mn, com 18 e 32% para Tietê e 33 e 28% para Anhembi, respectivamente.

Para a estação da Barra Bonita, o Zn se mostrou presente na fração biodisponível 47%, com apenas 5% na fração solúvel+trocável, 3% nos ácidos solúveis e 35% nos óxidos de Fe e Mn. Como também verificado na estação anterior, a elevada concentração de Zn na fase biodisponível pode ser considerada preocupante nessa área, onde atividades agrícolas se encontram em pleno desenvolvimento aliada a expansão urbana da região, mesmo apresentando uma concentração de 53% na fase residual.

As concentrações de Zn no baixo rio Tietê ficaram concentradas na fase biodisponível, principalmente em Ibitinga e Promissão, com valores ao redor de 43 e 64% respectivamente, com predomínio principalmente na fração dos óxidos de Fe e Mn, e nas demais estações de amostragem houve um predomínio da fase residual, como é observado para a estação de Três Irmãos apresentando 78%.

A Figura 41 ilustra a partição de Cd dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.

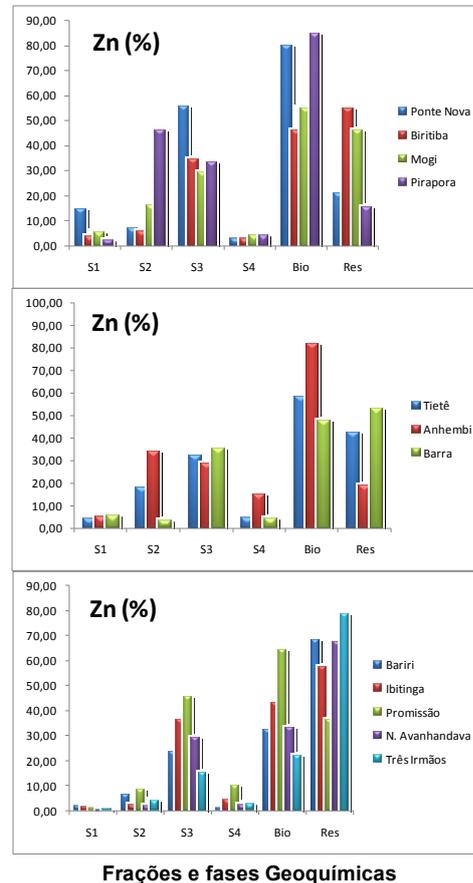


Figura 40. Distribuição de Zn nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

Pode ser verificado que o Cd, na bacia do alto rio Tietê, se mostrou de uma forma geral dividido entre as fases biodisponível (46%) e residual (54%), onde todas as frações geoquímicas consideradas biodisponíveis tiveram o Cd presente, com maior concentração nos óxidos de Fe e Mn com 16% e matéria orgânica com 12%, apresentando assim ser altamente suscetível à degradação e disponibilidade ao meio fluvial. A associação desse metal para essa região não se encontra bem definida, mas possivelmente ligada aos defensivos agrícolas do setor de horticultura, que é dominante nessa região.

Para o médio rio Tietê, o caráter de biodisponibilidade de Cd se mostrou similar ao da estação do alto Tietê, apresentando um equilíbrio entre as fases biodisponível e residual 45 e 50% respectivamente. A presença de Cd na fase

residual foi mais significativa para a estação de amostragem da Barra Bonita, com um valor de 67%. Tais resultados se mostraram similares aos obtidos por Silva et al. (2002) para o reservatório da Barra Bonita, em sedimentos superficiais.

Na região do baixo rio Tietê foi possível verificar uma expressiva concentração de Cd na fase biodisponível, superior a 40% nas estações de Bariri, Ibitinga e Promissão, sendo da ordem de 20% a associação com a fração de óxidos de Fe e Mn e 10% com a matéria orgânica. Em direção à foz do rio Tietê, na estação de Três Irmãos, o caráter de biodisponibilidade caiu para 39%, também associados aos óxidos de Fe e Mn (24%). Apesar das concentrações de Cd nos sedimentos de fundo estar dentro dos padrões da região, o caráter de biodisponibilidade desse metal para a biota se mostrou relativamente alto e preocupante.

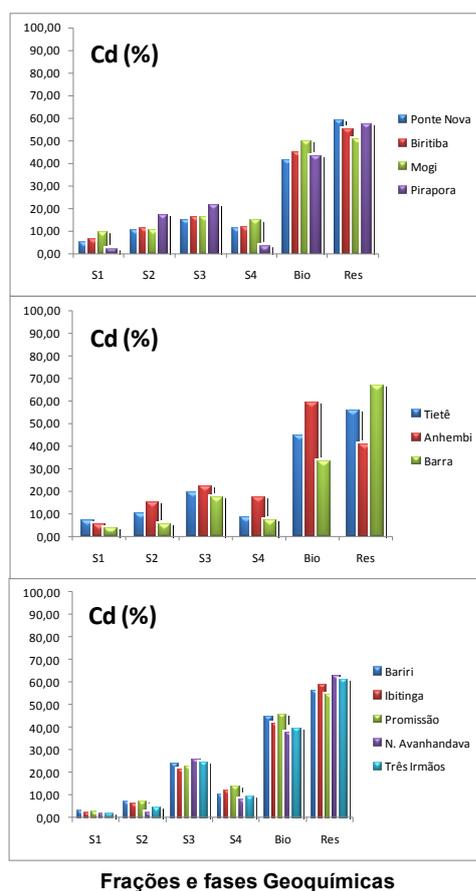
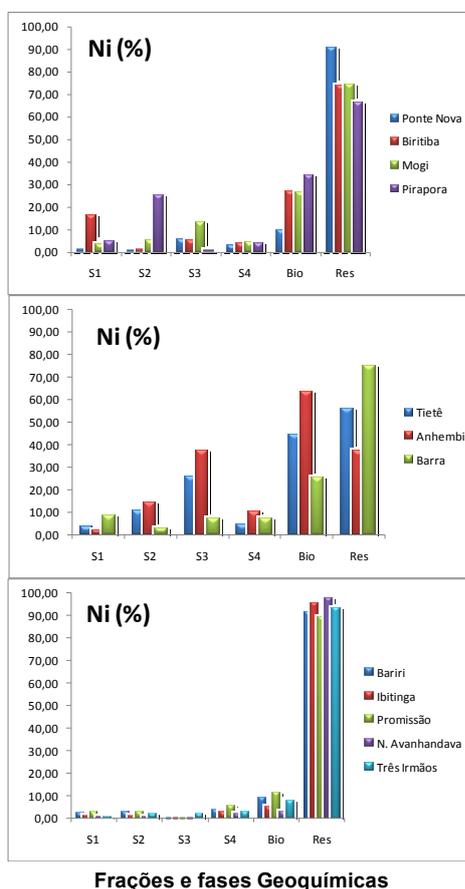


Figura 41. Distribuição de Cd nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

A Figura 42 ilustra a partição de Ni dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.



Frações e fases Geoquímicas

Figura 42. Distribuição de Ni nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

Foi possível verificar que o Ni na bacia do alto rio Tietê se mostrou, de uma forma geral, concentrado na fase residual para as estações de amostragem de Ponte Nova, Biritiba e Mogi das Cruzes, com valores de 90, 74 e 74% respectivamente, enquanto que para a estação de Pirapora, o Ni se apresentou entre as fases residuais (66%) e biodisponíveis (34%).

Pode ser verificado na região do médio rio Tietê, que o Ni mostrou estar biodisponível com respeito às estações de amostragem de Tietê e Anhembi, apresentando valores de 44 e 63% respectivamente, se mostrando associadas principalmente aos óxidos de Fe e Mn, enquanto as outras frações se mostraram

inferiores a 15%. Para a estação de amostragem de Barra Bonita foi possível verificar uma associação com a fase residual (75%).

As concentrações de Ni para o baixo rio Tietê ficaram concentradas na fase residual para todas as estações de amostragem, tendo a fase biodisponível valores inferiores, sendo o valor máximo observado de 11% para a estação de amostragem em Promissão, sendo relacionado principalmente com a matéria orgânica (S4), mostrando pouca mobilidade para esse metal pesado.

A Figura 43 ilustra a partição de Pb dentre as principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê.

Pode ser verificado que o Pb, na bacia do alto rio Tietê, se mostrou concentrado na fase residual para as estações de amostragem de Ponte Nova, Biritiba e Mogi das Cruzes exceto para Pirapora onde cerca de 70% desse metal se mostrou na fase biodisponível e principalmente associado às frações de ácido solúvel ou carbonatos (31%), óxidos de Fe e Mn (32%) e a matéria orgânica (5%) o que é preocupante pela facilidade de entrada desse metal pesado na biota, possivelmente associado com efluentes urbanos, domésticos e industriais.

Para o médio rio Tietê, foi verificado que o Pb se mostrou associado à fase residual para as estações de Anhembi e Barra Bonita, com valores 57 e 75% respectivamente, já para a estação de amostragem em Tietê, 48% de Pb se encontrou na fase biodisponível, onde 30% se mostrou ligado aos óxidos de Fe e Mn e 15% ligado aos ácidos solúveis, sendo mais facilmente degradados.

Foi possível verificar para o baixo rio Tietê de uma forma geral, um predomínio de Pb na fase residual, com valores máximos chegando a 90% em Promissão e um valor mínimo de 71% em Três Irmãos. A biodisponibilidade de Pb para a estação de Bariri de 36%, se mostrou associada com a fração de óxidos de Fe e Mn (27%).

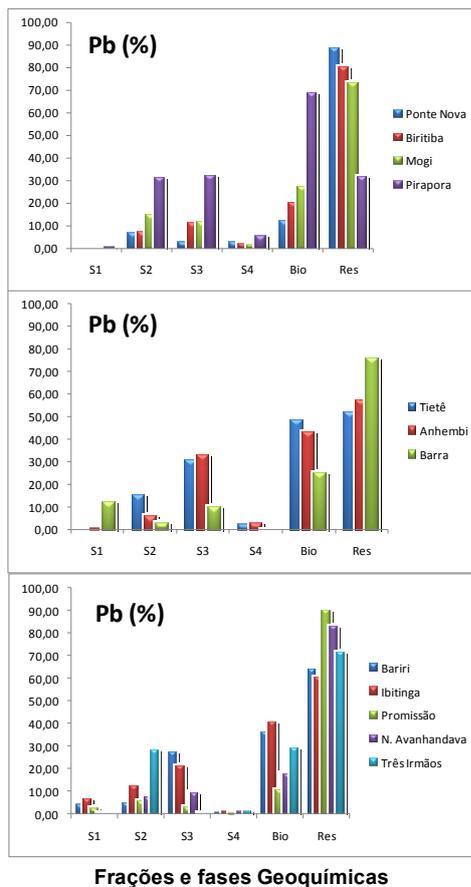


Figura 43. Distribuição de Pb nas principais frações (S1, S2, S3 e S4) e fases geoquímicas (biodisponível e residual) nos sedimentos de fundo, em seus perfis médios, na bacia do alto, médio e baixo rio Tietê

As distribuições dos metais pesados ao longo dos perfis de profundidade dos sedimentos de fundo se mostram associados à fração biodisponível, o que foi possível de ser verificado no alto, médio e baixo rio Tietê, através da equação de normalização conforme item 5.3.2. As estações de amostragem selecionadas para tal objetivo foram aquelas com maior perfil de profundidade, sendo Ponte Nova (alto Tietê), Anhembi (médio Tietê) e Promissão (baixo Tietê).

A Figura 44 apresenta a distribuição do Cu biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

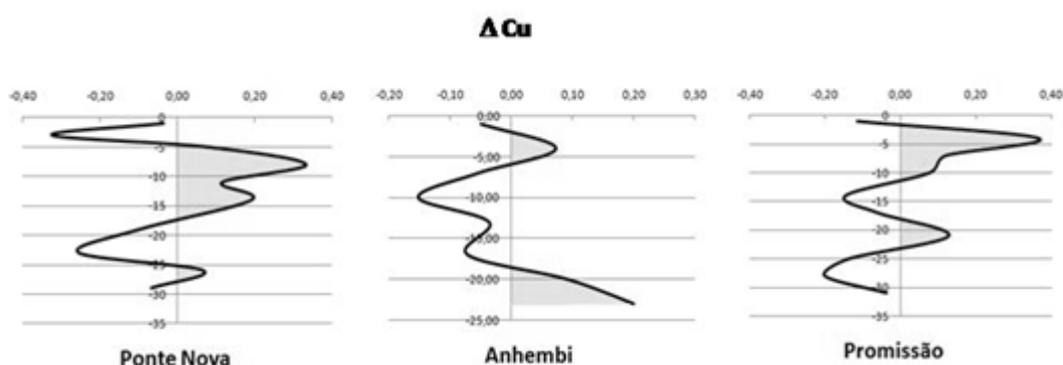


Figura 44. Variabilidade do Cu biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

Pode ser observado que os valores positivos (área em destaque na figura) indicaram elevada biodisponibilidade do metal pesado estudado, nos sedimentos de fundo, ao longo do perfil de profundidade. No caso do Cu, essa elevada biodisponibilidade se mostrou mais concentrada nos sedimentos de baixa profundidade, portanto, mais recentes, principalmente na estação de Ponte Nova e Promissão, no alto e baixo Tietê respectivamente.

A Figura 45 apresenta a distribuição do Co biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

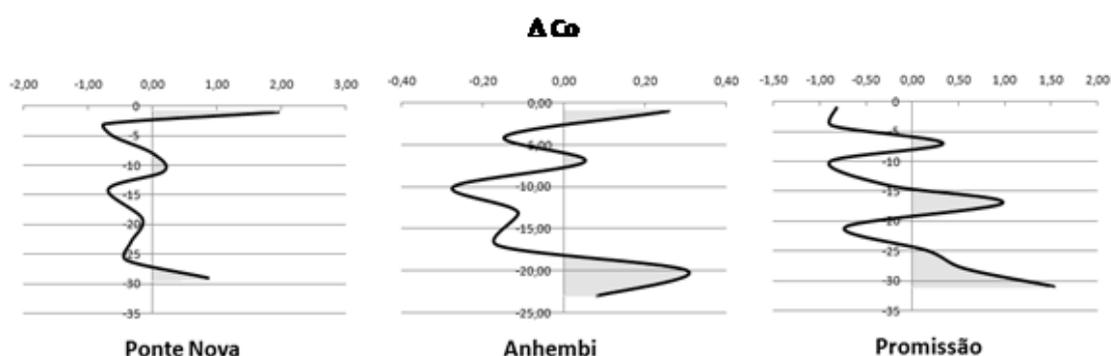


Figura 45. Variabilidade do Co biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

Pode ser observado para o Co que a biodisponibilidade desse metal pesado apresentou um percentual mais expressivo nos sedimentos superficiais (mais recentes) para Ponte Nova e Anhembi, enquanto que para Promissão, no baixo

Tietê, o mesmo não ocorreu, apresentando maior disponibilidade de Co em profundidade (sedimentos mais antigos).

A Figura 46 ilustra a variabilidade de Cr biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

No caso do Cr, foi possível observar ao longo de toda a bacia do rio Tietê, que a biodisponibilidade desse metal pesado foi mais significativa em profundidade, relativa aos sedimentos mais antigos e possivelmente mais degradados.

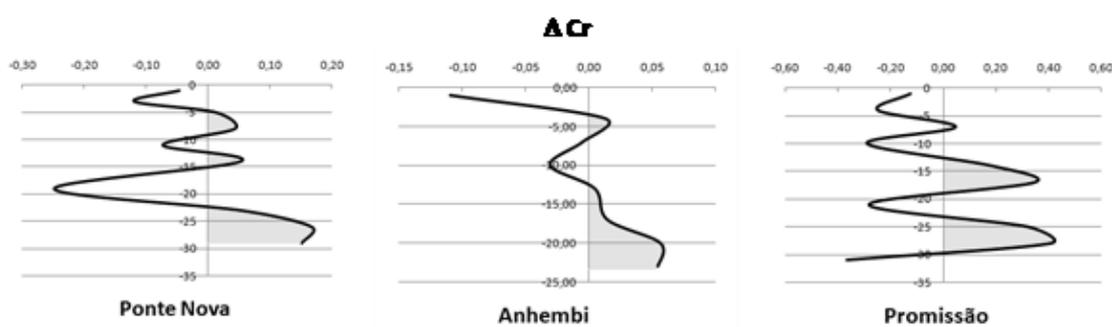


Figura 46. Variabilidade do Cr biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

A Figura 47 apresenta a distribuição do Zn biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

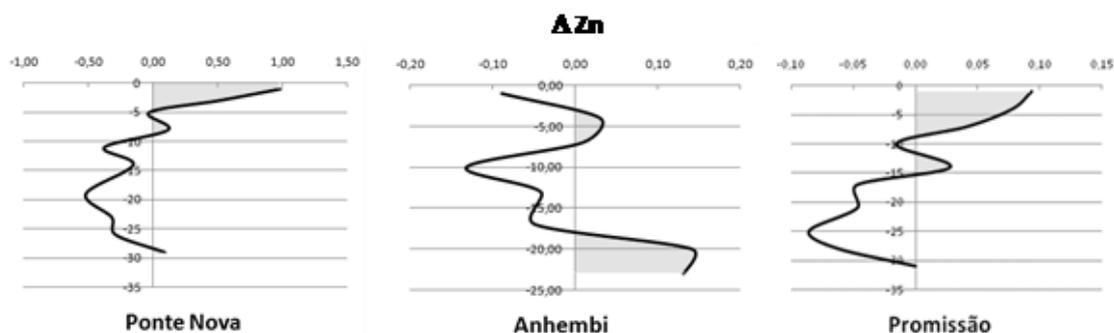


Figura 47. Variabilidade do Zn biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

Foi possível verificar para o Zn que a biodisponibilidade desse metal pesado apresentou um percentual mais expressivo nos sedimentos superficiais (mais recentes) para Ponte Nova e Promissão, enquanto que para Anhembi, no médio Tietê, o mesmo não ocorreu, apresentando maior disponibilidade de Zn em profundidade (sedimentos mais antigos).

A Figura 48 apresenta a distribuição do Cd biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

No caso do Cd, foi possível observar uma elevada biodisponibilidade desse metal pesado nos sedimentos mais rasos e, portanto, mais recentes, no baixo rio Tietê, na estação de amostragem de Promissão, enquanto que no alto e médio Tietê o mesmo não pode ser verificado, sendo o Cd mais biodisponível em torno dos 10 cm de profundidade.

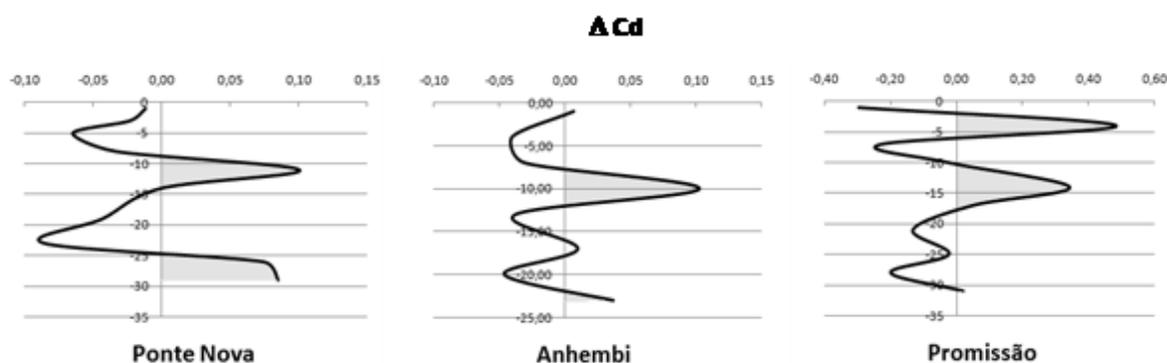


Figura 48. Variabilidade do Cd biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

A Figura 49 apresenta a distribuição do Ni biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

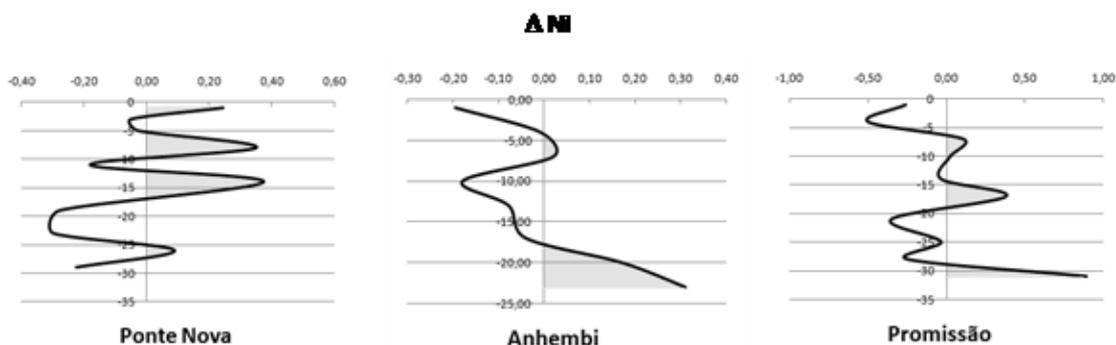


Figura 49. Variabilidade do Ni biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

Foi possível verificar para o Ni que a biodisponibilidade desse metal pesado apresentou um percentual mais expressivo nos sedimentos superficiais (mais recentes) somente para a estação de amostragem em Ponte Nova, enquanto que para Anhembi, no médio Tietê e Promissão no baixo Tietê, o mesmo não ocorreu, apresentando maior disponibilidade de Ni em profundidade (sedimentos mais antigos), principalmente para Anhembi onde os percentuais de biodisponibilidade foram mais expressivos.

A Figura 50 apresenta a distribuição do Pb biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para as estações de amostragem em Ponte Nova, Anhembi e Promissão, representantes do alto, médio e baixo rio Tietê.

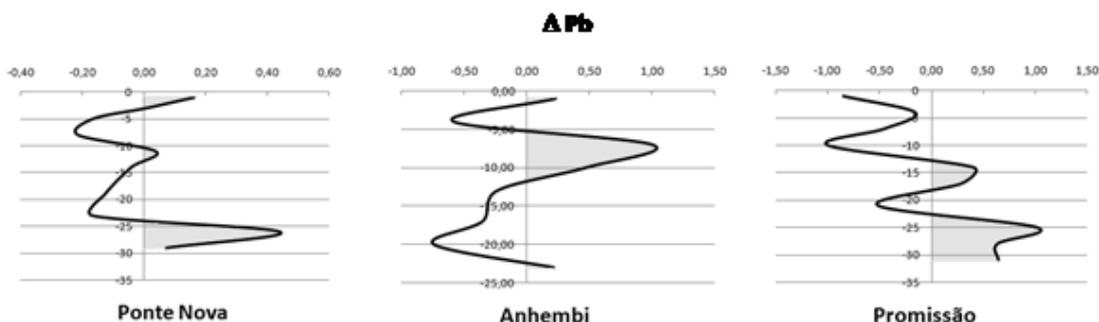


Figura 50. Variabilidade do Pb biodisponível, ao longo do perfil de profundidade do sedimento de fundo amostrado, para Ponte Nova, Anhembi e Promissão

De uma forma geral, para o caso do Pb biodisponível, não foi possível verificar quaisquer anomalias positivas nos sedimentos superficiais, apresentando padrões aleatórios entre as estações de amostragem do alto, médio e baixo Tietê, enquanto as maiores biodisponibilidade de Pb se concentraram em profundidade em

Ponte Nova, as mesmas se mostraram na parte intermediária do perfil para Anhembi e Promissão.

A Figura 51 ilustra a distribuição das fases biodisponível (lábil) e residual, para os principais metais pesados, nos perfis médios dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê.

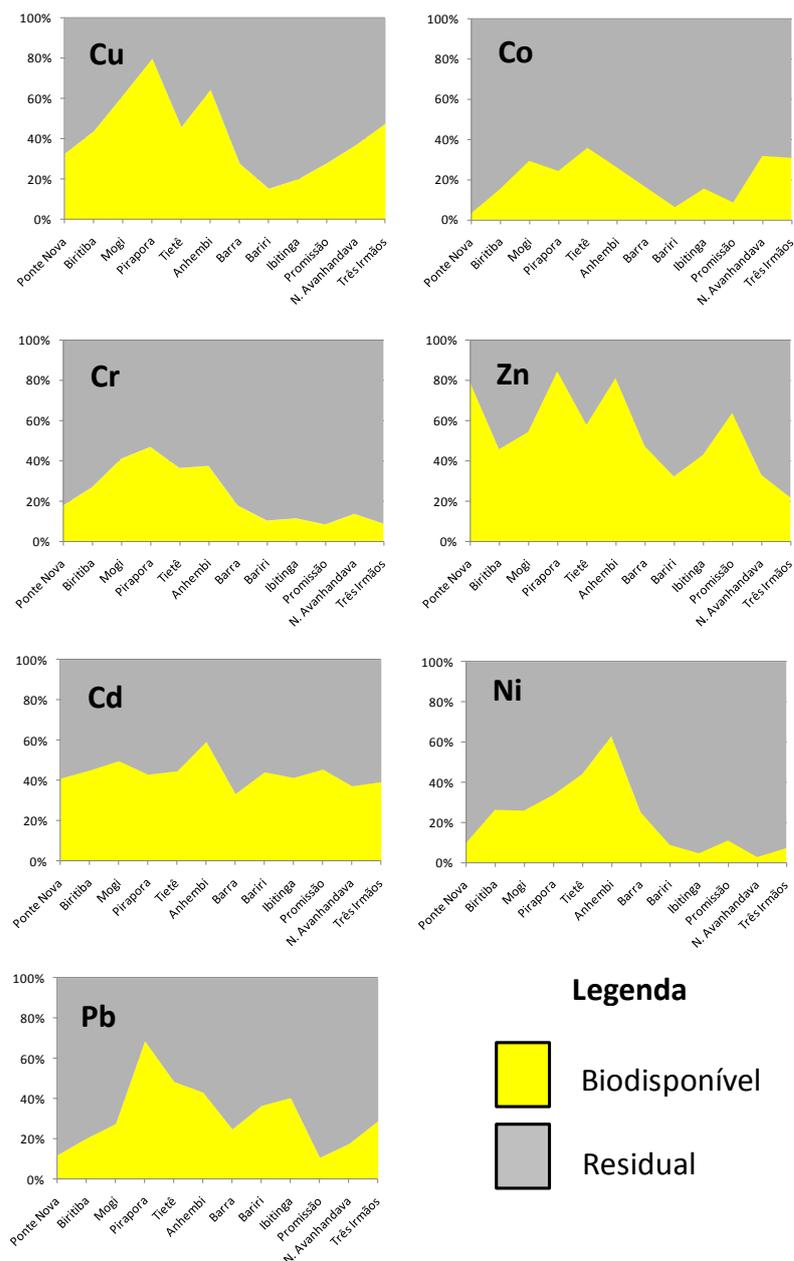


Figura 51. Distribuição das fases biodisponível (lábil) e residual para os principais metais pesados, nos perfis médios dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê

Após as análises individuais, os metais pesados de maior biodisponibilidade puderam agora ser comparados ao longo do rio Tietê, fornecendo informações

importantes com respeito às possíveis toxicidades dos mesmos nesse ecossistema fluvial. O Cu, de uma forma geral se mostrou mais biodisponível nas estações de Mogi das Cruzes, Pirapora (alto Tietê), Anhembi (médio Tietê) e Nova Avanhandava e Três Irmãos (baixo Tietê). Conforme discutido anteriormente, Pirapora já se mostra sobre intensa pressão antrópica, principalmente concernente aos efluentes domésticos e industriais. Já em Anhembi, essa alta biodisponibilidade é justificada pela presença do cultivo de cana-de-açúcar e pecuária de corte que predominam nessa região, sendo o Cu utilizado nessas atividades. No baixo rio Tietê, a presença de Cu está associada ao controle de algas nos reservatórios, tendo como CuSO_4 a sua principal fonte poluidora.

O Co biodisponível se apresentou mais significativo para as estações de Mogi das Cruzes, Tietê, Nova Avanhandava e Três Irmãos e de acordo com o discutido anteriormente, o mesmo se mostrou associado ao uso de agrotóxicos e resíduos industriais.

A biodisponibilidade do Cr foi mais importante nas estações de Mogi das Cruzes, Pirapora, Tietê e Anhembi, se mostrando associadas às atividades dos curtumes que se desenvolvem na região, o mesmo acontecendo com o Zn, que se mostrou extremamente alta nessa região, principalmente ligadas às atividades agrícolas dessa zona canavieira.

O Zn biodisponível se apresentou mais significativo para as estações de Ponte Nova, Pirapora, Anhembi e Promissão, com valores superiores a 70%, sendo o menor valor obtido para a estação de Três Irmãos (22%). De acordo com o discutido anteriormente, tais evidências se mostraram possivelmente associadas ao uso de agrotóxicos e resíduos industriais..

No caso do Cd, o mesmo se apresentou de uma forma constante na bacia de drenagem do rio Tietê em quase toda a sua extensão e sua possível causa pode estar associado com efluentes e resíduos industriais, no entanto grande parte se encontra naturalmente no embasamento rochoso da bacia de drenagem.

As estações de Pirapora, Tietê e Anhembi se mostraram com elevadas biodisponibilidades para Ni, devido principalmente aos esgotos domésticos e resíduos agroindustriais, enquanto que o Pb biodisponível se mostrou fortemente associado a essas mesmas fontes somente para a estação de Pirapora no alto rio Tietê.

Para o Pb ficou evidenciado o predomínio desses metais pesados na fase residual, com valores superiores a 70%, à jusante na bacia de drenagem, o mesmo acontecendo na região das nascentes. No entanto a região de transição do alto para o médio Tietê mostrou Pb biodisponível com valores superiores a 50%, possivelmente devido às ações antrópicas nessa região. De uma forma geral, parece que para esse metal pesado, o equilíbrio entre a nascente e a foz é restabelecido dentro dessa contribuição litólica.

A Tabela 14 apresenta as porcentagens das frações (S1, S2, S3 e S4) e as fases biodisponível e residual para Si, Al, Fe, Mn, Sr e K nos perfis médios dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê em suas estações de amostragem.

Tabela 14. Porcentagens das frações (S1, S2, S3 e S4) e as fases biodisponível e residual para Si, Al, Fe, Mn, Sr e K nos perfis médios dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê

Si (%)	S1	S2	S3	S4	Bio	Res	Al (%)	S1	S2	S3	S4	Bio	Res
Ponte Nova	0,00	0,05	0,29	0,20	0,54	99,46	Ponte Nova	0,07	0,57	2,05	1,50	4,19	95,81
Biritiba	0,00	0,03	0,17	0,18	0,39	99,61	Biritiba	0,03	0,31	1,77	1,72	3,83	96,17
Mogi	0,00	0,06	0,29	0,26	0,61	99,39	Mogi	0,01	0,37	1,63	1,50	3,50	96,50
Pirapora	0,03	0,20	0,39	0,19	0,80	99,20	Pirapora	0,04	4,22	24,57	11,11	39,94	60,06
Tietê	0,00	0,03	0,21	0,11	0,36	99,64	Tietê	0,00	0,19	1,00	0,94	2,13	97,87
Anhembi	0,00	0,05	0,26	0,15	0,47	99,53	Anhembi	0,01	0,14	0,63	1,54	2,31	97,69
Barra	0,00	0,04	0,17	0,10	0,31	99,69	Barra	0,04	0,70	3,51	1,91	6,16	93,84
Bariri	0,00	0,05	0,32	0,17	0,55	99,45	Bariri	0,00	0,07	0,73	0,74	1,55	98,45
Ibitinga	0,01	0,14	0,58	0,85	1,57	98,43	Ibitinga	0,00	0,10	0,65	0,69	1,44	98,56
Promissão	0,00	0,07	0,10	5,76	5,94	94,06	Promissão	0,00	0,10	0,77	0,96	1,84	98,16
N. Avanhandava	0,00	0,11	0,12	1,67	1,91	98,09	N. Avanhandava	0,00	0,12	0,72	0,91	1,76	98,24
Três Irmãos	0,00	0,14	0,09	1,55	1,78	98,22	Três Irmãos	0,00	0,09	0,56	0,96	1,61	98,39
Fe (%)	S1	S2	S3	S4	Bio	Res	Mn (%)	S1	S2	S3	S4	Bio	Res
Ponte Nova	0,24	8,11	12,81	0,67	21,83	78,17	Ponte Nova	8,04	3,06	2,34	0,42	13,85	86,15
Biritiba	0,37	14,55	30,19	3,83	48,95	51,05	Biritiba	5,02	5,53	29,09	1,93	41,57	58,43
Mogi	0,08	6,35	41,10	4,00	51,53	48,47	Mogi	8,37	24,44	32,37	3,33	68,52	31,48
Pirapora	0,00	3,05	10,09	0,00	13,14	86,86	Pirapora	7,86	13,93	13,52	0,46	35,77	64,23
Tietê	0,03	5,55	43,82	0,18	49,58	50,42	Tietê	19,09	18,17	36,72	2,16	76,14	23,86
Anhembi	0,02	3,21	14,31	0,32	17,86	82,14	Anhembi	4,71	14,92	45,41	9,34	74,37	25,63
Barra	0,12	4,81	20,65	0,54	26,13	73,87	Barra	7,04	2,40	8,30	0,56	18,31	81,69
Bariri	0,01	1,41	9,74	0,17	11,33	88,67	Bariri	6,39	7,53	17,16	0,73	31,81	68,19
Ibitinga	0,01	2,39	38,95	0,51	41,87	58,13	Ibitinga	3,59	4,63	28,22	1,71	38,15	61,85
Promissão	0,01	5,76	45,39	1,24	52,40	47,60	Promissão	5,26	5,84	32,01	2,32	45,42	54,58
N. Avanhandava	0,00	1,67	39,68	0,37	41,73	58,27	N. Avanhandava	6,40	10,77	36,13	2,46	55,76	44,24
Três Irmãos	0,01	1,55	9,11	0,24	10,90	89,10	Três Irmãos	6,49	8,56	25,39	2,99	43,43	56,57
Sr (%)	S1	S2	S3	S4	Bio	Res	K (%)	S1	S2	S3	S4	Bio	Res
Ponte Nova	7,01	0,91	1,03	0,24	9,19	90,81	Ponte Nova	0,18	0,03	0,20	0,06	0,48	99,52
Biritiba	15,94	2,73	5,67	0,94	25,28	74,72	Biritiba	0,21	0,26	0,19	0,10	0,77	99,23
Mogi	24,62	4,50	11,72	1,98	42,81	57,19	Mogi	0,40	1,15	0,44	0,12	2,12	97,88
Pirapora	6,21	5,21	4,29	0,56	16,28	83,72	Pirapora	0,47	1,14	0,18	0,09	1,89	98,11
Tietê	33,00	4,60	7,16	1,15	45,90	54,10	Tietê	0,45	0,11	0,18	0,10	0,83	99,17
Anhembi	30,66	7,13	11,63	2,24	51,66	48,34	Anhembi	0,76	0,23	0,75	0,12	1,86	98,14
Barra	34,53	2,66	4,77	1,04	43,00	57,00	Barra	1,01	0,17	0,42	0,07	1,66	98,34
Bariri	26,87	3,73	7,40	1,40	39,40	60,60	Bariri	1,64	0,42	1,33	0,13	3,53	96,47
Ibitinga	21,63	2,91	19,64	2,03	46,22	53,78	Ibitinga	1,97	0,50	1,30	0,16	3,93	96,07
Promissão	21,31	2,24	3,83	1,53	28,91	71,09	Promissão	0,36	0,19	0,28	0,14	0,97	99,03
N. Avanhandava	21,94	5,29	7,42	2,77	37,42	62,58	N. Avanhandava	2,51	1,15	1,93	0,29	5,88	94,12
Três Irmãos	25,35	5,12	5,43	1,68	37,58	62,42	Três Irmãos	4,11	1,59	2,45	0,57	8,72	91,28

Os elementos Si e Al se mostraram concentrados na fase residual, com valores superiores a 95%, compatíveis com a natureza litólica, enquanto o Fe se mostrou relativamente biodisponível ao longo da bacia, sendo 22% em Ponte Nova, junto às nascentes e 11% na foz. As concentrações mais elevadas de Fe biodisponível foram obtidas em Biritiba, Tietê e Promissão, chegando em torno de 50%, tendo como fração geoquímica principal os óxidos de Fe e Mn (S3). Outro detalhe que pode ser observado foi à montante da bacia de drenagem, com a presença de Fe também ligado à fração ácido solúvel (S2), enquanto que à jusante, isso não ocorreu.

Contrariamente ao Fe biodisponível, que provém de maneira quase exclusiva aos óxidos de Fe, o Mn biodisponível se mostrou bastante variável ao longo da bacia de drenagem, sendo pouco significativo junto às nascentes, onde predominou a fase residual, aumentando de Biritiba até Anhembi no médio rio Tietê, sendo superior à 70%. Na estação de Tietê, o Mn se mostrou associado a todas as frações

geoquímicas, 19% solúvel+trocável (S1), 18% ácido solúvel (S2) e 37% óxidos de Fe e Mn (S3). O mesmo foi observado para Anhembi, com exceção da baixa ocorrência na fase S1. Em direção a foz do rio Tietê, o mesmo padrão continuou sendo observado, porém com menor intensidade, chegando a 43% de Mn biodisponível na estação de Três Irmãos, Tal fato do Mn biodisponível se associar à outras frações geoquímicas, também foi observado por Leleyter (1998) em vários rios da América do Sul e da África.

Conforme reportado na literatura (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1991), os metais alcalinos, caso do K, se mostram essencialmente associados à fase residual dos sedimentos fluviais, caso do presente trabalho, onde valores superiores à 90-95% puderam ser observados ao longo de toda a bacia de drenagem. Tal resultado explica que o K não pode ser solubilizado a partir de variações naturais do potencial de oxi-redução.

Os metais alcalino-terrosos, caso do Sr, se apresentam normalmente a partir de três estados distintos, minerais primários, carbonatos e realmente trocáveis (DUCHAUFOR, 1970). Os resultados obtidos no presente trabalho confirmam os observados por Leleyter (1998) com relação ao comportamento de Ca e Sr biodisponíveis em sedimentos fluviais, mostrando ser principalmente associados às frações geoquímicas solúvel+trocável (S1) e ácido solúvel (S4), e ainda um pouco associado aos óxidos de Fe e Mn.

5.4 Sulfetos Volatilizados por Ataque Ácido (AVS) com Extração Simultânea de Metais Pesados (SEM)

Pretendeu-se determinar a toxicidade dos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, comparando a quantidade de enxofre liberado (AVS) com a soma dos metais extraídos em solução (SEM) durante o processo da extração ácida, conforme estabelecido no item 4.5.5.

Conforme o método estabelecido, a relação entre as concentrações SEM e AVS foi investigado nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê em perfis de profundidade, com o objetivo de avaliar o potencial de biodisponibilidade dos principais metais pesados associados aos enxofres dos sedimentos sob condições anóxicas, comum em fundos de reservatórios e fundo de rios (sedimentos) altamente poluídos.

Após a realização das amostragens dos sedimentos de fundo em perfis de profundidade ao longo do rio Tietê, nas estações de Ponte Nova, Biritiba, Mogi das Cruzes, Pirapora, Tietê, Anhembi, Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos, foram determinadas as concentrações dos principais metais pesados (SEM = Cu+Co+Cr+Zn+Cd+Ni+Pb) extraídos simultaneamente com o AVS.

A Tabela 15 apresenta os resultados dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e três diferentes índices de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, estabelecidos anteriormente, referentes à estação de Ponte Nova, próxima as nascentes do rio Tietê, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A Figura 52 ilustra o relacionamento entre as concentrações referentes à estação de Ponte Nova para os principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

O ponto de amostragem em Ponte Nova está localizado na nascente do rio Tietê e tem como característica ser o primeiro reservatório do alto Tietê, numa altitude de 840 metros.

Tabela 15. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Ponte Nova, na parte alta da bacia do rio Tietê

Ponte Nova	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,021	0,019	0,014	0,395	0,003	0,004	0,011	6,29	0,47	0,10	4,67	0,37	5,84
1-2	0,018	0,011	0,014	0,541	0,003	0,004	0,018	6,24	0,61	0,10	6,08	0,51	8,14
2-3	0,015	0,006	0,013	0,457	0,003	0,003	0,022	5,64	0,52	0,10	5,20	0,42	7,44
3-4	0,021	0,008	0,041	0,581	0,003	0,027	0,025	5,06	0,71	0,10	7,06	0,61	11,97
4-5	0,024	0,006	0,026	0,597	0,005	0,004	0,040	4,92	0,70	0,10	7,02	0,60	12,24
5-6	0,016	0,006	0,017	0,569	0,003	0,003	0,033	4,79	0,65	0,10	6,47	0,55	11,41
6-7	0,021	0,015	0,013	0,548	0,007	0,010	0,021	4,63	0,64	0,10	6,36	0,54	11,56
7-8	0,009	0,006	0,016	0,320	0,003	0,026	0,012	4,52	0,39	0,10	3,91	0,29	6,44
8-9	0,039	0,008	0,027	0,507	0,003	0,003	0,035	4,76	0,62	0,10	6,23	0,52	11,00
9-10	0,055	0,000	0,020	0,674	0,004	0,009	0,034	4,38	0,80	0,10	7,95	0,70	15,89
10-11	0,027	0,010	0,026	0,329	0,003	0,003	0,018	4,24	0,42	0,10	4,16	0,32	7,47
11-12	0,004	0,008	0,036	0,547	0,006	0,003	0,027	3,38	0,63	0,10	6,32	0,53	15,75
12-13	0,003	0,010	0,039	0,458	0,003	0,006	0,023	3,29	0,54	0,10	5,43	0,44	13,43
13-14	0,009	0,006	0,021	0,308	0,003	0,019	0,020	3,18	0,39	0,10	3,86	0,29	9,00
14-15	0,002	0,026	0,036	0,475	0,003	0,004	0,022	3,28	0,57	0,10	5,68	0,47	14,27
15-16	0,012	0,006	0,031	0,377	0,003	0,004	0,019	3,30	0,45	0,10	4,53	0,35	10,69
16-17	0,017	0,012	0,035	0,590	0,004	0,004	0,025	3,07	0,69	0,10	6,87	0,59	19,11
17-18	0,017	0,006	0,036	0,331	0,003	0,014	0,024	2,98	0,43	0,30	1,44	0,13	4,38
18-19	0,019	0,007	0,043	0,552	0,004	0,013	0,022	2,95	0,66	0,30	2,20	0,36	12,19
19-20	0,002	0,007	0,014	0,283	0,003	0,006	0,015	2,83	0,33	0,10	3,30	0,23	8,11
20-21	0,003	0,006	0,037	0,456	0,003	0,004	0,019	2,85	0,53	0,20	2,64	0,33	11,55
21-22	0,001	0,013	0,024	0,335	0,003	0,006	0,012	2,77	0,39	0,10	3,94	0,29	10,62
22-23	0,003	0,006	0,047	0,533	0,003	0,004	0,025	2,69	0,62	0,10	6,21	0,52	19,37
23-24	0,000	0,005	0,047	0,353	0,003	0,003	0,009	2,66	0,42	0,10	4,20	0,32	12,01
24-25	0,010	0,005	0,016	0,329	0,003	0,003	0,023	2,69	0,39	0,20	1,94	0,19	7,01
25-26	0,003	0,021	0,033	0,341	0,003	0,003	0,015	2,75	0,42	0,10	4,19	0,32	11,63
26-27	0,002	0,010	0,019	0,230	0,003	0,008	0,019	2,83	0,29	0,10	2,92	0,19	6,80
27-28	0,021	0,005	0,037	0,366	0,003	0,003	0,018	2,77	0,45	0,10	4,52	0,35	12,70
28-29	0,019	0,009	0,027	0,374	0,003	0,004	0,020	2,73	0,46	0,10	4,56	0,36	13,07
média	0,014	0,009	0,028	0,440	0,003	0,007	0,022	3,74	0,52	0,12	4,82	0,40	11,07
SD	0,012	0,005	0,011	0,117	0,001	0,007	0,007	1,14	0,13	0,06	1,68	0,14	3,70

Baixas concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, puderam ser observadas para a estação de Ponte Nova, na bacia do alto rio Tietê, apresentando uma distribuição de baixa variabilidade ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,52 \pm 0,13 \mu\text{mol g}^{-1}$.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem se mostraram bem próximos ao limite de determinação ($0,10 \mu\text{mol g}^{-1}$), sendo inferiores a SEM, configurando em termos médios a condição dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 4,8$, $\text{SEM} - \text{AVS} = 0,4$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = 11,07$. Embora o resultado do primeiro índice VGQS testado seja superior a 1, indicando uma possibilidade de toxicidade de metais pesados nos sedimentos, o segundo índice VGQS testado se mostrou próximo de zero, abaixo do limiar de toxicidade que é definido como 1,7 não sendo dessa forma caracterizada a toxicidade, fato esse também confirmado quando da utilização do terceiro índice VGQS utilizado, o qual apresentou um valor de 11,07, muito inferior ao limiar experimental de 130, previamente definido, para o caráter de não toxicidade. Assim, ficou evidenciado que a simples condição $\text{SEM}/\text{AVS} > 1$ é subjetiva quando as concentrações são muito baixas. No entanto, devido às baixas concentrações observadas, não foi verificado nenhum risco de toxicidade dos metais pesados estudados. Tais concentrações devem ser consideradas oriundas dos componentes do fundo geoquímico natural da bacia de drenagem.

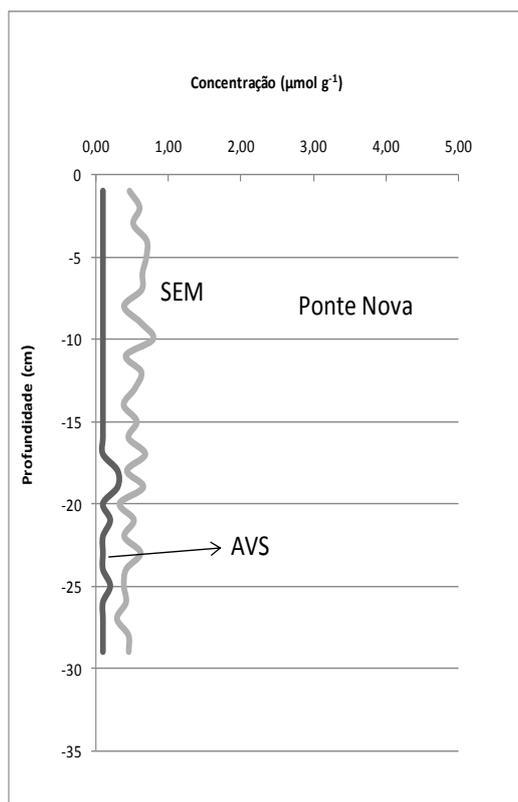


Figura 52. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Ponte Nova, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

Os resultados referentes à estação de Biritiba podem ser observados na Tabela 16 onde são verificados as concentrações dos principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A Figura 53 ilustra o relacionamento entre as concentrações referentes à estação de Biritiba, próxima as nascentes do rio Tietê para os principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A estação de Biritiba está localizada a uma altitude média de 780 m, tendo como característica estar em uma área de preservação ambiental (proteção de mananciais) com zonas de reflorestamento e agricultura pouco desenvolvida.

Tabela 16. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Biritiba, na parte alta da bacia do rio Tietê

Biritiba	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,003	0,007	0,014	0,072	0,003	0,013	0,021	0,18	0,13	0,10	1,32	0,03	17,81
1-2	0,001	0,005	0,011	0,075	0,003	0,011	0,013	0,24	0,12	0,10	1,17	0,02	7,40
2-3	0,029	0,021	0,013	0,051	0,010	0,024	0,032	1,67	0,18	0,10	1,79	0,08	4,74
3-4	0,029	0,017	0,012	0,018	0,006	0,012	0,012	3,55	0,11	0,10	1,07	0,01	0,19
4-5	0,082	0,016	0,016	0,110	0,011	0,015	0,011	4,76	0,26	0,10	2,61	0,16	3,39
5-6	0,058	0,013	0,017	0,058	0,010	0,024	0,010	3,93	0,19	0,10	1,91	0,09	2,31
6-7	0,056	0,024	0,015	0,023	0,010	0,002	0,018	3,88	0,15	0,10	1,47	0,05	1,21
7-8	0,086	0,054	0,020	0,148	0,028	0,031	0,015	6,43	0,38	0,10	3,82	0,28	4,39
8-9	0,084	0,030	0,023	0,078	0,011	0,005	0,014	5,76	0,25	0,10	2,47	0,15	2,55
9-10	0,057	0,013	0,023	0,048	0,010	0,005	0,014	6,03	0,17	0,10	1,70	0,07	1,16
10-11	0,075	0,042	0,021	0,009	0,008	0,010	0,013	6,22	0,18	0,10	1,78	0,08	1,26
11-12	0,080	0,015	0,018	0,039	0,007	0,005	0,012	6,30	0,18	0,10	1,76	0,08	1,21
12-13	0,051	0,011	0,015	0,022	0,008	0,009	0,011	2,69	0,13	0,10	1,27	0,03	1,01
13-14	0,023	0,006	0,015	0,025	0,008	0,014	0,012	6,10	0,10	0,10	1,03	0,00	0,05
14-15	0,067	0,007	0,017	0,011	0,013	0,013	0,015	6,97	0,14	0,10	1,43	0,04	0,62
15-16	0,115	0,015	0,021	0,096	0,011	0,012	0,014	7,24	0,28	0,10	2,84	0,18	2,53
16-17	0,110	0,036	0,020	0,146	0,018	0,006	0,016	8,48	0,35	0,10	3,53	0,25	2,98
17-18	0,118	0,049	0,024	0,149	0,012	0,009	0,016	9,13	0,37	0,10	3,75	0,27	3,01
18-19	0,100	0,010	0,019	0,080	0,019	0,021	0,014	7,19	0,26	0,10	2,63	0,16	2,26
19-20	0,011	0,006	0,013	0,034	0,004	0,016	0,029	3,37	0,11	0,10	1,13	0,01	0,40
20-21	0,015	0,007	0,017	0,048	0,003	0,014	0,024	0,91	0,13	0,10	1,28	0,03	3,04
21-22	0,008	0,023	0,016	0,040	0,006	0,011	0,022	0,52	0,13	0,10	1,26	0,03	5,03
22-23	0,011	0,011	0,018	0,037	0,003	0,007	0,024	0,95	0,11	0,10	1,10	0,01	1,04
23-24	0,002	0,012	0,016	0,046	0,003	0,006	0,026	0,34	0,11	0,10	1,11	0,01	3,10
24-25	0,005	0,014	0,014	0,053	0,003	0,007	0,018	0,21	0,11	0,10	1,14	0,01	6,55
25-26	0,006	0,005	0,011	0,012	0,003	0,007	0,009	0,39	0,05	0,10	0,53	-0,05	-12,11
26-27	0,009	0,007	0,013	0,016	0,003	0,006	0,021	1,43	0,08	0,10	0,75	-0,02	-1,71
27-28	0,001	0,007	0,014	0,031	0,003	0,015	0,022	5,13	0,09	0,10	0,93	-0,01	-0,13
28-29	0,017	0,007	0,013	0,037	0,003	0,004	0,016	2,69	0,10	0,10	0,97	0,00	-0,11
29-30	0,025	0,007	0,013	0,021	0,003	0,007	0,015	2,01	0,09	0,10	0,91	-0,01	-0,43
média	0,045	0,017	0,016	0,054	0,008	0,011	0,017	3,82	0,17	0,10	1,68	0,07	2,16
SD	0,039	0,013	0,004	0,041	0,006	0,007	0,006	2,79	0,09	0,00	0,89	0,09	4,44

As concentrações dos metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, se mostraram baixas da mesma forma que a estação de amostragem anterior, apresentando uma distribuição variável ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,17 \pm 0,09 \mu\text{mol g}^{-1}$, sendo o Zn o metal extraído mais importante, concentrado em superfície e próximos aos 20 cm de profundidade.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem se mostraram também no limite de determinação, sendo inferiores a SEM, configurando em termos médios a condição dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 1,7$, $\text{SEM} - \text{AVS} = 0,07$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = 2,16$. Embora o resultado do primeiro índice VGQS testado seja superior a 1, indicando uma possibilidade de toxicidade de metais pesados nos sedimentos, o segundo índice VGQS testado se mostrou próximo de zero, abaixo do limiar de toxicidade definido anteriormente, não sendo dessa forma caracterizada a toxicidade, fato esse também confirmado quando da utilização do terceiro índice VGQS utilizado, o qual apresentou um valor de 2,16, muito inferior ao limiar experimental para o caráter de não toxicidade.

Conforme observado, não foi verificado nenhum risco de toxicidade dos metais pesados estudados. As baixas concentrações observadas para a maioria dos metais pesados extraídos mostraram que as ligações desses metais nos sedimentos são mais complexas e associadas a outras frações geoquímicas.

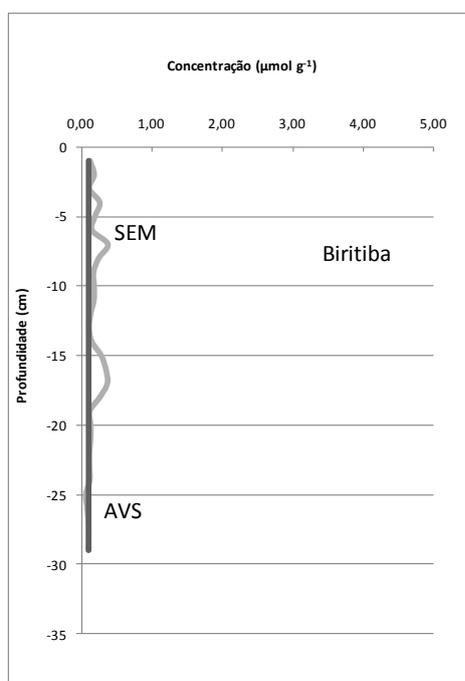


Figura 53. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Biritiba, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

A Tabela 17 apresenta os resultados referentes à estação de Mogi das Cruzes para as concentrações dos principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A Figura 54 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem em Mogi das Cruzes.

A estação de Mogi das Cruzes está localizada a uma altitude média de 780 m, onde, neste trecho o rio Tietê passa a receber uma considerável carga de poluentes, principalmente de origem domésticas e agrícola, oriundos dos esgotos sem tratamento e fertilizantes relacionados às atividades hortifrutigranjeiras da região.

Tabela 17. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Mogi das Cruzes, na parte alta da bacia do rio Tietê

Mogi	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,182	0,029	0,158	0,574	0,019	0,053	0,051	3,98	1,07	2,60	0,41	-1,53	-38,53
1-2	0,184	0,058	0,107	0,501	0,013	0,050	0,087	5,66	1,00	1,39	0,72	-0,39	-6,87
2-3	0,039	0,003	0,018	0,402	0,005	0,029	0,044	3,06	0,54	0,74	0,73	-0,20	-6,59
3-4	0,095	0,040	0,114	0,303	0,008	0,025	0,031	3,40	0,62	0,21	2,94	0,41	11,96
4-5	0,078	0,021	0,216	0,517	0,005	0,039	0,035	2,49	0,91	5,48	0,17	-4,57	-183,19
5-6	0,070	0,016	0,113	0,397	0,006	0,036	0,029	1,89	0,67	3,79	0,18	-3,12	-165,36
6-7	0,018	0,025	0,043	0,122	0,006	0,034	0,036	2,94	0,28	7,11	0,04	-6,83	-232,09
7-8	0,028	0,018	0,103	0,138	0,004	0,009	0,031	1,15	0,33	10,86	0,03	-10,53	-914,73
8-9	0,029	0,010	0,097	0,215	0,004	0,023	0,011	1,34	0,39	8,09	0,05	-7,70	-576,90
9-10	0,046	0,018	0,038	0,195	0,005	0,001	0,019	1,57	0,32	0,50	0,64	-0,18	-11,38
10-11	0,058	0,007	0,030	0,211	0,000	0,014	0,012	3,05	0,33	0,20	1,66	0,13	4,32
11-12	0,181	0,007	0,083	0,141	0,006	0,026	0,034	3,22	0,48	1,80	0,27	-1,32	-41,03
12-13	0,754	0,049	0,155	0,133	0,009	0,061	0,086	3,07	1,25	3,04	0,41	-1,79	-58,52
13-14	0,751	0,061	0,232	0,144	0,018	0,096	0,074	4,14	1,38	2,80	0,49	-1,42	-34,45
14-15	0,455	0,090	0,329	0,209	0,044	0,055	0,099	6,20	1,28	4,00	0,32	-2,72	-43,86
15-16	0,389	0,055	0,419	0,165	0,036	0,039	0,109	7,18	1,21	2,37	0,51	-1,16	-16,14
16-17	0,432	0,062	0,415	0,125	0,028	0,080	0,126	6,79	1,27	0,90	1,41	0,37	5,42
17-18	0,284	0,064	0,266	0,042	0,019	0,038	0,099	6,81	0,81	0,10	8,13	0,71	10,47
18-19	0,514	0,068	0,557	0,044	0,029	0,049	0,168	7,18	1,43	0,10	14,28	1,33	18,49
média	0,241	0,037	0,184	0,241	0,014	0,040	0,062	3,95	0,82	2,95	1,76	-2,13	-119,95
SD	0,241	0,026	0,151	0,161	0,012	0,023	0,044	2,06	0,41	3,03	3,55	3,18	238,26

As concentrações dos metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, foram bastante variáveis ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,82 \pm 0,41 \mu\text{mol g}^{-1}$, com destaque para Cu, Cr, Cd e Pb, que se mostraram concentrados em profundidade, abaixo dos 10 cm.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram, ao longo do perfil de amostragem, geralmente superiores a SEM, configurando, em termos médios, a condição dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 1,8$, $\text{SEM} - \text{AVS} = -2,13$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = -119,95$. Pode ser observado que os valores médios determinados de VGQS foram baixos, porém apresentaram elevados desvios padrão. Tais condições, devido às baixas concentrações observadas, não mostraram nenhum risco de toxicidade dos metais pesados estudados.

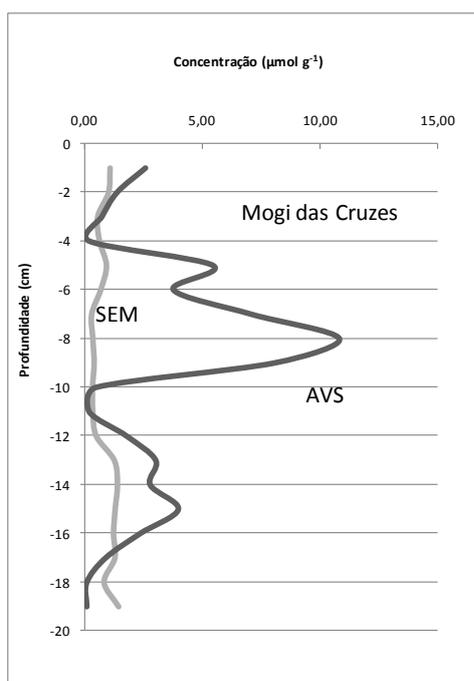


Figura 54 Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Mogi das Cruzes, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

Os resultados dos principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão do ponto de amostragem em Pirapora podem ser observados na Tabela 18.

A Figura 55 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Pirapora.

A estação de Pirapora está localizada a uma altitude média de 700 m, neste trecho o rio Tietê recebe uma carga de poluentes, principalmente de origem domésticas e industriais proveniente da grande São Paulo.

Tabela 18. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Pirapora, na parte alta da bacia do rio Tietê

Pirapora	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,113	0,047	0,379	3,557	0,011	0,407	0,129	2,602	4,64	33,25	0,14	-28,61	-1099,65
1-2	0,118	0,040	0,200	2,031	0,008	0,290	0,080	2,063	2,77	21,58	0,13	-18,81	-911,86
2-3	0,113	0,047	0,379	3,557	0,011	0,407	0,129	2,602	4,64	33,25	0,14	-28,61	-1099,65
3-4	0,107	0,054	0,558	5,083	0,013	0,524	0,177	3,140	6,52	44,92	0,15	-38,40	-1223,03
4-5	0,090	0,048	0,502	4,716	0,012	0,487	0,148	3,221	6,00	42,34	0,14	-36,33	-1128,13
5-6	0,073	0,042	0,446	4,348	0,011	0,451	0,119	3,301	5,49	39,75	0,14	-34,26	-1037,86
6-7	0,054	0,042	0,562	5,200	0,014	0,536	0,142	3,190	6,55	39,03	0,17	-32,48	-1018,15
7-8	0,036	0,042	0,678	6,052	0,016	0,621	0,166	3,079	7,61	38,31	0,20	-30,70	-997,02
8-9	0,039	0,047	0,723	6,431	0,017	0,669	0,176	3,319	8,10	47,26	0,17	-39,15	-1179,81
9-10	0,043	0,052	0,767	6,810	0,018	0,718	0,187	3,558	8,59	56,20	0,15	-47,61	-1338,00
10-11	0,046	0,041	0,641	5,469	0,015	0,527	0,155	3,507	6,89	45,99	0,15	-39,09	-1114,80
11-12	0,049	0,031	0,515	4,128	0,011	0,336	0,124	3,455	5,19	35,77	0,15	-30,58	-884,96
12-13	0,070	0,035	0,453	4,060	0,011	0,379	0,125	3,093	5,13	35,16	0,15	-30,02	-970,84
13-14	0,091	0,039	0,390	3,992	0,010	0,421	0,125	2,730	5,07	34,54	0,15	-29,47	-1079,53
14-15	0,468	0,058	0,421	3,675	0,014	0,347	0,189	2,148	5,17	21,73	0,24	-16,56	-770,82
15-16	0,846	0,077	0,451	3,359	0,017	0,274	0,253	1,566	5,28	8,92	0,59	-3,64	-232,66
16-17	0,890	0,059	0,491	3,143	0,016	0,235	0,265	1,472	5,10	4,93	1,03	0,17	11,52
17-18	0,935	0,041	0,530	2,927	0,015	0,197	0,277	1,378	4,92	0,94	5,24	3,98	289,01
18-19	1,034	0,055	0,511	3,950	0,018	0,262	0,268	1,471	6,10	1,16	5,28	4,94	336,10
19-20	1,134	0,068	0,492	4,972	0,021	0,326	0,258	1,563	7,27	1,37	5,31	5,90	377,62
20-21	0,828	0,071	0,470	4,543	0,019	0,303	0,250	1,867	6,48	1,46	4,46	5,03	269,32
21-22	0,522	0,073	0,448	4,114	0,016	0,280	0,242	2,171	5,69	1,54	3,70	4,15	191,36
média	0,350	0,051	0,500	4,369	0,014	0,409	0,181	2,568	5,874	26,790	1,271	-20,915	-664,174
SD	0,397	0,013	0,125	1,162	0,003	0,144	0,060	0,767	1,320	18,346	1,991	17,955	610,782

As concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, para a estação de Pirapora, na bacia do alto rio Tietê, se mostraram de pouco variabilidade no perfil, com uma média de $5,87 \pm 1,32 \mu\text{mol g}^{-1}$. Embora, elevadas concentrações de Zn, Cr e Ni puderam ser observadas, os valores de AVS se mostraram muito superiores a SEM, configurando em termos médios a condição dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 1,27$, $\text{SEM} - \text{AVS} = -20,91$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = -664,17$. Em seu estudo Bevilacqua et al., (2009) encontrou valores elevados de AVS da ordem de $14,425 \mu\text{g g}^{-1}$, vindo a corroborar com os resultados observados para esta estação de amostragem, e ainda segundo Berner (1981) em sua classificação geoquímica o reservatório de Pirapora pode ser classificado como um ambiente anóxico e sulfídrico.

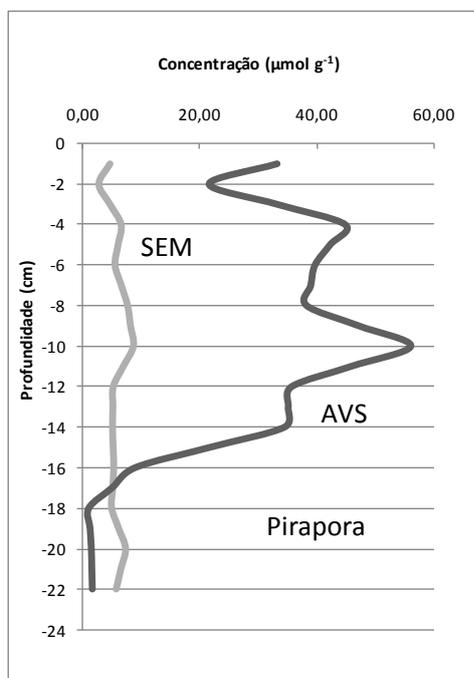


Figura 55. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Pirapora, na bacia do alto rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

Os resultados referentes à estação de Tietê para os principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão podem ser observados na Tabela 19.

A Figura 56 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Tietê.

A estação de Tietê esta localizada a uma altitude média de 508 m, em uma área de predomínio agrícola do cultivo da cana-de-açúcar em quase toda a sua extensão, já a fruticultura e a pastagem aparecem em áreas menores. Cabe salientar que o rio Tietê, nesse trecho médio, apresenta-se ainda influenciado pela pressão antrópica da grande São Paulo e à própria urbanização dessa região.

Tabela 19. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê

Tietê	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,276	0,066	0,332	1,211	0,022	0,220	0,115	1,52	2,24	0,84	2,67	1,40	92,32
1-2	0,205	0,062	0,379	1,118	0,024	0,215	0,134	1,62	2,14	2,24	0,95	-0,10	-6,39
2-3	0,368	0,071	0,489	1,555	0,033	0,215	0,172	1,59	2,90	0,95	3,06	1,95	122,81
3-4	0,270	0,052	0,324	0,840	0,023	0,160	0,102	1,60	1,77	0,90	1,97	0,87	54,37
4-5	0,361	0,079	0,419	1,439	0,032	0,215	0,138	1,52	2,68	0,89	3,01	1,79	117,85
5-6	0,352	0,072	0,371	1,192	0,027	0,200	0,136	1,54	2,35	2,14	1,10	0,21	13,61
6-7	0,327	0,056	0,357	1,106	0,026	0,166	0,124	1,52	2,16	0,85	2,54	1,31	86,35
7-8	0,444	0,065	0,446	1,303	0,032	0,213	0,179	1,54	2,68	0,21	12,77	2,47	160,55
8-9	0,543	0,098	0,591	2,074	0,049	0,239	0,230	1,60	3,82	0,10	38,24	3,72	232,76
9-10	0,537	0,115	0,712	1,991	0,049	0,258	0,240	1,60	3,90	0,10	39,01	3,80	237,58
10-11	0,524	0,075	0,575	1,336	0,030	0,217	0,176	1,48	2,93	0,88	3,33	2,05	138,73
11-12	0,348	0,065	0,377	1,107	0,036	0,172	0,147	1,37	2,25	0,10	22,53	2,15	157,15
12-13	0,289	0,051	0,359	0,905	0,023	0,181	0,122	1,30	1,93	0,10	19,30	1,83	140,79
13-14	0,391	0,062	0,432	1,243	0,027	0,214	0,158	1,29	2,53	0,10	25,26	2,43	188,08
média	0,374	0,071	0,440	1,316	0,031	0,206	0,155	1,51	2,59	0,74	12,55	1,85	124,04
SD	0,105	0,017	0,114	0,357	0,009	0,028	0,041	0,11	0,64	0,72	13,89	1,11	72,46

As elevadas concentrações para a maioria metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, se mostraram variáveis ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $2,59 \pm 0,64 \mu\text{mol g}^{-1}$, com picos próximos a superfície e em torno dos 10 cm de profundidade, com exceção para o Co, que apresentou baixa concentração.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram inferiores a SEM, configurando em termos médios a condição dos índices SEM / AVS = 12,75, SEM – AVS = 1,85 e (SEM - AVS) / C_{org} = 124,04.

O resultado do primeiro índice VGQS testado foi muito superior a 1, com um valor médio de $12,55 \mu\text{mol g}^{-1}$, indicando uma toxicidade de metais pesados nos sedimentos. O segundo índice VGQS testado se mostrou acima do valor limiar de toxicidade (1,7) sendo dessa forma caracterizado um potencial de toxicidade, fato esse também confirmado quando da utilização do terceiro índice VGQS, o qual apresentou um valor de 124,04, também próximo ao limiar experimental que é de 130. Assim, ficou evidenciada a possibilidade de toxicidade de metais, podendo estar biodisponíveis no corpo d'água.

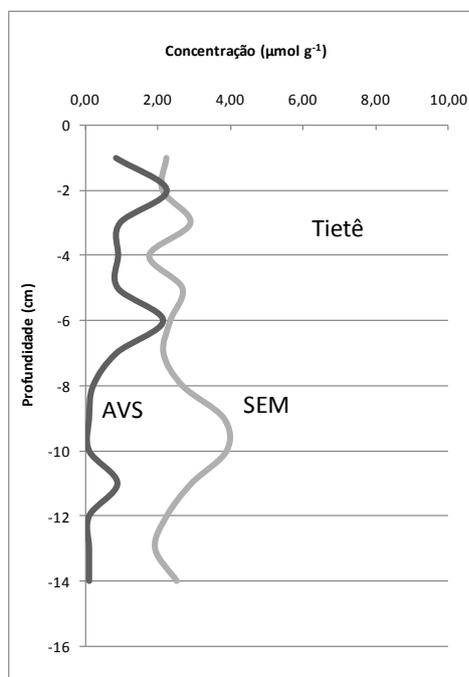


Figura 56. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

A Tabela 20 apresenta os resultados dos principais metais pesados, extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a

partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão referentes à estação de Anhembi, no médio Tietê.

A Figura 57 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Anhembi.

A estação de Anhembi se encontra localizada a uma altitude 472 m, em uma área onde a pecuária e o cultivo da cana-de-açúcar predomina em quase toda a sua extensão.

As concentrações dos metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, mostraram ser bastante variáveis ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $5,93 \pm 1,43 \mu\text{mol g}^{-1}$. Dentre os metais pesados extraídos estudados, elevadas concentrações Cu, Cr, Cd, Zn e Ni puderam ser verificadas.

Os valores de AVS observados para essa estação de amostragem, de uma maneira geral foram inferiores a SEM, configurando, em termos médios, as condições dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 8,3$, $\text{SEM} - \text{AVS} = 3,52$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = 132,11$. O resultado do primeiro índice VGQS testado foi muito superior a 1, indicando um potencial de toxicidade de metais pesados nos sedimentos. Da mesma forma, o segundo índice VGQS se mostrou acima do valor limiar de toxicidade (1,7) caracterizando também um potencial de toxicidade, o que foi confirmado pelo terceiro índice VGQS utilizado, o qual apresentou um valor de 132,11, acima do limiar experimental que é de 130. Assim, ficou evidenciado um potencial de toxicidade de metais nos sedimentos estudados, praticamente em todo o perfil amostrado.

Tabela 20. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê

Anhembi	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,333	0,057	0,361	3,414	0,024	0,265	0,099	2,80	4,55	1,85	2,46	2,70	96,56
1-2	0,470	0,063	0,441	4,106	0,034	1,915	0,104	2,81	7,13	3,62	1,97	3,51	124,87
2-3	0,618	0,062	0,472	4,418	0,033	1,593	0,132	2,74	7,33	2,32	3,16	5,01	182,81
3-4	0,266	0,045	0,253	2,697	0,029	1,714	0,052	1,65	5,06	1,72	2,94	3,34	202,19
4-5	0,515	0,049	0,294	3,113	0,031	0,247	0,076	2,17	4,32	4,76	0,91	-0,44	-20,07
5-6	0,654	0,056	0,387	4,078	0,031	0,330	0,092	2,54	5,63	5,20	1,08	0,43	16,87
6-7	0,632	0,049	0,442	4,664	0,036	0,365	0,117	2,80	6,30	4,85	1,30	1,45	51,96
7-8	0,474	0,061	0,479	4,592	0,035	0,352	0,128	2,77	6,12	3,43	1,78	2,69	97,18
8-9	0,517	0,049	0,343	3,314	0,028	0,206	0,094	1,79	4,55	2,10	2,17	2,45	137,03
9-10	0,666	0,048	0,423	4,124	0,027	0,268	0,096	3,10	5,65	1,20	4,71	4,45	143,61
10-11	0,447	0,043	0,452	4,198	0,033	0,251	0,120	3,11	5,54	0,30	18,48	5,24	168,62
11-12	0,469	0,038	0,521	4,711	0,027	0,288	0,129	3,24	6,18	5,27	1,17	0,91	28,02
12-13	0,887	0,048	0,697	6,282	0,039	0,397	0,149	3,60	8,50	3,81	2,23	4,69	130,19
13-14	0,397	0,043	0,623	5,366	0,033	0,343	0,136	3,37	6,94	3,18	2,18	3,76	111,64
14-15	0,428	0,067	0,681	5,933	0,041	0,360	0,140	3,10	7,65	1,98	3,86	5,67	182,93
15-16	0,753	0,049	0,733	6,458	0,042	0,386	0,175	3,33	8,60	3,64	2,36	4,96	148,81
16-17	0,591	0,050	0,692	5,908	0,043	0,353	0,153	3,46	7,79	2,41	3,24	5,38	155,57
17-18	0,085	0,036	0,521	4,816	0,047	0,351	0,135	2,80	5,99	1,67	3,59	4,32	154,37
18-19	0,210	0,058	0,441	4,385	0,050	0,335	0,110	2,48	5,59	0,95	5,88	4,64	187,09
19-20	0,578	0,058	0,331	3,523	0,050	0,297	0,103	2,16	4,94	0,84	5,90	4,10	189,96
20-21	0,534	0,025	0,296	3,201	0,043	0,270	0,086	2,31	4,46	0,10	44,56	4,36	188,58
21-22	0,450	0,039	0,244	2,674	0,036	0,210	0,076	2,02	3,73	0,10	37,29	3,63	179,64
22-23	0,463	0,040	0,252	2,776	0,035	0,173	0,073	2,06	3,81	0,10	38,11	3,71	180,17
média	0,497	0,049	0,451	4,294	0,036	0,490	0,112	2,70	5,93	2,41	8,32	3,52	132,11
SD	0,175	0,010	0,151	1,134	0,007	0,501	0,030	0,55	1,43	1,68	13,08	1,64	61,67

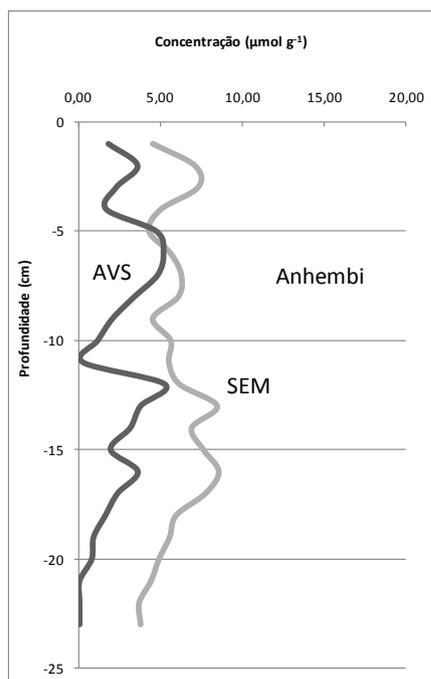


Figura 57. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

Os resultados referentes à estação de Barra Bonita podem ser observados na Tabela 21, onde são verificadas as concentrações dos principais metais extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A Figura 58 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Barra Bonita.

A estação de Barra Bonita está localizada a uma altitude média de 457 metros, em uma área de predomínio agrícola, principalmente o cultivo de cana de açúcar como também a pecuária. Cabe salientar que o rio Tietê neste trecho recebe as águas de seu principal tributário, o rio Piracicaba, sendo uma sub-bacia com mais de 3 milhões de habitantes.

Tabela 21. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê

Barra	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,069	0,057	0,040	0,410	0,014	0,054	0,047	4,78	0,69	1,64	0,42	-0,95	-19,84
1-2	0,037	0,051	0,271	0,424	0,012	0,055	0,020	3,79	0,87	0,72	1,21	0,15	3,97
2-3	0,057	0,049	0,395	0,380	0,014	0,067	0,033	2,75	1,00	0,26	3,83	0,74	26,76
3-4	0,013	0,020	0,096	0,345	0,010	0,042	0,002	2,29	0,53	7,45	0,07	-6,92	-302,25
4-5	0,004	0,043	0,098	0,149	0,010	0,041	0,002	1,14	0,35	0,56	0,62	-0,21	-18,75
5-6	0,002	0,021	0,051	0,098	0,003	0,029	0,010	1,29	0,21	0,56	0,38	-0,35	-26,96
6-7	0,000	0,008	0,020	0,116	0,003	0,018	0,044	0,60	0,21	1,34	0,16	-1,13	-188,63
7-8	0,000	0,025	0,036	0,127	0,004	0,024	0,012	0,62	0,23	0,10	2,29	0,13	20,83
8-9	0,000	0,023	0,018	0,112	0,005	0,021	0,020	1,05	0,20	1,21	0,17	-1,01	-96,19
9-10	0,000	0,000	0,025	0,059	0,003	0,007	0,020	0,54	0,11	0,10	1,10	0,01	1,85
10-11	0,000	0,000	0,010	0,037	0,005	0,017	0,000	0,41	0,07	0,10	0,70	-0,03	-7,32
média	0,017	0,027	0,096	0,205	0,008	0,034	0,019	1,75	0,41	1,28	0,99	-0,87	-55,14
SD	0,026	0,020	0,124	0,151	0,005	0,019	0,016	1,47	0,32	2,12	1,14	2,09	102,68

As concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, se mostraram bastante baixas e variáveis ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,41 \pm 0,32 \mu\text{mol g}^{-1}$, sendo apenas significativa em termos de Cr e Cd, em comparação com as estações anteriores da parte alta da bacia de drenagem.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem se mostraram próximos a SEM, configurando em termos médios as condições dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 1$, $\text{SEM} - \text{AVS} = -0,87$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = -55,14$, verificando dessa forma nenhum risco potencial de toxicidade para os metais pesados nos sedimentos amostrados, fato este também observado por Silvério (2003), em seu estudo onde encontrou valores de $1,7 \mu\text{mol g}^{-1}$ para SEM e $4,2 \mu\text{mol g}^{-1}$ para AVS.

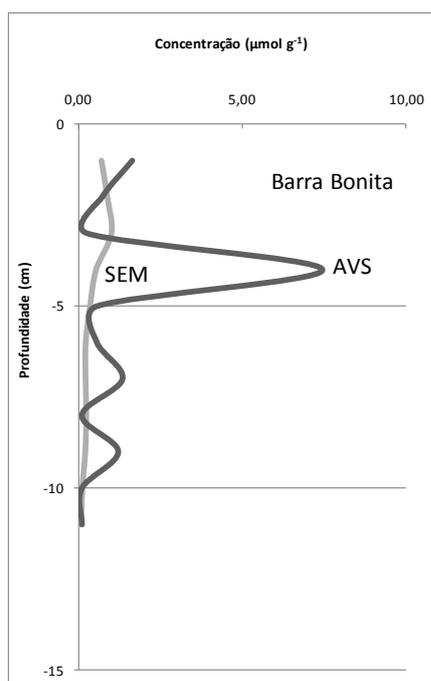


Figura 58. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Barra Bonita, na bacia do médio rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

A Tabela 22 apresenta os resultados dos principais metais pesados, extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão, referentes à estação de Bariri, no início do baixo rio Tietê.

A Figura 59 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Bariri.

A estação de Bariri esta localizada a uma altitude média de 447 m, onde ocorre um predomínio agrícola principalmente de cultivo de cana de açúcar e pecuária regular.

Tabela 22. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Bariri, na bacia do baixo rio Tietê

Bariri	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)			(μmol g ⁻¹)	(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,056	0,064	0,096	0,384	0,018	0,120	0,054	3,53	0,79	1,30	0,61	-0,51	-14,38
1-2	0,049	0,034	0,065	0,479	0,015	0,141	0,073	2,67	0,86	4,58	0,19	-3,72	-139,50
2-3	0,049	0,040	0,076	0,504	0,011	0,119	0,084	3,67	0,88	6,20	0,14	-5,32	-144,88
3-4	0,046	0,020	0,050	0,459	0,010	0,093	0,062	3,46	0,74	0,62	1,19	0,12	3,47
4-5	0,036	0,037	0,038	0,531	0,006	0,076	0,055	2,04	0,78	0,10	7,80	0,68	33,25
5-6	0,042	0,053	0,060	0,344	0,012	0,090	0,037	2,09	0,64	1,22	0,52	-0,58	-27,95
6-7	0,051	0,077	0,057	0,305	0,011	0,098	0,050	2,33	0,65	0,49	1,33	0,16	6,83
7-8	0,033	0,030	0,045	0,327	0,009	0,072	0,002	2,23	0,52	0,10	5,17	0,42	18,75
8-9	0,031	0,069	0,041	0,508	0,011	0,107	0,047	2,77	0,81	2,68	0,30	-1,87	-67,42
9-10	0,037	0,022	0,062	0,355	0,012	0,075	0,035	2,33	0,60	0,10	5,97	0,50	21,30
10-11	0,030	0,060	0,064	0,278	0,009	0,079	0,082	1,77	0,60	1,16	0,52	-0,56	-31,50
11-12	0,026	0,035	0,043	0,350	0,011	0,088	0,018	2,25	0,57	7,05	0,08	-6,48	-288,32
12-13	0,032	0,073	0,068	0,386	0,014	0,087	0,026	1,84	0,69	5,72	0,12	-5,03	-273,44
13-14	0,026	0,019	0,026	0,184	0,009	0,036	0,013	1,71	0,31	14,58	0,02	-14,27	-834,77
14-15	0,033	0,026	0,039	0,243	0,008	0,023	0,031	1,83	0,40	0,31	1,30	0,09	5,08
15-16	0,015	0,021	0,017	0,084	0,007	0,019	0,013	2,09	0,18	0,10	1,78	0,08	3,73
16-17	0,012	0,008	0,025	0,130	0,005	0,021	0,032	1,80	0,23	0,28	0,83	-0,05	-2,57
17-18	0,022	0,017	0,020	0,078	0,003	0,014	0,024	4,36	0,18	0,10	1,77	0,08	1,77
18-19	0,015	0,046	0,025	0,055	0,006	0,023	0,025	2,01	0,19	0,10	1,95	0,09	4,72
19-20	0,015	0,014	0,019	0,020	0,006	0,022	0,002	2,46	0,10	0,10	0,98	0,00	-0,07
20-21	0,030	0,047	0,023	0,129	0,009	0,003	0,014	2,53	0,26	0,10	2,55	0,16	6,13
21-22	0,009	0,031	0,023	0,049	0,006	0,015	0,017	1,91	0,15	0,10	1,51	0,05	2,68
22-23	0,025	0,054	0,021	0,166	0,007	0,014	0,020	2,35	0,31	0,10	3,07	0,21	8,80
média	0,031	0,039	0,044	0,276	0,009	0,063	0,035	2,44	0,50	2,05	1,73	-1,55	-74,27
SD	0,013	0,020	0,022	0,164	0,004	0,042	0,024	0,70	0,26	3,50	2,03	3,46	187,93

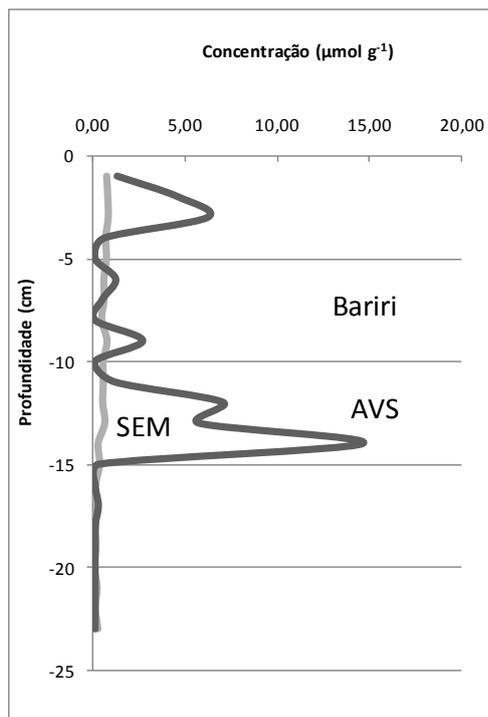


Figura 59. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Bariri, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

As baixas concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, se mostraram similares ao observado na estação da Barra Bonita, apenas com destaque para Cd, Ni e Pb, cujas concentrações foram ligeiramente superiores, apresentando-se mais concentrados em superfície, com uma média de $0,50 \pm 0,26 \mu\text{mol/g}$.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram superiores a SEM, configurando em termos médios as condições dos índices SEM / AVS = 1,8, SEM – AVS = -1,55 e (SEM-AVS) / C_{org} = -74,27, não sendo verificado nenhum risco de toxicidade dos metais pesados estudados, o mesmo observado por Silvério (2003), em seu estudo onde encontrou valores de $1,4 \mu\text{mol g}^{-1}$ para SEM e $6,3 \mu\text{mol g}^{-1}$ para AVS.

Observa-se que o valor determinado para os três índices VGQS apresentam um elevado desvio padrão, isto se deve a variabilidade ao longo do perfil.

Os resultados referentes à estação de Ibitinga foram apresentados na Tabela 23, onde podem ser observadas as concentrações dos principais metais pesados, extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A Figura 60 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Ibitinga.

A estação de Ibitinga esta localizada a uma altitude média de 431 m, em uma área de predomínio agrícola principalmente o cultivo de cana de açúcar e indústrias têxteis.

Tabela 23. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê

Ibitinga	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,094	0,088	0,041	0,514	0,013	0,116	0,018	2,71	0,88	1,41	0,63	-0,53	-19,39
1-2	0,093	0,118	0,058	0,795	0,015	0,161	0,027	2,53	1,27	2,09	0,61	-0,82	-32,47
2-3	0,084	0,245	0,033	0,547	0,014	0,131	0,019	2,35	1,07	0,80	1,34	0,27	11,53
3-4	0,081	0,133	0,028	0,374	0,010	0,066	0,007	2,36	0,70	3,72	0,19	-3,02	-128,04
4-5	0,123	0,115	0,040	0,404	0,012	0,029	0,009	2,07	0,73	0,10	7,32	0,63	30,51
5-6	0,147	0,221	0,050	0,639	0,014	0,045	0,009	2,43	1,12	6,36	0,18	-5,24	-215,48
6-7	0,139	0,189	0,028	0,576	0,011	0,018	0,007	2,23	0,97	2,26	0,43	-1,29	-58,00
7-8	0,118	0,123	0,019	0,473	0,009	0,008	0,013	1,64	0,76	0,10	7,62	0,66	40,36
8-9	0,089	0,043	0,013	0,361	0,005	0,006	0,000	1,30	0,52	0,10	5,18	0,42	32,12
9-10	0,076	0,030	0,015	0,158	0,004	0,005	0,000	1,14	0,29	0,10	2,88	0,19	16,52
10-11	0,106	0,051	0,033	0,281	0,004	0,009	0,000	1,94	0,49	0,10	4,85	0,39	19,85
11-12	0,140	0,084	0,025	0,356	0,011	0,004	0,004	1,96	0,63	0,10	6,25	0,53	26,79
12-13	0,161	0,101	0,032	0,357	0,010	0,017	0,004	1,94	0,68	0,10	6,83	0,58	30,04
13-14	0,178	0,096	0,015	0,355	0,013	0,014	0,005	1,83	0,68	0,10	6,77	0,58	31,52
14-15	0,108	0,059	0,030	0,308	0,010	0,010	0,002	1,63	0,53	0,10	5,27	0,43	26,18
15-16	0,179	0,080	0,017	0,348	0,014	0,009	0,011	1,67	0,66	0,10	6,58	0,56	33,44
16-17	0,190	0,091	0,018	0,350	0,014	0,008	0,015	1,89	0,69	0,10	6,85	0,59	30,97
17-18	0,134	0,082	0,052	0,512	0,017	0,018	0,019	1,89	0,83	0,10	8,33	0,73	38,80
18-19	0,086	0,047	0,074	0,383	0,016	0,014	0,009	1,83	0,63	0,10	6,30	0,53	28,94
19-20	0,138	0,080	0,044	0,513	0,014	0,021	0,019	2,85	0,83	0,10	8,29	0,73	25,58
média	0,123	0,104	0,033	0,430	0,012	0,035	0,010	2,01	0,75	0,90	4,63	-0,15	-1,51
SD	0,035	0,057	0,016	0,143	0,004	0,046	0,008	0,44	0,23	1,63	3,00	1,51	65,03

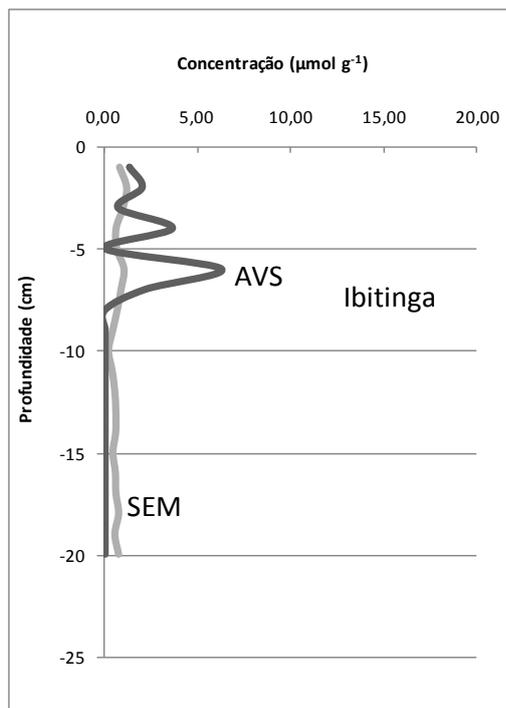


Figura 60. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

As concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, puderam ser observadas para a estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê, sendo pouco variáveis ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,75 \pm 0,23 \mu\text{mol g}^{-1}$, destacando-se Cu, Co e Cd, que foram superiores com relação aos metais extraídos nos sedimentos da estação de Bariri, mas similarmente concentrados em superfície.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram ligeiramente superiores aos teores de SEM na parte superficial do perfil amostrado, sendo inferior em profundidade, configurando em termos médios as condições dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 4,6$, $\text{SEM} - \text{AVS} = -0,15$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = -1,51$, não sendo verificado nenhum risco de toxicidade dos metais pesados estudados. Observa-se que o valor determinado para os três índices VGQS apresentam um elevado desvio padrão, isto se deve a variabilidade ao longo do perfil.

A Tabela 24 apresenta os resultados dos principais metais pesados, extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão, referentes à estação de Promissão, no baixo rio Tietê.

A Figura 61 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Promissão.

A estação de Promissão esta localizada a uma altitude de 426 m, onde ocorre o predomínio agrícola principalmente o cultivo de cana de açúcar e pecuária, esta já bastante intensificada.

As concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, puderam ser observadas para a estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê, apresentando uma distribuição variável ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,61 \pm 0,28 \mu\text{mol g}^{-1}$, o que atestou a ocorrência de baixas concentrações para a maioria dos metais extraídos, sendo observado também por Silvério (2003), onde encontrou um valor próximo de $0,8 \mu\text{mol g}^{-1}$ para SEM.

Tabela 24. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê

Promissão	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,000	0,127	0,103	1,295	0,022	0,124	0,000	9,23	1,67	4,36	0,38	-2,69	-29,14
1-2	0,027	0,055	0,045	0,541	0,009	0,060	0,000	9,61	0,74	4,03	0,18	-3,29	-34,25
2-3	0,036	0,015	0,036	0,602	0,010	0,063	0,000	7,64	0,76	5,70	0,13	-4,94	-64,64
3-4	0,003	0,080	0,039	0,519	0,008	0,058	0,000	7,77	0,71	6,43	0,11	-5,72	-73,65
4-5	0,007	0,043	0,030	0,410	0,006	0,068	0,002	5,53	0,57	8,46	0,07	-7,89	-142,73
5-6	0,000	0,054	0,043	0,538	0,009	0,078	0,000	5,85	0,72	4,07	0,18	-3,35	-57,24
6-7	0,052	0,014	0,049	0,777	0,015	0,093	0,000	8,37	1,00	3,14	0,32	-2,14	-25,55
7-8	0,056	0,059	0,040	0,598	0,011	0,103	0,000	5,49	0,87	2,51	0,34	-1,64	-29,95
8-9	0,063	0,037	0,031	0,516	0,008	0,052	0,000	5,14	0,71	0,15	4,71	0,56	10,84
9-10	0,026	0,036	0,031	0,433	0,008	0,059	0,000	4,72	0,59	3,06	0,19	-2,47	-52,28
10-11	0,046	0,028	0,020	0,357	0,011	0,056	0,000	3,86	0,52	3,01	0,17	-2,49	-64,56
11-12	0,056	0,021	0,031	0,338	0,008	0,079	0,000	4,56	0,53	5,10	0,10	-4,57	-100,18
12-13	0,061	0,052	0,030	0,361	0,008	0,069	0,000	4,79	0,58	5,41	0,11	-4,83	-100,81
13-14	0,055	0,041	0,026	0,282	0,007	0,077	0,004	4,07	0,49	0,10	4,92	0,39	9,64
14-15	0,061	0,025	0,048	0,350	0,007	0,066	0,002	4,63	0,56	3,74	0,15	-3,18	-68,74
15-16	0,055	0,043	0,025	0,361	0,006	0,058	0,000	4,35	0,55	2,35	0,23	-1,80	-41,38
16-17	0,058	0,050	0,033	0,318	0,009	0,050	0,000	4,86	0,52	6,60	0,08	-6,08	-125,17
17-18	0,054	0,059	0,045	0,370	0,008	0,067	0,007	6,51	0,61	8,78	0,07	-8,17	-125,50
18-19	0,034	0,031	0,033	0,383	0,012	0,096	0,000	4,81	0,59	7,76	0,08	-7,17	-149,07
19-20	0,056	0,055	0,025	0,713	0,010	0,049	0,003	3,51	0,91	6,58	0,14	-5,67	-161,51
20-21	0,058	0,050	0,026	0,282	0,007	0,048	0,000	3,57	0,47	0,10	4,71	0,37	10,38
21-22	0,070	0,041	0,023	0,247	0,010	0,033	0,000	3,85	0,42	0,10	4,24	0,32	8,41
22-23	0,114	0,052	0,024	0,436	0,006	0,062	0,000	3,29	0,69	5,18	0,13	-4,49	-136,39
23-24	0,075	0,053	0,034	0,296	0,011	0,072	0,001	3,13	0,54	4,65	0,12	-4,11	-131,23
24-25	0,067	0,062	0,029	0,187	0,006	0,062	0,000	3,27	0,41	4,51	0,09	-4,10	-125,28
25-26	0,060	0,054	0,048	0,174	0,006	0,074	0,013	2,99	0,43	3,63	0,12	-3,20	-107,05
26-27	0,099	0,065	0,047	0,275	0,011	0,062	0,012	2,87	0,57	4,45	0,13	-3,88	-135,14
27-28	0,059	0,062	0,049	0,204	0,009	0,050	0,007	2,56	0,44	5,70	0,08	-5,26	-205,48
28-29	0,031	0,080	0,032	0,170	0,005	0,054	0,002	2,97	0,37	0,10	3,74	0,27	9,24
29-30	0,000	0,014	0,015	0,059	0,004	0,015	0,000	1,63	0,11	0,10	1,07	0,01	0,43
30-31	0,000	0,012	0,012	0,065	0,003	0,010	0,000	0,99	0,10	0,10	1,02	0,00	0,24
média	0,046	0,047	0,036	0,402	0,009	0,063	0,002	4,72	0,61	3,87	0,91	-3,26	-72,19
SD	0,028	0,024	0,016	0,238	0,003	0,023	0,003	2,09	0,28	2,59	1,61	2,52	61,24

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram superiores a SEM, configurando em termos médios as condições dos índices SEM / AVS = 0,9, SEM – AVS = -3,26 e (SEM-AVS) / C_{org} = -72,19, não sendo verificado nenhum potencial risco de toxicidade dos metais pesados estudados.

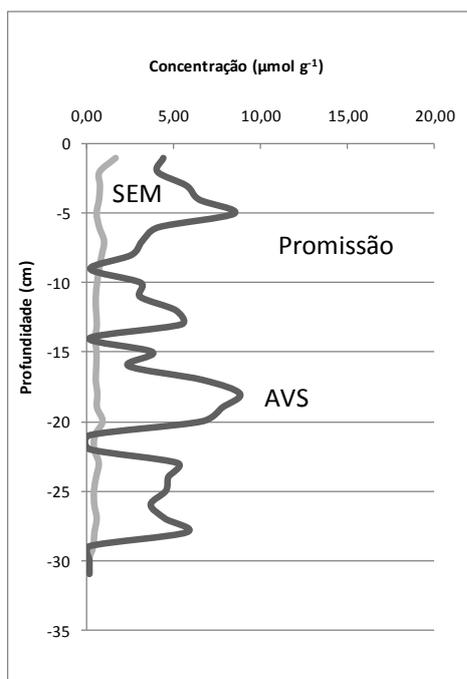


Figura 61. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Ibitinga, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

Os resultados referentes à estação de Nova Avanhandava são apresentados na Tabela 25, onde podem ser observadas as concentrações dos principais metais pesados extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão.

A Figura 62 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Nova Avanhandava.

A estação de Nova Avanhandava esta localizada a uma altitude de 428 m, onde ocorre o predomínio agrícola principalmente o cultivo de cana de açúcar, café e pecuária.

Tabela 25. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê

N. Avanhandava	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,187	0,168	0,053	0,331	0,009	0,030	0,008	3,37	0,79	0,65	1,21	0,14	4,06
1-2	0,223	0,247	0,120	0,370	0,012	0,026	0,010	3,30	1,01	0,10	10,09	0,91	27,55
2-3	0,237	0,221	0,083	0,300	0,012	0,026	0,010	3,28	0,89	0,10	8,89	0,79	24,07
3-4	0,313	0,256	0,086	0,364	0,016	0,035	0,011	3,31	1,08	0,10	10,82	0,98	29,68
4-5	0,369	0,219	0,058	0,275	0,011	0,019	0,013	3,33	0,96	0,10	9,64	0,86	25,95
5-6	0,444	0,279	0,091	0,377	0,018	0,041	0,013	3,51	1,26	0,10	12,62	1,16	33,10
6-7	0,458	0,299	0,082	0,303	0,015	0,041	0,015	3,27	1,21	0,10	12,13	1,11	34,04
7-8	0,495	0,325	0,137	0,324	0,015	0,022	0,009	3,00	1,33	0,10	13,27	1,23	40,89
8-9	0,514	0,295	0,108	0,369	0,019	0,034	0,012	2,81	1,35	0,10	13,52	1,25	44,54
9-10	0,560	0,275	0,082	0,332	0,012	0,022	0,005	2,58	1,29	0,10	12,88	1,19	46,06
média	0,380	0,258	0,090	0,334	0,014	0,030	0,011	3,18	1,12	0,16	10,51	0,96	30,99
SD	0,134	0,046	0,026	0,035	0,003	0,008	0,003	0,29	0,20	0,17	3,64	0,33	12,18

As concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, puderam ser observadas para a estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê, mostrando baixa variabilidade ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $0,61 \pm 0,28 \mu\text{mol g}^{-1}$. Elevadas concentrações de Cu e Co extraídos dos sedimentos puderam ser verificadas, principalmente em comparação com as estações anteriores.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram inferiores a SEM, próximos do limite de determinação, configurando em termos médios as condições dos índices $\text{SEM} / \text{AVS} = 10,5$, $\text{SEM} - \text{AVS} = 0,96$ e $(\text{SEM} - \text{AVS}) / C_{\text{org}} = 30,99$. Embora o resultado do primeiro índice VGQS testado seja superior a 10, valor que indica uma toxicidade de metais pesados nos sedimentos, o segundo índice VGQS testado se mostrou abaixo do limiar de toxicidade (1,7) não sendo dessa forma caracterizada a toxicidade, fato esse também confirmado quando da utilização do terceiro índice VGQS utilizado, o qual apresentou um valor de 30,99, muito inferior ao limiar experimental de 130, previamente definido para o caráter de não toxicidade. Tais valores, de acordo com a literatura, por ser positivo e até significativo, poderia indicar uma possibilidade futura de toxicidade, dependendo de sua evolução. A simples condição $\text{SEM}/\text{AVS} > 10$ evidencia certa precaução com relação a essa estação de amostragem.

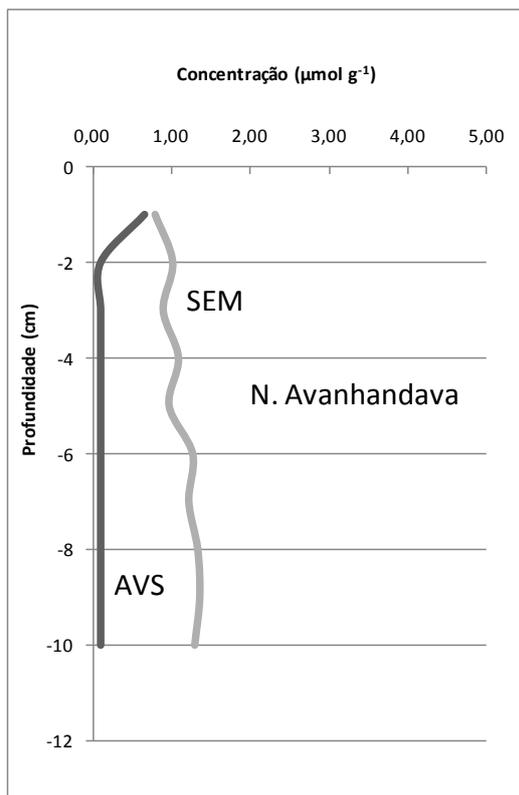


Figura 62. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

A Tabela 26 apresenta os resultados dos principais metais extraídos, SEM, AVS, teor de carbono orgânico e índice de toxicidade calculados a partir dos valores guia de qualidade de sedimentos VGQS, incluindo as concentrações ao longo do perfil e os respectivos desvios padrão, referente à estação de Três Irmãos, no baixo rio Tietê.

A Figura 63 ilustra o relacionamento entre as concentrações SEM e AVS dos sedimentos de fundo amostrados ao longo da bacia do rio Tietê, em perfis de profundidade, para a estação de amostragem de Três Irmãos.

A estação de Três Irmãos está localizada a uma altitude de 347 m, onde ocorre o predomínio agrícola principalmente o cultivo de cana de açúcar e pecuária bastante intensificada.

Tabela 26. Concentrações dos principais metais pesados, SEM, AVS, teor de carbonos orgânicos e índices de toxicidade de metais pesados para os sedimentos de fundo, referentes à estação de Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê

Três Irmãos	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	C	SEM	AVS	SEM/AVS	SEM-AVS	(SEM-AVS)/C _{org}
prof (cm)	(μmol g ⁻¹)							(%)	(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹)		(μmol g ⁻¹ C)
0-1	0,063	0,135	0,070	0,306	0,006	0,027	0,000	2,39	0,61	1,50	0,40	-0,89	-37,35
1-2	0,050	0,091	0,054	0,186	0,003	0,015	0,000	2,19	0,40	0,45	0,89	-0,05	-2,35
2-3	0,188	0,209	0,107	0,436	0,004	0,045	0,000	2,66	0,99	1,20	0,82	-0,21	-7,93
3-4	0,402	0,386	0,163	0,453	0,011	0,074	0,000	2,72	1,49	0,10	14,88	1,39	51,01
4-5	0,472	0,453	0,166	0,457	0,011	0,099	0,000	2,78	1,66	0,10	16,58	1,56	56,04
5-6	0,532	0,498	0,117	0,433	0,010	0,093	0,000	2,71	1,68	0,10	16,83	1,58	58,42
6-7	0,450	0,392	0,094	0,371	0,009	0,073	0,000	2,76	1,39	0,10	13,89	1,29	46,70
7-8	0,491	0,445	0,093	0,387	0,011	0,078	0,003	2,51	1,51	0,10	15,09	1,41	56,14
8-9	0,458	0,374	0,100	0,377	0,007	0,082	0,006	2,48	1,40	0,10	14,03	1,30	52,55
9-10	0,375	0,307	0,036	0,226	0,004	0,055	0,005	2,56	1,01	0,10	10,08	0,91	35,47
10-11	0,410	0,393	0,097	0,397	0,007	0,077	0,013	2,57	1,39	0,10	13,92	1,29	50,28
média	0,354	0,335	0,100	0,366	0,008	0,065	0,003	2,58	1,23	0,36	10,67	0,87	32,64
SD	0,172	0,134	0,040	0,091	0,003	0,027	0,004	0,18	0,42	0,51	6,64	0,85	32,84

As concentrações de metais pesados extraídos dos sedimentos, representados pela SEM, mostraram ser pouco variáveis ao longo do perfil de profundidade, com uma média de $1,23 \pm 0,42 \mu\text{mol g}^{-1}$ e da mesma forma que o verificado na estação anterior, os metais pesados extraídos dos sedimentos, considerados mais concentrados foram Cu e Co.

Os valores de AVS observados para tal estação de amostragem foram inferiores a SEM, configurando em termos médios as condições dos índices SEM / AVS = 10,7, SEM – AVS = 0,87 e (SEM-AVS) / $C_{\text{org}} = 32,64$.

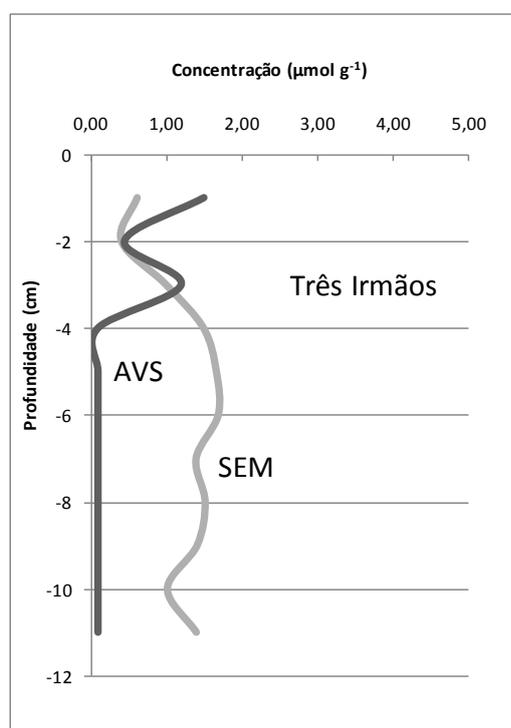


Figura 63. Relacionamento SEM e AVS para os sedimentos de fundo, em perfis de profundidade, referentes à estação de Três Irmãos, na bacia do baixo rio Tietê. (SEM = Cu + Co + Cr + Zn + Cd + Ni + Pb)

Conforme observado para a estação anterior, os resultados apresentados para Três Irmãos foram similares e de acordo com o descrito anteriormente, os mesmos também poderiam indicar uma possibilidade futura de toxicidade, dependendo de sua evolução. Da mesma forma, a simples condição SEM/AVS > 10 evidencia certa precaução com relação a essa estação de amostragem.

5.4.1 Comparação dos critérios de biodisponibilidade de metais

Conforme descrito no item 4.5.5.1., foi realizada uma comparação dos critérios de biodisponibilidade sendo observado que a simples interpretação do índice SEM / AVS, comumente usado na literatura, pode levar a resultados errôneos e incongruentes a respeito da toxicidade de metais pesados ou caráter de biodisponibilidade em sedimentos de fundo em zonas anóxicas ou com pouco oxigênio. De acordo com esse índice, ao longo da bacia do rio Tietê, seis estações de amostragem estudadas poderiam estar comprometidas com possibilidade de toxicidade de metais pesados, tendo os seus sedimentos contaminados, casos de Ponte Nova e Biritiba no alto Tietê, Tietê e Anhembi no médio Tietê e Nova Avanhandava e Três Irmãos, junto à foz, no baixo Tietê.

A interpretação de outros dois índices, SEM – AVS e (SEM-AVS) / Corg, mostraram resultados diferentes com relação ao primeiro, ressaltando potencial de toxicidade de metais pesados nos sedimentos estudados apenas com relação às estações de Tietê e Anhembi, no médio Tietê, quando são considerados os limites dos respectivos VGQS. Uma análise crítica desses conceitos mostra também a subjetividade dessas interpretações, uma vez que valores próximos aos limites estabelecidos, poderiam apresentar potenciais de toxicidade, talvez em menor porcentagem. Esse seria o caso das duas estações de amostragem em direção a foz do rio Tietê, Nova Avanhandava e Três Irmãos, cujos valores se mostraram bem elevados de acordo com SEM / AVS > 1 e relativamente próximos ao limites dos outros dois índices utilizados.

Dessa forma, também as estações de Nova Avanhandava e Três Irmãos deveriam ser incluídas nessa zona de risco de toxicidade e ter o monitoramento acompanhado.

A Figura 64 ilustra a evolução espacial do caráter de toxicidade metálica dos sedimentos de fundo amostrados (perfil médio) na bacia do rio Tietê, de acordo com os índices utilizados.

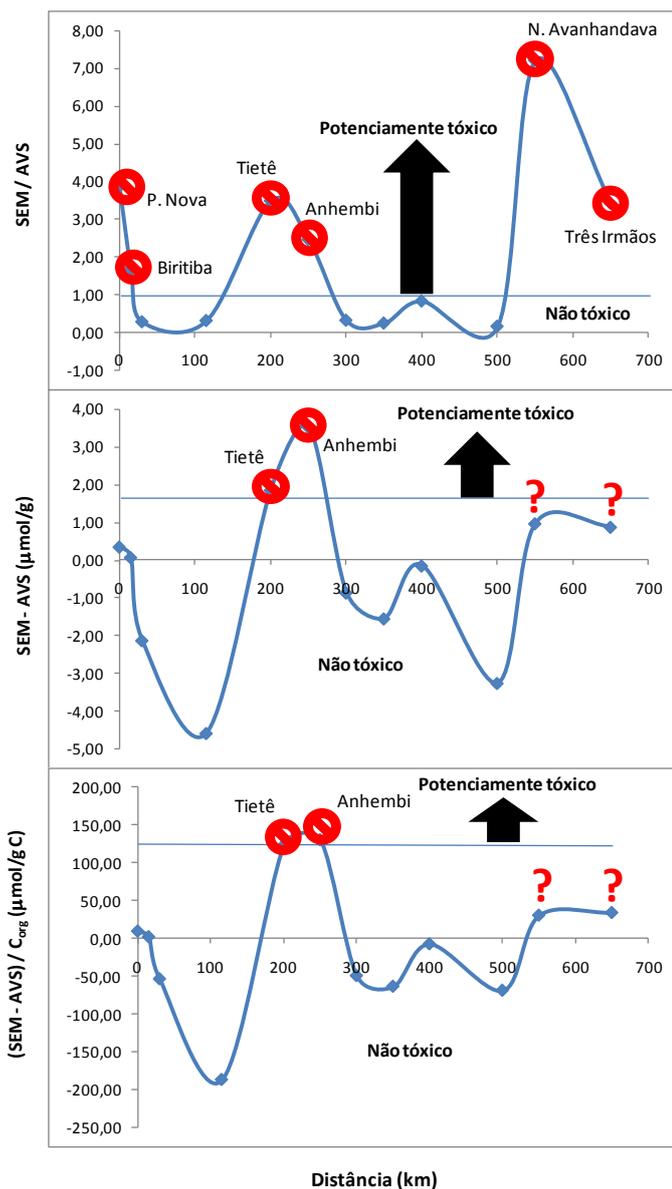


Figura 64. Variabilidade espacial do caráter de toxicidade metálica dos sedimentos de fundo amostrados (perfil médio) na bacia do rio Tietê, de acordo com os índices SEM / AVS, SEM – AVS e (SEM-AVS) / C_{org}

5.4.2 Comparação dos Métodos SEM-AVS (HCl 2M) e Extração Sequencial Seletiva

Os potenciais de extração das fases lábeis ou biodisponíveis para cada metal dentro dos métodos utilizados (ataque ácido à frio, HCl 2M – AVS e extração sequencial seletiva, S1 a S4) foram avaliados ao longo da bacia do rio Tietê, nos perfis de profundidade, sendo que para a presente estudo foi utilizado o método SEM-AVS (HCl 2M) e a extração sequencial seletiva, conforme item 4.5.6., sendo estes os mais citados na literatura dentre vários métodos de extração química parcial de metais pesados em sedimentos fluviais, ditos metais pertencentes à fração lábil

ou biodisponível. Os tradicionais métodos envolvendo extração seletiva de metais pesados tem por base o aumento da força de ataque em função da diminuição do pH da solução extratora e ainda mesmo a própria solução extratora. Dentre esses métodos, talvez o de Tessier et al (1979) seja o mais famoso, e nele como na maioria dos outros métodos, a soma das frações: solúvel, trocável, carbonatos, óxidos de Fe e Mn e matéria orgânica representa a fase lábil ou biodisponível.

A vantagem desses métodos de extração seletiva está relacionada com a possibilidade de se encontrar os metais pesados distribuídos nessas frações e quantificá-los percentualmente com respeito às concentrações totais (abertura total do sedimento) previamente realizadas. No entanto, outros métodos também propõem a extração química parcial, como é o caso do ataque ácido a frio com HCl 2M, que é a base do método da extração simultânea de metais pesados com o AVS (sulfetos volatilizados).

O que não encontramos na literatura é a comparação entre as forças de ataque químico de cada um dos métodos citados, e no caso da extração seqüencial seletiva em cada uma de suas frações geoquímicas (S1 a S4).

Após inúmeras extrações e análises realizadas nos sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê, foi possível comparar os potenciais de extração químicos parcial entre os métodos de extração seqüencial seletiva e extração ácida a frio (HCl 2M).

A Figura 65 ilustra a comparação da extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) com a extração seqüencial seletiva em suas frações geoquímicas S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) para as principais espécies químicas determinadas nos sedimentos de fundo (perfil médio) na bacia do alto rio Tietê, tendo como representante a estação de amostragem em Ponte Nova, próximo as nascentes do Tietê.

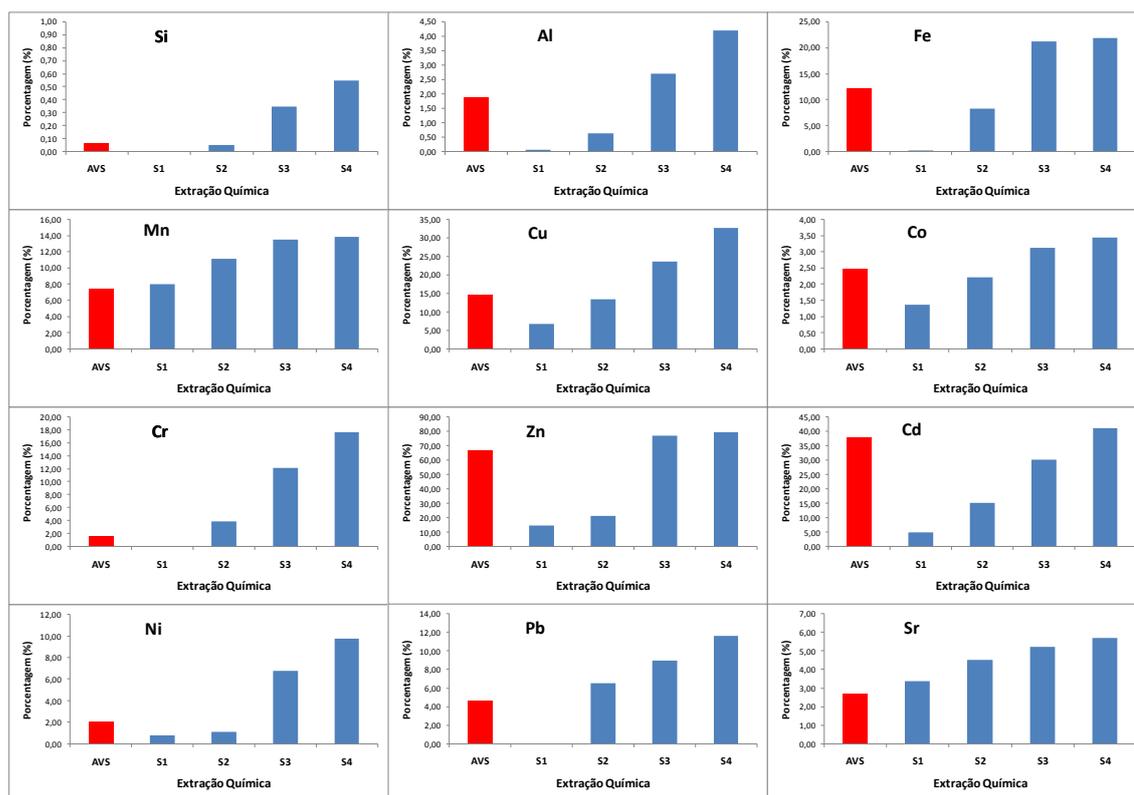


Figura 65. Comparação entre a extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) e a extração seqüencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) das principais espécies químicas nos sedimentos de fundo do alto rio Tietê em Ponte Nova

Pode ser verificado, como era de se esperar, as baixas extrações obtidas pelos dois métodos para Si e Al, uma vez que essas espécies químicas se encontram mais fortemente ligadas à rede cristalina dos sedimentos, embora para o Al foi possível observar que a extração ácida HCl 2M (AVS) foi similar à extração seqüencial seletiva para a fração geoquímica dos óxidos de Fe e Mn (S3). Os resultados observados para o Fe mostraram que a força do ataque ácido HCl 2M (AVS) foi equivalente ou ligeiramente superior somente à fração ácido solúvel (S2), indicando a fragilidade dessa extração química, uma vez que a fase dos óxidos de Fe e Mn extraiu duas vezes mais. O mesmo foi verificado para o Mn, cujo ataque ácido HCl 2M (AVS) foi somente equivalente à fração solúvel+trocável (S1).

Para os metais pesados Cu, Co, Cr, Ni e Pb foram verificados que os ataques ácidos HCl 2M (AVS) representaram somente as fração ácido solúveis (S2), enquanto para Zn e Cd os ataques ácidos foram equivalentes a fração orgânica (S4). Por outro lado, como esperado, para o metal alcalino-terroso Sr foi possível observar que as porcentagens de extração mais elevadas foram verificadas na

fração geoquímica solúvel+trocável (S1) sendo similar ao ataque ácido HCl 2M (AVS).

De uma forma geral podemos verificar que, para a maioria das espécies químicas estudadas, incluindo os metais pesados, a força do ataque ácido HCl 2M (AVS) se mostrou equivalente a extração da fração geoquímica ácido solúvel (S2).

A Figura 66 ilustra a comparação da extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) com a extração seqüencial seletiva em suas frações geoquímicas S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) para as principais espécies químicas determinadas nos sedimentos de fundo (perfil médio) na bacia do médio rio Tietê, tendo como representante a estação de amostragem em Anhembi.

As baixas extrações obtidas pelos dois métodos para Si, Al e Fe foram similares às verificadas no alto Tietê, valendo a discussão anterior. Para o Mn foi verificado que o ataque ácido HCl 2M (AVS) foi equivalente à fração dos óxidos de Fe e Mn (S3), diferentemente do observado no alto Tietê.

Com relação aos metais pesados Cu, Zn, Cd e Ni, os ataques ácidos HCl 2M (AVS) foram equivalentes à fração dos óxidos de Fe e Mn (S3), exceto para o Co, Cr e Pb, cujo ataque ácido se mostrou equivalente à fração ácido solúvel (S2), enquanto que o Sr se mostrou inferior ao observado no alto Tietê, ou seja à fase geoquímica solúvel+trocável (S1).

De uma forma geral podemos observar que, para a maioria das espécies químicas estudadas, incluindo os metais pesados, a força do ataque ácido HCl 2M (AVS) se mostrou equivalente a extração da fração geoquímica dos óxidos de Fe e Mn (S3).

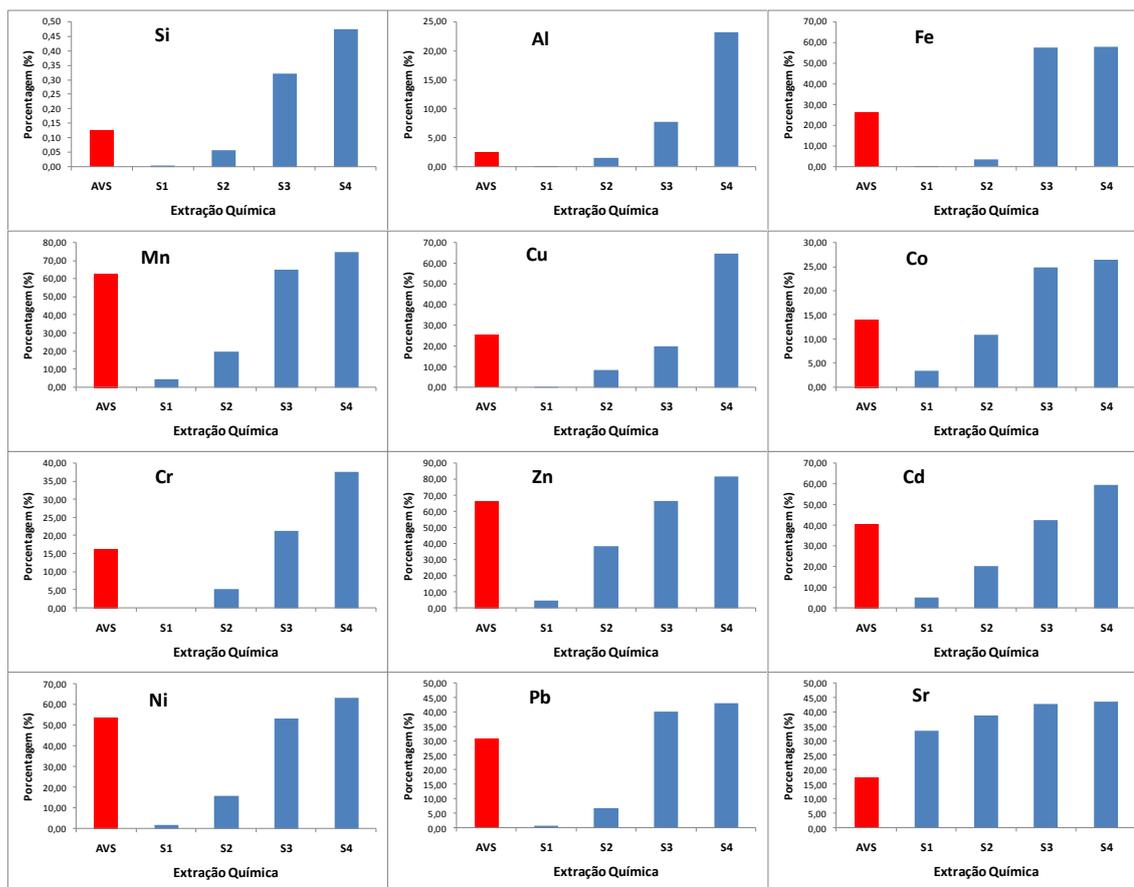


Figura 66. Comparação entre a extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) e a extração seqüencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) das principais espécies químicas nos sedimentos de fundo do médio rio Tietê em Anhembi

A Figura 67 ilustra a comparação da extração ácida a frio, HCl 1N (AVS) com a extração seqüencial seletiva em suas frações geoquímicas S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) para as principais espécies químicas determinadas nos sedimentos de fundo (perfil médio) na bacia do baixo rio Tietê, tendo como representante a estação de amostragem Três Irmãos, junto a foz do rio Tietê.

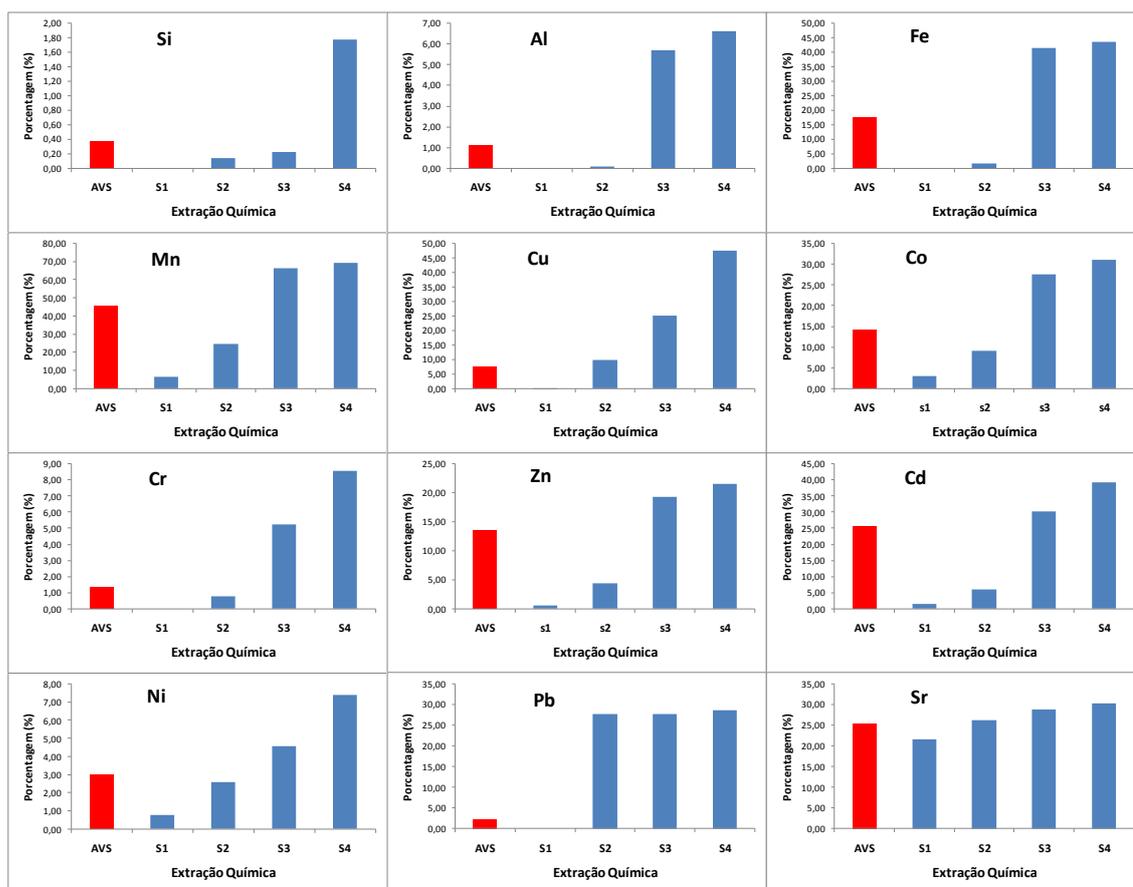


Figura 67. Comparação entre a extração ácida a frio, HCl 2M (AVS) e a extração seqüencial seletiva S1 (solúvel+trocável), S2 (ácido solúvel), S3 (óxidos de Fe e Mn) e S4 (orgânica) das principais espécies químicas nos sedimentos de fundo do baixo rio Tietê na estação Três Irmãos, junto a zoz

As baixas extrações obtidas pelos dois métodos para Si, Al e Fe foram similares às verificadas no alto e médio Tietê. Para o Mn foi verificado que o ataque ácido HCl 2M (AVS) foi superior à fração ácido solúvel (S2), diferentemente do observado no médio rio Tietê.

Para a maioria dos metais pesados estudados, os ataques ácidos HCl 2M (AVS) foram equivalentes à fração ácido solúvel (S2), exceto para o Si, cujo ataque ácido se mostrou equivalente à fração dos óxidos de Fe e Mn (S3), enquanto que o Sr se mostrou superior ao observado no alto e médio Tietê, ou seja equivalente à fração ácido solúvel.

De uma forma geral podemos verificar que, para a maioria das espécies químicas estudadas, incluindo os metais pesados, a força do ataque ácido HCl 2M (AVS) se mostrou equivalente a extração da fração geoquímica do ácido solúvel (S2), sendo possivelmente associado a granulometria do sedimento, como pode ser observado na figura 18.

Os sedimentos de fundo do alto rio Tietê se mostraram mais arenosos, com teor de silte+argila da ordem de somente 12%, ao passo que os sedimentos de fundo do médio Tietê apresentaram concentrações de silte+argila superiores a 90%, voltando novamente a um teor arenoso médio, com 50% areias e 50% de silte+argila junto à foz no baixo rio Tietê. Cabe salientar que um dos parâmetros normalmente associado com a força das ligações químicas, o carbono orgânico particulado, se mostrou similar nos sedimentos analisados nesses respectivos locais de amostragem, variando de 2,6 a 3,7 %.

As diferenças observadas nesses potenciais evidenciaram que o método AVS correspondeu na maioria dos casos à fração S2 para amostras relativamente arenosas e à fração S3 para amostras com silte/argila superior à 90%.

Embora pareça ainda existir uma dependência do tipo de metal pesado com certo tipo de extração e uma possível influência da natureza granulométrica dos sedimentos, a discussão continua aberta sobre esse quesito da força da extração parcial, que vai indicar o potencial de biodisponibilidade de um determinado metal no meio fluvial.

6 CONCLUSÕES

A interpretação e avaliação de metais pesados para sedimentos fluviais no Brasil apresentam-se ainda escassos em estudos ambientais, sendo assim o presente estudo colaborou com o aprofundamento e entendimento dos principais metais pesados ao longo do rio Tietê, e a partir da extração seqüencial seletiva utilizada, envolvendo as principais frações e fases geoquímicas, bem como a interpretação dos diferentes critérios de toxicidade obtidos pela extração de AVS e metais associados, foi possível verificar a situação dos principais metais pesados ao longo do rio Tietê em perfis de profundidade.

Os resultados obtidos mostraram para a estação de Pirapora, no alto Tietê, 47% de biodisponibilidade de Cu, principalmente associada à matéria orgânica e cerca de 85% de biodisponibilidade de Zn, nas fases dos óxidos de Fe e Mn e ácido solúvel. Tais valores de biodisponibilidades apresentaram-se preocupante principalmente o Zn, além de elevadas concentrações observadas. Embora o percentual calculado para Co tenha sido de 33% de biodisponibilidade com associação aos óxidos de Fe e Mn, as elevadas concentrações observadas nessa estação de amostragem confirmam a influência da componente antrópica nessa região.

No médio Tietê, além das altas concentrações observadas para Cu, elevados percentuais de biodisponibilidade foram verificados, sendo 46 e 65%, respectivamente para as estações de Tietê e Anhembi. Tais biodisponibilidades se mostraram essencialmente ligadas à matéria orgânica, confirmando as possíveis influências antrópicas na região. Em termos de Zn, a situação foi ainda mais preocupante, pois 58 e 81% desse Zn, respectivamente para as estações de Tietê e Anhembi, se mostraram biodisponíveis e mais fracamente ligados, predominando nas frações ácido solúvel e óxidos de Fe e Mn.

Para as estações do baixo rio Tietê, próximas à foz, Nova Avanhandava e Três Irmãos, foi possível verificar respectivamente 37 e 48% de biodisponibilidade de Cu, principalmente ligados aos óxidos de Fe e Mn, enquanto para o Zn, os valores foram de 33 e 22% respectivamente, também associados aos óxidos de Fe e Mn. Como também observado anteriormente, as elevadas concentrações verificada nessas estações de amostragem confirmam a influência da componente antrópica nessa região e no caso do Cu, como controle de algas nesses reservatórios.

A toxicidade de metais pesados nos sedimentos de fundo, em perfis de profundidade ao longo da bacia do rio Tietê, foi avaliada e interpretada no presente estudo de acordo com os principais métodos descritos na literatura internacional, sendo que pela primeira vez foram organizados de uma forma conjunta de execução, usando as mesmas amostras de sedimentos.

O conhecido método da extração simultânea de metais (SEM) com a determinação dos sulfetos volatilizados por ataque ácido a frio (AVS) foram empregados na avaliação da biodisponibilidade dos principais metais pesados nos sedimentos ao longo da bacia do rio Tietê, discutindo os vários critérios de toxicidade: $(SEM / AVS) > 1$, $(SEM - AVS) > 1,7$ e $(SEM - AVS) / C_{org} > 130$, como valores guia de qualidade de sedimentos (VGQS). Após ampla discussão e interpretação dos resultados obtidos, foi adotado o critério $(SEM - AVS) / C_{org} > 130$, como sendo o mais adequado para esse método. Seus resultados mostraram prováveis efeitos de toxicidade de Zn, Cu e Cr nos sedimentos das estações de Tietê e Anhembi, no médio Tietê e efeitos ainda incertos de toxicidade de Cu, Zn e Co nos sedimentos próximos a foz do rio Tietê, em Nova Avanhandava e Três Irmãos.

A comparação dos métodos SEM-AVS (2M) e extração seqüencial seletiva, para o alto rio Tietê a força do ataque ácido HCl 2M (AVS) se mostrou equivalente a extração da fração geoquímica do ácido solúvel (S2), passando tal equivalência à fração dos óxidos de Fe e Mn (S3) no médio Tietê e voltando novamente ser equivalente à fração ácido solúvel (S2) no baixo Tietê, junto à foz. Um dos poucos fatos que pode justificar tal ocorrência e que procede geoquimicamente está associado ao tipo de ligação química com a natureza granulométrica dos sedimentos nessas estações de amostragem.

Os diferentes métodos para avaliação de biodisponibilidade de metais pesados, empregados neste presente estudo, extração seqüencial seletiva e extração simultânea de metais (SEM) com a determinação dos sulfetos volatilizados por ataque ácido a frio (AVS) se mostraram coerentes entre si, evidenciando realmente problemas com contaminação, principalmente de Cu e Zn, em Pirapora (considerado como alto Tietê), Cu, Zn, Co e Cr no médio Tietê (Tietê e Anhembi) e no baixo Tietê, próximo à foz, em Nova Avanhandava e Três Irmãos.

REFERÊNCIAS

- ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533 p.
- AGENCIA NACIONAL DOS TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. Mapa Estado de São Paulo. Brasília, DF, 2007. Disponível em: www.antaq.gov.br. Acesso em: 24/10/2008
- AHNSTROM, Z.A.S.; PARKER, D.R. Cadmium reactivity metal-contaminated soils using a coupled stable isotope dilution– sequential extraction procedure. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 35, p. 121–126, 2001.
- AKCAY, H.; OGUZ, A.; KARAPIRE, C. Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments. **Water Research**, New York, v. 37, p. 813-822, 2003.
- ALLEN, H.E.; GONGMIN, F.; BAOLIN, D. Analysis of acid-volatile sulfide (AVS) and simultaneously extracted metals (SEM) for the estimation of potential toxicity in aquatic sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 12, p. 1441-1453, 1993.
- ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. **Chemical principles of environmental pollution**. London: Blackie Academic & Professional, 1993. 291 p.
- ALMEIDA, C.A.; ROCHA, O. Estudo comparativo da qualidade dos sedimentos dos reservatórios do rio Tietê (SP). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, Rio Grande, v. 1, n. 2, p. 141-145, 2006.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios. Brasília: ANEEL, 2000. 106p. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 12/01/2009
- BACCAN, N. **Introdução a espectrometria de absorção atômica**. Campinas: UNICAMP, 1994.
- BACON, J.R.; HEWITT, I.J.; COOPER, P. Reproducibility of the BCR sequential extraction procedure in a long-term study of the association of heavy metals with soil components in an upland catchment in Scotland. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 337, p. 191-205, 2005.
- BAIRD, C. **Environmental chemistry**. New York: Freeman and Company, 1998. 698 p.
- BARONA, A.; ROMERO, F. Distribution of metals in soils and relationships among fractions by principal component analysis. **Soil Technology**, Cremlingen, v. 8, p. 303-319, 1996.
- BASÍLIO, M.S.; FRIESE, K.; LENA, J.C.; NALINI JUNIOR, H.A.; ROESER H.M.P. Adsorção de As, Cu, Pb, e Cr na avaliação da capacidade de fixação de metais por

resíduo de mineradoras de ferro. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 822-828, 2005.

BEVILACQUA J.E.; SILVA I.S.; LICHTIG J.; MASINI J.C. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê, São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 26-33, 2009.

BOSTELMANN, E. **Avaliação da concentração de metais em amostras de sedimento do reservatório Billings, Braço Rio Grande, São Paulo, Brasil**. 2006. 130 p. Dissertação (Mestrado em Aplicações de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, L.G. (Ed.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 19, p. 637-651.

BRAMORSKI, J. **Avaliação da qualidade de sedimentos dos Rios Tietê e Piracicaba nos seus compartimentos de entrada no reservatório de Barra Bonita, SP**. 2004. 145 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto Radambrasil**. Folhas 23/24. Rio de Janeiro, 1983. p. 27-247. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

CÂMARA, G.M.S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja (Glycine mas (L.) Merrill)**. 1991. 266 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

CAMPOS, R. **Estudos de História moderna e contemporânea**. São Paulo: Ed. Atual, 1988.

CANEPARI, S.; CARDARELLI, E.; GHIGHI, S.; SCIMONELLI, L. Ultrasound and microwave assisted extraction of metals from sediment: a comparison with the BCR procedure. **Talanta**, London, v. 66, p. 1122-1130, 2005.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000. 140 p.

CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Ottawa, 1995. p. 35.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**, 2006. São Paulo, 2007. 327p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, 1993. São Paulo, 1994. (Série Relatórios).

CLEVINGER, T.E. Use of sequential extraction to evaluate the heavy metals in mining wastes. **Water Air & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 50, p. 241-254, 1990.

CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO D. M. Transferência de metais pesados, flúor e radionuclídeos para solos agrícolas na bacia do rio Corumbataí (SP). **Geociências UNESP**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 67-76, 2005.

COTTA, J.A.O.; Rezende, M.O.O.; Piovani, M.R. Avaliação do teor de metais em sedimentos no parque estadual turístico do Alto Ribeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

DI TORO, D.M.; MAHONY, J.D.; HANSEN, D.J.; SCOTT, K.J.; HICKS, M.B.; MAYR, S.M.; REDMOND, M.S. Toxicity of cadmium in sediments: the role of acid volatile sulfide. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 9, p. 1487-1502, 1990.

DI TORO, D.M.; MAHONY, J.D.; HANSEN, D.J.; SCOTT, K.J. CARLSON A.R., ANKLEY G.T. Acid volatile sulphide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 26, p. 96-101, 1992.

DUCHAUFOR, P. **Precis de pedologie**. Paris: Masson et Cie Editeurs, 1970. 481 p. (Reliure Pleine Toile d'Éditeur, 16).

DUFFS, J.H. Heavy metals – a meaningless term? **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

EBINGHAUS, R.; TURNER, R.R.; LACERDA, L.D.; VASILIEV, O.; SALOMONS, W. **Mercury contaminated sites**. Berlin: Springer-Verlag, 1999.

EGREJA FILHO, F.B.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P.; PEREIRA NETO, J.T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, p. 324-328, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ESTEVES, F.A. **Limnologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1988. 575 p.

FADIGAS, F.S.; AMARAL-SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 151-159, 2002.

FAURE, G. **Principles and application of geochemistry**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. 600 p.

FERNÁNDEZ, E.; JIMÉNEZ, R.; LALLENA, A.M.; AGUILAR, J. Evaluation of the BCR sequential extraction procedure applied for two unpolluted Spanish soils. **Environmental Pollution**, London, v. 131, p. 355-364, 2004.

FILGUEIRAS, A.V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. **Journal of Environmental Monitoring**, Cambridge, v. 4, p. 823-857, 2002.

FÖRSTNER, U. **Contaminated sediments**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 157 p. (Lecture Notes in Earth Sciences).

FORSTNER, U. Traceability of sediment analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 23, p. 217-236, 2004.

GALUSZKA, A. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. **Environmental Geology**, v. 52, p. 861-870, 2007.

GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T. **Evolution of sedimentary rocks**. New York: W.W. Norton, 1971.

GEO BRASIL. **Perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília, DF: Edições IBAMA, 2002. 447 p.

GLEYZES, C.; TELLIER, S.; ASTRUC, M. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: A review of sequential extraction procedures. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 21, p. 451-467, 2002.

GÓMEZ-ÁLVAREZ, A.; VALENZUELA-GARCÍA, J.L.; AGUAYO-SALINAS, S.; MEZA-FIGUEROA, D.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, J.; OCHOA-ORTEGA, G. Chemical partitioning of sediment contamination by heavy metals in the San Pedro River, Sonora, Mexico. **Chemical Speciation and Bioavailability**, London, v. 19, n. 1, p. 25-35, 2007.

GOUWS, K.; COETZEE P.P. Determination and partitioning of heavy metals in sediments of the Vaal Dam System by sequential extraction. **Water S.A.**, Pretoria, v. 23, p. 217-226, 1997.

GREENFIELD, S.; JONES, I.L.I.; BERRY, C.T. High pressure plasmas as spectroscopic emission sources. **Analyst**, London, v. 89, p. 713-720, 1964.

GRESENS, H.L. Composition-volume relationships of metassomatism. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 2, p. 47-65, 1967.

GUEDES, J.A.; LIMA, R.F.S.; SOUZA, L. C. Metais pesados em água do rio Jundiá – Macaíba, Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 18, n. 2, p. 131-142, 2005.

GUEVARA-RIBA, A.; SAHUQUILLO, A.; RUBIO, R.; RAURET, G. Assessment of metal mobility in dredged harbour sediments from Barcelona, Spain. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 321, p. 241-255, 2004.

HANSEN, D.J.; BERRY, W.J.; MAHONY, J.D.; BOOTHMAN, W.S.; DI TORO, D.M.; ROBSON, D.L.; ANKLEY, G.T.; MA, D.; YAN, Q.; PESCH C.E. Predicting the toxicity of metal-contaminated field sediments using interstitial concentration of metals and acid-volatile sulphide normalizations. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 15, p. 2080-2094, 1996.

HE, X.T.; LOGAN, T.J.; TRAINA, S.J. Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, p. 543-552, 1995.

HE, Z.L.; YANG, X.; STOFFELLA, P. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Amsterdam, v. 19, p. 125-140, 2005.

HLAVAY, J.; PROHASKA, T.; WEISZ, M.; WENZEL, W. W.; STINGEDER, G. J. Determination of trace elements bound to soils and sediment fractions. (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 76, n. 2, p. 415-442. 2004.

HOROWITZ, A.J. **A primer on sediment-trace element chemistry**. 2. ed. Chelsea: Lewis Publishers, 1991. 136 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Arsenic. In: _____. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 203-209.

KASHEM, M.A.; SINGH, B.R.; KONDO, T.; IMAMUL HUQ, S.M.; KAWAI, S. Comparison of extractability of Cd, Cu, Pb and Zn with sequential extraction in contaminated and non-contaminated soils. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 4, n. 2, p. 169-176, 2007.

KENNEDY, V.H.; SÁNCHEZ, A.L.; OUGHTON, D.H.; ROWLAND, A.P. Use of single and sequential chemical extractants to assess radionuclide and heavy metal availability from soils for root uptake. **Analyst**, London, v. 89, p. 122, 1997.

KONTA, J.; Mineralogy and chemical maturity of suspended matter in major world rivers sampled under the Scope/Unep project. In: DEGENS, E.T.; KEMPE, S.; HERRERA, R. (Ed.). **Transport of carbon and minerals in major world rivers**. Part 3. Hamburg: Mitt. Geol. Palaont. Inst. Univ. Hamburg, 1985. p. 569-592. (Scope/Unep. Sonderband, 58).

KRISHNAMURTI, G.S.R.; HUANG, P.M.; VAN REES, K.C.J.; KOZAK, L.M.; ROSTAD H.P.W. Speciation of particulate-bound cadmium of soils and its bioavailability. **Analyst**, London, v. 120, p. 659-665, 1995.

LANGEN, M.; HOBERG, H.; HAMACHER, B. Prospects for separating heavy metals from contaminated soil. **Aufbereitungs-Technik**, Gütersloh, v. 35, p. 1-12, 1994.

LEE, F. Y.; KITTRICK, J. A. Elements associated with the cadmium phase in a harbor sediment as determined with the electron beam microprobe. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 13, p. 337-340, 1984.

LELEYTER, L. **Spéciation chimique des éléments majeurs, traces et des terres rares dans les matières en suspension et dans les sédiments de fond des cours d'eau**: application aux fleuves de Patagonie (Argentine), à la Piracicaba (Brésil), à l'Oued Sebou (Maroc) et à l'Ille (France). 1998. 297 f. Thèse (Doctor) – Centre de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1998.

LELEYTER, L.; PROBST, J.L. A new sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace elements in river sediments. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, London, v. 73, n. 2, p. 109-128, 1999.

LEMES, M.J.L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogiguaçu e Pardo**. 2001. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2001.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos. São Paulo: ProdQuímica, 1994. 153 p.

MARIN, B.; VALLADON, M.; POLVE, M.; MONACO, A. Reproducibility testing of a sequential extraction scheme for the determination of trace metal speciation in a marine reference sediment by inductively coupled plasma-mass spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 342, p. 91-112, 1997.

MARINS, R.V.; FILHO, F.J.P.; MAIA, S.R.R.; LACERDA, L.D.; MARQUES, W.S. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 763-770, 2004.

MARTIN, J.M.; MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 7, p. 173-206, 1979.

MC LENNAN, S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of the provenance and sedimentary process. **Reviews in Mineralogy and Geology**, New York, v. 21, p. 169-200, 1989.

MCGRATH A.; PAQUIN P.R.; DI TORO D.M.. **Use of the SEM and AVS approach in predicting metal toxicity in sediments**. London: International Council on Mining and Metals, 2002. (Fact Sheet on Environmental Risk Assessment, 10).

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

MICHAUD-POUSSEL, E.; MERMET, J.M. Influence of the generator frequency and plasma gas inlet area on torch design in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. **Spectrochimica Acta**, Oxford, v. 41B, p. 125-132, 1986.

MOORE, J.W.; RAMAMOORTHY, S. **Heavy metals in natural waters**. Applied monitoring and impact assessment. New York: Springer-Verlag, 1984. 268 p.

MORILLO, J.; USERO, J.; GRACIA, I. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. **Chemosphere**, Oxford, v. 55, 431-442, 2004.

MORTATTI, J.; BERNARDES, M.C.; PROBST, J.L.; LELEYTER-REINERT, L. Composição química dos sedimentos fluviais em suspensão na bacia do rio Piracicaba : extração seletiva de elementos traço. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.16, n. 2, p. 123-141, 2002.

MORTATTI, J.; BONASSI, J.A.; LOPES, R.A.; NOLASCO, M.B. Determinação condutimétrica de sulfetos volatilizados por ataque ácido (AVS) e extração de metais pesados (SEM) em sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 105-113, 2008.

MOZETO, A.A.; ZAGATTO, P.A. Introdução de agentes químicos no ambiente. In: ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. (Ed.). **Ecotoxicologia aquática**: princípios e aplicações. São Carlos: Rima, 2006. p. 295-320.

MOZETO, A.A. **Critérios de Qualidade de Sedimentos (CQS) para metais pesados**: Fundamentos teóricos e técnicos para implementação. São Paulo: Fundação de à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2001. (FAPESP Processo No. 00/05296-5).

MOZETO, A.A.; PATELLA, E. Como avaliar a qualidade da água de mananciais. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 127, p. 16-19, 1997.

NKOUNKOU, R.R.; PROBST, J.L. Hydrology and geochemistry of the Congo river system. In: DEGENS, E.T.; KEMPE, S.; WEI-BIN, G. (Ed.). **Transport of carbon and minerals in major world rivers**. Part 4. Hamburg: Mitt. Geol. Palaont. Inst. Univ. Hamburg, 1987. p. 483-508. (Scope/Unep. Sonderband, 64).

NRIAGU, J.O. A history of global metal pollution. **Science**, Washington, v. 272, p. 223-224, 1996.

OLIVEIRA, T.S. **Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos**. 1996. 128 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

PÁEZ-OSUNA, F.; GRACIA, A.; FLORES-VERDUGO, F.; LYLE-FRITCH, L.P.; ALONSO-RODRIGUEZ, R.; ROQUE, A.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A.C. Shrimp aquaculture and the environment in the Gulf of California ecoregion. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 46, p. p. 806-815, 2003.

QUEVAUVILLER, P.H.; RAURET, G.; LÓPEZ-SÀNCHEZ, J.F.; RUBIO, R.; URE, A.M.; MUNTAU, H. Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, 205, 223-234, 1997.

REDE PAULISTA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL - Repea. 2007. (www.repea.gov.br.).

REED, T. Induction-coupled plasma Torch. **Journal of Applied Physics**, Menasha, v. 32, p. 821-824, 1961.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R.G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 346, p. 1-16, 2005.

ROBAINA, L.E.; FORMOSO, M.L.; PIRES, C.A.F. Metais pesados nos sedimentos de corrente, como indicadores de risco ambiental – Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 35-47, 2002.

RODRIGUES, A.S.L.; NALINI JUNIOR, H.A. Valores de fundo geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **REM: Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 2, p. 155-165, 2009.

RODRIGUES-FILHO, S.; RIBEIRO-JUNIOR, M.G.; ALCOVER-NETO, A.; SILVA, M.M.; ZIMBRES, E.; YALLOUZ A.V.; CASTILHOS, Z.; SILVA, A.R.; ARAÚJO, J.F.M. **Evolução temporal da poluição por metais pesados em sedimentos do rio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

ROVERS, H.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 217-220, 1983.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Metals in the hydrocycle**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 349 p.

SAMUEL, J.; ROULT, R.; BESNUS, Y. Analyse multiélémentaire standardisée des matériaux géologiques en spectrométrie d'émission par plasma a couplage inductif. **Analisis**, Paris, v. 13, p. 312-317, 1985.

SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004/2007**. São Paulo, DAEE, 2006. 92 p.

SCHAFFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1985. 532 p.

SHARPLEY, A.N.; MENZEL, R.G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. **Advances in Agronomy**, New York, v. 41, p. 297-324, 1987.

SILVA, I.V.; ABATE, G.; LICHTIG, J.; MASINI, J.C. Heavy metal distribution in recent sediments of the Tietê-Pinheiros river system in São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 17, p. 105-116, 2002.

SILVÉRIO, P.F. **Bases técnico – científicas para a derivação de valores-guias de qualidade de sedimentos para metais**: experimentos de campo e laboratório. 2003. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVÉRIO, P.F.; NASCIMENTO, M.R.L.; MOZETO, A.A. Valores-guia de qualidade de sedimentos de ambientes aquáticos continentais e valores de referência de metais e metaloides em sedimentos. Parte II: Avaliação química da qualidade de sedimentos de ecossistemas aquáticos. In: MOZETO, A.A.; UMBUZEIRO, G.A.; JARDIM, W.F. (Ed.). **Projeto Qualised**: Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce. São Carlos: Cubo Multimídia, 2006. p. 71-89.

STONE M.; MARSALEK J. Trace metal composition and speciation in street sediment: Sault Ste Marie Canada. **Water Air & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 87, p. 149-169, 1996.

STONE, M.; DROPPPO, I.G. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario, Canada. **Environmental Pollution**, London, v. 93, p. 353-362, 1996.

SUTHERLAND, R.A.; TACK, F.M.G.; TOLOSA, C.A.; VERLOO, M.G.; Operationally Defined Metal Fractions in Road Deposited Sediment, Honolulu, Hawaii. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 1431-1439, 2000.

TAYLOR, S.R.; MACLENNAN, S.M. The composition and the evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A**, London, v. 301, n. 1461, p. 381-399, 1981.

TAYLOR, S.R.; MCLENNAN, S.M. The geochemical evolution of the continental crust. **Reviews of Geophysics**, Richmond, v. 33, p. 241-265, 1995.

TESSIER, A. Sorption of trace elements on natural particles in oxic environments. In: BUFFLE, J.; VAN LEEUWEN, H.P. (Ed.). **Environmental particles**. Chelsea: Lewis Publications, 1992. p. 425-453. (IUPAC Environmental Analytical Chemistry Series).

TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. Trace metal speciation in the Yamaska and St Francois Rivers (Quebec). **Canadian Journal of Earth Science**, Ottawa, v. 17, p. 90-105, 1980.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 51, p. 844-851, 1979.

TOKALIOGLU, S.; KARTAL, S.; ELICI, L. Determination of heavy metals and their speciation in lake sediments by flame atomic absorption spectrometry after a four-stage sequential extraction procedure. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 413, n. 1, p. 33-40, 2000.

TUREKIAN, K.K.; WEDEPOHL, K.H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 72, p. 175-192, 1961.

TUZEN, M. Determination of trace metals in the River Yesilirmak sediments in Tokat, Turkey using sequential extraction procedure. **Microchemical Journal**, New York, v. 74, p. 105-110, 2003.

USEPA. **Equilibrium partitioning sediments guidelines (ESGs) for the protection of benthic organisms**: Metal mixtures (cadmium, copper, lead, nickel, silver and zinc). Washington, DC, Office of Science and Technology. Office of Research and Development, 2000. (EPA 822-R-00-005).

VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo: cobre total. **Bragantia**, Campinas, v. 34, p. 125-132, 1975.

VIETS, F.G. Chemistry and availability of micronutrient in sils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 10 p. 174-178, 1962.

WEDEPOHL, K.H. The composition of the continental crust. **Geochim. Cosmochim Acta**, New York, v. 59, p. 1217-1232, 1995.

WENDT, R.H.; FASSEL, V.A. Induction-coupled plasma spectrometric excitation source. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 37, p. 920-922, 1965.

XIANGDONG, I.; ZHENGUO, S.; ONYX, W.H.W.; YOK-SHEUNG, L. Chemical forms of Pb, Zn and Cu in the sediments profiles of the Pearl River Estuary. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 42, n. 3, p. 215-223, 2001.

Apêndices

Apêndice A: Tabela 1A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Ponte Nova, próxima as nascentes do rio Tietê

Ponte Nova	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	247123,55	147187,17	23708,20	212,93	11,57	22,08	77,81	63,09	0,63	18,93	115,67	72,56	2,63	270,24	3450,58	1070,45	1529,97	13433,23
1-2	236379,14	150240,64	22509,63	168,45	28,88	21,39	79,14	58,82	0,60	19,25	85,56	73,80	2,67	258,82	3129,95	1120,86	1518,72	13181,82
2-3	252524,53	161622,07	23351,73	153,29	19,51	22,85	82,50	47,38	1,35	18,39	105,91	76,92	2,79	264,21	3178,93	1173,91	1555,18	12179,49
3-4	248406,12	158771,46	23762,34	142,17	8,58	22,00	79,40	46,14	1,22	17,70	96,57	68,67	2,68	259,66	3279,51	1199,57	1598,71	11829,40
4-5	246597,79	152970,56	22236,07	144,58	7,36	19,45	72,56	45,22	2,35	17,88	105,15	67,30	2,63	259,73	3056,26	1170,35	1540,48	11750,79
5-6	251735,00	113544,74	17843,17	100,79	4,42	16,72	58,01	42,77	0,91	14,26	88,50	53,10	1,97	193,71	2538,35	848,57	1268,44	8480,83
6-7	245536,88	155927,29	23705,48	134,35	6,32	25,82	77,98	42,68	3,38	18,97	105,37	62,17	3,16	249,74	2836,14	1067,44	1443,62	10827,19
7-8	235883,35	146428,57	22966,60	125,90	4,11	21,58	76,05	42,65	1,44	20,04	87,36	65,78	2,57	238,44	2725,08	1030,83	1849,95	9840,70
8-9	247556,83	158989,07	26498,91	139,34	8,20	25,68	91,80	46,99	0,86	20,22	103,83	69,95	3,28	259,02	2957,92	1074,32	1459,02	10792,35
9-10	257078,53	168898,31	27284,18	132,77	6,21	24,86	77,97	53,67	1,58	17,51	67,80	66,67	2,82	262,15	3024,29	1167,23	1593,22	11101,69
10-11	236941,84	157390,61	25716,65	125,40	5,34	23,48	94,98	44,29	0,53	21,88	90,72	73,64	3,20	236,93	2936,50	1091,78	1531,48	9951,97
11-12	239029,47	160209,00	26362,81	115,22	2,68	25,72	95,39	46,62	2,78	26,26	101,82	63,24	3,22	243,30	2938,37	1160,77	1597,00	12620,58
12-13	241303,59	160480,46	26342,66	113,52	3,70	23,23	93,98	44,35	0,20	18,48	89,76	67,58	3,17	234,42	2673,18	1143,61	1399,16	11430,83
13-14	242563,72	165955,81	18958,38	110,48	3,60	23,64	91,47	41,62	0,23	20,55	87,36	55,50	3,08	233,30	2678,83	1149,02	1474,82	11793,42
14-15	228689,11	150025,69	26872,05	105,34	2,06	21,07	86,33	43,68	0,67	19,01	77,08	55,50	3,08	228,16	2555,50	1113,05	1510,79	10971,22
15-16	234079,94	155146,29	26642,11	96,66	1,04	19,33	82,55	39,18	0,24	19,85	73,15	56,43	3,13	221,53	2707,94	1115,99	1483,80	10579,94
16-17	241514,50	153475,00	26346,50	92,50	4,00	21,50	84,00	43,00	0,43	19,00	95,00	59,00	3,00	217,00	2466,50	1113,00	1425,00	10225,00
17-18	237302,59	159995,01	28162,01	92,22	2,49	21,93	83,75	40,88	0,58	18,44	104,69	58,82	2,99	231,31	2688,43	1174,48	1625,12	9945,16
18-19	234622,61	161863,06	27650,21	92,89	3,72	20,70	89,17	42,99	1,61	21,23	106,16	57,32	3,18	225,05	2835,99	1154,99	1634,82	9899,15
19-20	229580,73	159409,69	29007,57	93,34	2,02	23,21	89,81	40,87	0,61	18,67	80,73	59,54	3,03	218,97	3170,03	1183,65	1922,30	9661,96
20-21	223310,78	154603,26	27361,65	94,10	4,07	20,35	85,45	42,73	0,62	22,89	71,21	54,93	3,05	215,67	2570,19	1122,08	1515,77	9588,00
21-22	235707,08	159183,14	28300,21	96,25	4,16	22,37	87,41	45,27	0,57	19,25	72,84	61,39	3,64	225,81	2785,12	1184,18	1638,92	10119,67
22-23	233348,92	160725,81	28598,39	94,09	4,30	24,19	90,32	41,40	1,23	20,43	107,53	52,69	3,23	222,58	2828,49	1040,86	1618,28	9811,83
23-24	230004,34	156195,76	26033,27	89,20	4,82	19,29	81,00	30,86	0,82	18,32	77,15	43,39	2,89	199,61	3002,41	919,00	1581,49	9088,72
24-25	229414,55	161215,67	26598,68	89,01	3,56	19,84	85,45	35,10	0,49	18,31	101,73	44,25	3,05	200,41	2975,08	847,41	1454,73	8977,62
25-26	235986,47	158792,59	27301,10	87,68	1,00	19,54	84,17	30,06	0,50	20,54	75,15	48,60	3,01	212,42	2530,56	944,89	1357,72	8792,59
26-27	261773,52	169708,59	29290,90	89,47	0,51	20,96	85,89	32,72	0,44	18,40	66,46	48,57	3,07	221,88	3140,59	1046,01	1676,89	8972,39
27-28	241167,34	149620,83	26336,20	83,42	2,53	19,21	79,88	32,86	0,39	18,71	91,00	49,54	3,03	209,30	2744,69	943,38	1536,91	9024,27
28-29	267853,57	168237,49	29389,24	87,86	2,13	20,23	84,13	34,61	0,37	19,17	85,20	42,60	2,66	225,77	3360,49	1036,21	1682,64	9185,30
média	241138,50	156441,85	25694,37	113,90	5,62	21,80	83,74	42,84	0,95	19,40	90,22	59,64	2,96	232,38	2888,48	1083,03	1552,58	10484,73
SD	10317,39	10202,31	2865,07	30,08	5,83	2,24	7,67	7,38	0,77	2,04	13,85	9,60	0,31	21,06	262,19	99,10	132,69	1348,73

Apêndice B: Tabela 2A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Biritiba, na bacia do alto rio Tietê

Biritiba	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	396067,79	38229,25	1693,92	43,14	3,29	0,82	18,90	18,90	1,23	11,09	30,40	29,99	2,05	338,54	712,00	302,38	1503,70	23931,80
1-2	388950,88	44225,66	2403,98	64,16	3,10	0,00	20,35	19,03	0,84	8,41	34,07	37,61	1,77	364,60	886,28	396,46	1955,75	26792,04
2-3	371491,64	51474,47	5850,79	169,45	5,72	3,52	38,73	27,73	5,10	21,13	48,42	47,54	2,20	380,28	1053,26	667,25	2213,91	27926,94
3-4	313924,57	45596,21	7223,58	499,10	7,23	6,32	39,75	35,23	2,96	14,00	54,20	44,26	0,45	336,04	3537,94	811,20	1747,97	29110,21
4-5	297854,42	120859,05	11056,07	511,83	16,98	16,98	86,42	92,59	5,80	28,29	87,45	60,70	2,57	465,02	2012,86	1649,18	1430,04	22453,70
5-6	281832,06	111459,33	17365,07	370,81	10,53	13,40	51,67	66,99	5,42	13,88	66,99	70,81	1,91	556,94	1680,86	1572,25	2727,27	33373,21
6-7	206959,56	162678,40	25734,06	425,78	15,70	12,37	70,41	66,60	5,00	20,93	90,39	43,77	3,81	273,07	1381,07	1144,62	1089,44	14105,61
7-8	249468,82	152598,47	26363,79	440,37	13,13	16,96	75,49	76,59	15,32	18,05	82,06	64,55	2,74	450,77	1692,01	1628,01	1859,96	25574,40
8-9	283312,77	109143,01	15880,46	379,37	10,92	10,92	58,95	60,04	5,93	20,74	70,96	97,16	1,64	668,12	1650,11	1657,21	3700,87	48171,40
9-10	225193,96	115122,82	14888,95	463,15	13,31	16,89	60,39	76,77	5,18	22,01	92,12	85,98	3,07	529,17	1649,44	1722,62	2758,44	40506,65
10-11	231832,83	126742,42	15451,01	452,02	12,12	10,10	54,55	70,71	3,95	21,21	85,86	84,85	2,02	638,38	1905,56	2073,74	3191,92	41186,87
11-12	223951,60	124441,49	16379,26	523,94	13,30	16,49	62,77	90,43	3,20	22,87	95,74	84,04	2,66	560,64	1496,28	1997,87	2781,91	40452,13
12-13	219939,85	80785,12	7985,77	231,86	5,51	5,05	28,93	39,03	4,17	13,77	68,87	72,54	0,46	635,45	1456,84	1462,81	3930,21	43824,61
13-14	229514,50	134975,00	14346,50	382,50	15,50	9,50	49,00	60,00	0,34	20,00	65,00	74,00	1,50	767,00	1826,50	1898,00	3210,00	40775,00
14-15	197781,56	130698,32	18152,51	539,11	24,02	20,11	77,09	100,56	6,82	27,93	117,32	77,09	3,35	443,58	1359,22	1791,06	2039,11	29636,87
15-16	208073,40	142908,39	18097,68	510,49	18,21	11,59	147,90	82,78	5,92	27,59	93,82	59,60	2,76	454,75	1370,31	1703,09	1672,19	27179,91
16-17	203779,03	146747,31	20372,58	459,68	16,13	10,22	58,06	75,27	9,70	16,67	69,89	50,00	2,69	566,67	1851,08	2046,24	2612,90	30403,23
17-18	217936,39	163136,06	24000,55	528,21	18,81	15,49	76,33	77,43	5,97	17,70	71,90	59,73	3,32	422,57	1683,08	1795,35	1438,05	20768,81
18-19	201789,91	147422,39	21781,04	507,21	22,17	17,18	82,04	77,61	10,21	26,61	99,78	65,41	4,43	373,61	1326,50	1516,63	1396,90	21258,31
19-20	223560,06	74332,70	7861,30	274,07	11,44	8,58	41,94	57,20	2,06	18,11	66,73	75,31	1,43	469,02	940,42	1285,03	3398,47	38489,04
20-21	258633,51	36626,88	2587,53	86,21	7,07	1,77	13,26	30,95	1,17	9,28	48,63	47,75	1,77	342,18	536,25	418,21	2572,94	31277,63
21-22	386283,10	47908,20	2852,56	62,96	4,47	3,66	11,78	13,81	3,06	5,28	15,84	39,81	1,22	395,61	736,39	538,59	2770,11	31742,49
22-23	404915,05	37595,10	2934,49	73,96	3,80	1,27	12,26	17,75	1,24	6,34	27,05	40,15	1,69	352,49	719,78	497,04	2578,19	27409,13
23-24	406495,84	24459,68	1493,35	60,27	4,57	0,00	6,23	12,88	0,46	4,57	25,35	27,43	0,83	246,88	466,75	247,71	1853,70	21716,54
24-25	409327,70	23928,28	1312,04	55,65	3,71	0,00	4,95	28,03	0,12	3,30	14,43	24,32	2,47	244,85	467,02	266,28	1801,32	21372,63
25-26	393461,44	28793,53	1410,86	51,82	2,90	1,24	8,29	17,00	0,09	5,80	20,73	23,22	2,07	225,54	403,40	242,95	1451,08	19838,31
26-27	404569,65	35533,10	2529,23	70,94	2,58	0,86	20,21	15,05	0,20	6,45	24,94	33,10	1,72	715,39	560,19	376,61	1788,48	25042,99
27-28	373484,95	30362,18	5264,82	110,54	4,23	1,41	16,46	28,69	0,66	9,41	29,63	37,16	2,35	373,47	989,18	586,08	2003,76	26458,14
28-29	388505,35	30976,81	4457,18	73,60	5,35	0,89	11,15	16,95	0,35	4,91	30,78	36,57	2,23	376,45	634,70	604,82	2426,40	28523,64
29-30	366442,12	30654,50	4271,15	69,01	6,68	1,78	13,36	26,71	1,08	7,12	44,52	37,40	2,67	380,23	562,33	683,88	2266,25	30120,21
média	298844,48	85013,81	10733,40	283,04	10,08	7,85	43,92	49,31	3,78	15,12	59,13	54,40	2,20	444,91	1251,59	1119,44	2272,37	29647,41
SD	81534,45	50381,65	8213,46	196,53	6,25	6,66	32,77	28,54	3,57	7,90	29,14	20,73	0,91	141,57	667,74	652,58	732,49	8115,89

Apêndice C: Tabela 3A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Mogi das Cruzes, na bacia do alto rio Tietê

Mogi	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	219551,36	143982,88	28546,32	365,06	38,27	23,16	165,16	211,48	10,14	26,69	105,74	145,02	6,55	807,65	3939,07	2782,48	2321,25	15785,50
1-2	227824,95	157273,18	27708,58	322,98	30,57	22,68	122,29	221,89	7,12	19,72	113,41	137,08	6,41	721,89	3482,74	2710,06	1410,26	13634,12
2-3	221622,61	163291,46	28890,95	354,27	38,69	26,13	169,85	241,21	2,23	29,65	125,63	134,67	6,53	695,48	3413,57	2505,53	1452,26	13894,47
3-4	249765,67	159676,62	27608,46	350,75	27,36	19,40	227,86	159,20	3,88	28,36	109,45	138,31	5,97	822,89	3384,58	2550,25	1681,59	15049,75
4-5	229985,39	143237,51	25632,89	393,50	32,99	17,91	573,99	174,36	2,17	43,36	98,96	149,86	5,18	1015,08	4040,06	2505,18	2365,69	22973,61
5-6	317020,93	79674,98	13487,53	238,20	13,80	10,24	74,80	89,05	3,23	20,04	53,43	92,61	3,12	602,85	2481,30	1832,59	2248,44	20636,69
6-7	311094,01	83537,69	16345,59	211,17	14,08	9,99	153,50	104,45	2,90	14,53	59,04	89,92	3,18	583,11	2508,17	1910,08	1911,90	19550,41
7-8	354607,05	57069,58	12128,90	144,96	7,14	6,69	79,39	62,44	1,92	13,38	49,06	74,93	2,23	554,86	1812,22	1487,96	1886,71	16614,63
8-9	329053,73	70581,71	14073,27	233,13	8,88	16,43	65,72	93,25	1,78	13,32	66,61	79,04	4,00	583,48	1910,75	1530,20	1656,31	17384,55
9-10	322215,52	83239,38	13656,98	188,64	13,44	9,11	68,52	65,05	2,55	9,54	52,04	90,20	3,04	673,89	1783,61	1437,99	1608,85	19405,90
10-11	312805,32	103618,11	18297,39	268,44	35,01	8,87	143,79	74,70	2,53	15,87	46,69	78,43	3,27	548,09	2919,23	1277,31	1699,35	20004,67
11-12	220839,54	166473,84	31887,83	374,75	72,94	20,12	190,14	145,88	3,07	43,26	95,57	79,48	7,04	489,94	2898,89	1818,91	1564,39	16976,86
12-13	221684,39	161505,96	29171,47	335,49	116,80	16,40	177,93	298,21	4,66	36,78	139,17	68,59	6,46	513,92	3197,32	1737,57	2057,65	16128,23
13-14	232747,25	152127,13	32128,63	628,13	157,66	23,02	234,23	165,17	6,05	47,55	130,13	69,07	5,51	512,51	2694,19	1899,90	1541,54	18793,79
14-15	225123,92	163392,86	32680,19	1604,44	110,93	26,52	231,60	167,75	7,01	40,04	97,40	69,26	4,87	494,59	3026,52	2286,80	1590,91	21401,52
15-16	222416,40	151098,61	29953,38	1974,81	50,91	23,04	229,37	139,34	8,52	32,69	96,46	73,95	4,82	500,54	3029,47	2237,94	1543,41	21034,30
16-17	222357,14	164849,62	32112,24	1646,08	56,39	25,24	224,49	161,12	8,02	30,08	123,52	74,11	5,37	506,98	3175,62	2296,46	1493,02	19468,31
17-18	221085,70	168640,83	31109,72	1623,91	57,31	21,83	233,62	163,76	8,51	28,38	125,55	75,33	5,46	504,37	3036,57	2257,64	1413,76	19459,61
18-19	227884,70	150792,35	26225,68	1073,77	57,38	19,13	250,27	284,15	7,51	25,14	109,29	69,95	4,37	581,42	2930,60	2396,72	2366,12	21557,38
média	257351,87	132845,49	24823,47	649,08	49,50	18,21	190,34	159,08	4,94	27,28	94,59	94,20	4,91	616,50	2929,71	2076,92	1779,65	18408,12
SD	48069,69	38647,84	7439,93	602,86	40,53	6,38	111,99	69,48	2,75	11,38	30,62	29,70	1,44	141,61	632,34	455,64	335,10	2704,36

Apêndice D: Tabela 4A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Pirapora, na bacia do alto rio Tietê

Pirapora	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	299464,67	106711,91	48027,74	576,36	159,24	34,03	112,54	410,89	6,45	69,93	61,56	160,71	9,32	258,21	8237,83	6783,99	2734,37	29436,35
1-2	296835,58	109158,03	47682,08	535,96	149,83	27,16	111,64	379,27	5,16	55,99	62,11	166,24	9,14	251,63	7685,79	6530,39	2785,89	35292,59
2-3	289316,47	106701,85	44261,74	522,23	209,89	19,57	127,74	480,70	5,18	82,05	62,28	155,66	8,71	312,10	8915,70	6516,23	2930,77	27594,75
3-4	292834,40	123752,77	47017,30	533,29	255,12	25,85	147,77	263,44	5,18	76,96	81,90	163,48	9,09	297,10	10523,58	6792,86	2641,60	29592,90
4-5	276464,53	121065,37	49021,90	542,66	236,19	27,55	134,04	572,08	6,00	75,11	68,84	159,70	8,01	252,00	9975,23	6948,82	2292,42	28134,86
5-6	272113,54	104418,64	39659,59	453,35	206,92	19,18	117,02	502,85	4,11	69,27	64,15	139,78	8,10	261,00	8697,07	6953,22	2604,31	24600,83
6-7	244653,80	102785,23	35136,62	424,38	224,34	12,34	129,01	593,55	1,96	62,43	65,26	127,73	8,35	233,90	8497,05	7083,99	2958,76	20991,37
7-8	239279,99	99210,21	35217,45	431,73	176,88	13,73	107,89	448,44	3,90	50,29	61,16	123,52	9,00	315,12	7920,77	7129,03	2855,35	20940,61
8-9	240660,29	96215,34	35949,22	450,33	178,55	17,06	111,30	439,35	5,41	55,89	38,76	125,56	9,13	320,17	7999,73	6962,42	2671,00	20783,56
9-10	252438,12	103476,20	36178,77	447,83	225,44	15,26	135,65	571,50	3,72	71,55	60,41	130,86	7,99	485,25	9294,00	6947,02	2720,36	20860,77
10-11	261085,72	122115,29	41866,87	461,00	248,89	11,30	143,20	632,72	5,37	71,33	59,83	135,76	8,17	487,32	9340,67	6835,00	2736,53	22757,49
11-12	270615,71	124131,51	47528,65	522,89	192,20	23,31	141,92	562,67	5,78	60,91	64,18	149,58	9,12	412,21	7633,25	6648,73	2810,94	27321,48
12-13	290107,59	101747,23	42551,49	507,27	138,50	21,99	95,91	322,65	5,01	46,55	68,14	153,33	9,80	491,65	7664,37	6136,34	2735,72	27745,81
13-14	256963,11	114878,94	43622,78	522,61	178,95	19,17	122,90	428,61	5,35	56,29	76,01	133,95	8,69	473,00	8283,05	5282,40	2112,33	23688,61
14-15	247453,47	132783,48	49381,35	377,63	106,11	16,36	108,29	326,90	4,42	36,87	64,25	105,09	8,64	496,31	3270,20	4207,91	1384,44	23934,61
15-16	213167,03	122950,38	45633,93	332,33	83,24	20,41	92,61	288,16	5,06	38,08	45,78	88,10	9,87	418,73	2033,94	3763,43	1054,49	21100,41
16-17	235634,39	136141,09	50657,43	355,45	90,02	22,03	103,30	316,47	3,96	41,96	59,91	94,96	9,30	435,27	1994,97	3680,12	830,79	22646,98
17-18	249731,09	137086,29	49979,32	348,80	89,32	18,78	105,74	297,03	6,22	35,80	64,84	95,65	7,52	358,11	1975,58	3597,15	872,63	24054,12
18-19	216219,45	116042,89	42981,38	303,20	74,55	16,54	85,83	253,36	3,72	33,44	54,96	81,94	9,15	421,00	1715,86	2969,29	771,45	20371,45
19-20	268331,90	145972,68	53610,37	379,87	101,31	19,34	111,65	354,81	3,83	39,92	71,11	106,35	8,29	462,39	2358,74	3903,84	1050,65	25479,16
20-21	257081,56	150155,70	54214,95	420,14	134,01	20,67	120,34	449,71	5,18	43,60	59,95	111,98	8,37	416,18	2606,57	4270,90	1183,72	24999,38
21-22	245507,45	136345,17	49600,22	383,58	113,03	15,69	104,61	433,43	2,61	45,16	62,80	108,83	8,00	436,16	2623,41	4090,42	1333,80	23127,32
22-23	266657,86	137839,39	51615,96	405,58	98,08	20,53	102,97	779,99	5,57	44,92	60,84	118,19	8,19	456,14	2810,15	4048,12	1516,22	25044,34
média	260113,81	119638,50	45278,14	445,15	159,59	19,91	116,26	439,50	4,75	54,97	62,57	127,69	8,69	380,48	6176,41	5568,77	2069,07	24804,34
SD	24020,73	15931,40	5819,91	77,04	58,23	5,27	16,69	134,02	1,12	15,00	8,68	25,67	0,62	91,58	3204,26	1486,94	820,63	3678,09

Apêndice E: Tabela 5A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Tietê, na bacia do médio rio Tietê

Tietê	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	308169,42	94635,92	44025,73	1036,41	80,10	21,84	130,10	218,45	6,32	50,97	97,09	66,99	6,31	254,37	2744,17	3551,46	1655,34	19441,75
1-2	281852,24	112053,98	41122,14	1118,48	70,91	19,67	127,17	210,43	6,63	48,03	91,49	53,98	5,95	253,43	2206,31	3296,43	1450,14	17817,93
2-3	299571,49	95300,09	43289,06	1061,34	72,82	20,30	135,92	225,07	9,24	46,34	97,09	56,49	5,74	332,74	2190,20	3488,97	1584,29	18865,84
3-4	297330,04	89430,32	45147,36	1325,33	72,98	20,72	140,30	225,99	6,40	49,44	89,45	60,26	6,12	298,49	2233,05	3444,44	1520,72	20174,20
4-5	287833,65	99502,37	41702,84	1092,42	68,72	21,33	127,01	213,27	8,87	45,02	85,31	55,92	6,16	253,08	2081,99	3306,16	1540,28	19028,44
5-6	315137,03	89344,64	42480,75	1038,04	66,45	19,71	127,41	206,23	7,69	43,54	82,49	54,08	5,96	267,64	2100,37	3261,23	1622,36	20279,56
6-7	289751,17	97446,11	41561,86	1216,03	72,63	19,21	144,33	215,56	7,33	58,58	98,41	55,30	5,62	236,18	2260,07	3259,61	1527,65	18158,39
7-8	277120,32	100632,02	44378,75	1369,38	77,25	20,60	134,83	238,76	9,07	49,16	98,31	59,93	6,09	301,50	1995,79	3373,60	1540,26	18235,02
8-9	315940,64	98914,09	45797,78	1001,45	84,46	24,61	143,82	250,97	13,75	55,50	111,00	61,78	6,76	320,46	1970,56	3656,37	1583,01	19522,20
9-10	295665,59	87395,93	45787,70	1399,17	80,94	19,89	142,46	245,14	13,69	48,57	106,38	59,20	6,01	506,01	1897,78	3379,28	1521,74	18894,54
10-11	319019,98	93542,88	48485,87	1357,21	85,28	21,93	150,10	248,54	8,53	51,17	102,34	62,38	6,82	547,76	1863,06	3594,54	1691,03	21515,59
11-12	323709,96	90293,30	45713,69	1212,76	62,85	20,02	134,08	214,15	10,09	48,88	83,80	64,25	6,05	527,93	1765,83	3531,66	1629,42	21717,88
12-13	314558,64	84977,27	42405,91	861,36	61,36	19,09	126,36	204,55	6,54	47,73	77,27	67,27	5,91	497,27	3719,55	3389,09	2759,09	20659,09
13-14	321948,85	84769,59	41471,43	642,86	57,60	18,89	123,50	202,76	7,58	48,39	73,73	68,20	5,99	499,54	3660,37	3482,03	2811,06	20668,20
média	303400,64	94159,89	43812,20	1123,73	72,45	20,56	134,81	222,85	8,70	49,38	92,44	60,43	6,11	364,03	2334,94	3429,63	1745,46	19641,33
SD	15535,76	7362,55	2178,68	211,72	8,55	1,51	8,28	16,70	2,43	3,89	10,97	4,93	0,34	120,95	620,13	126,47	445,01	1230,91

Apêndice F: Tabela 6A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Anhembi, na bacia do médio rio Tietê

Anhembi	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	$(\mu\text{g g}^{-1})$																	
0-1	295831,18	83640,44	49498,51	759,46	131,97	24,40	168,33	418,33	6,83	62,25	84,66	78,69	6,47	544,82	3751,49	4231,08	1987,05	16558,76
1-2	298024,38	87039,80	51538,81	957,71	146,77	21,89	163,18	457,71	9,45	57,21	79,60	83,58	6,47	579,10	3892,04	4251,74	1845,77	16990,05
2-3	301014,50	83475,00	49796,50	1022,50	132,50	21,50	154,00	450,00	9,28	52,50	85,00	79,00	6,00	577,00	3811,50	4128,00	1725,00	17375,00
3-4	304821,63	54302,88	35333,17	891,83	74,52	15,87	95,19	269,23	8,08	36,06	38,46	71,15	3,37	477,88	2914,90	2853,85	2399,04	16370,19
4-5	314385,73	58857,29	38319,86	970,56	92,32	17,47	108,78	359,28	8,63	43,41	49,90	68,86	3,99	486,03	2995,51	3031,94	1926,15	14845,31
5-6	305890,66	70303,47	44360,79	1004,34	118,02	20,23	138,73	433,53	8,60	55,39	57,80	80,92	4,82	546,24	3696,05	3548,17	1825,63	16787,09
6-7	295713,10	66935,48	43496,09	1063,05	119,75	19,55	135,87	425,22	10,14	51,32	68,43	77,22	4,89	529,81	3706,26	3502,44	1739,98	16739,98
7-8	292260,93	73036,78	45423,96	1031,31	121,77	21,87	143,14	447,32	9,91	52,19	74,55	83,50	4,97	548,71	3927,93	3680,91	1729,62	16625,25
8-9	279396,91	55751,99	34657,87	883,96	87,15	17,43	103,59	283,86	7,80	39,84	54,78	68,73	3,49	470,12	3044,32	3060,76	2001,99	15413,35
9-10	272380,22	81983,10	49996,52	892,15	156,56	22,86	163,02	472,17	7,62	57,16	84,49	88,47	5,96	608,35	4757,95	5355,86	1660,04	17022,86
10-11	264661,87	82894,74	50939,92	911,12	141,51	23,83	167,83	476,66	9,16	57,10	89,37	88,38	5,96	607,75	4693,64	5251,24	1559,09	17552,14
11-12	247801,87	92895,77	55355,46	789,09	164,70	24,09	195,67	594,89	7,50	71,29	93,41	97,35	6,39	655,85	4883,48	4904,62	1450,34	16642,08
12-13	239975,02	97918,71	58566,60	879,04	183,64	23,02	199,80	656,22	10,85	75,91	122,43	96,96	6,86	672,87	5109,21	4787,46	1410,38	17213,52
13-14	248775,52	94623,39	56785,43	830,03	170,96	24,28	192,27	594,65	9,30	71,85	74,33	98,12	6,94	670,96	4872,65	4725,47	1397,42	17566,90
14-15	255014,50	96475,00	57796,50	772,50	167,50	23,50	194,00	585,00	11,45	67,50	95,00	94,00	7,00	667,00	4671,50	4673,00	1375,00	17375,00
15-16	251755,72	98482,59	59499,00	853,23	176,62	24,88	198,01	616,92	11,86	72,14	104,48	93,53	6,97	693,53	4663,18	4759,20	1402,99	17437,81
16-17	250255,06	80978,78	52359,21	952,27	171,17	24,11	187,08	583,41	12,17	69,91	96,43	76,18	6,27	604,63	3984,09	4038,57	1229,51	15405,01
17-18	257857,35	73995,10	49310,29	879,90	129,90	21,57	146,08	455,88	13,31	61,27	73,53	77,45	5,88	585,29	3726,96	3777,45	1563,73	15465,69
18-19	306674,45	68066,60	46268,89	921,97	101,89	18,39	128,23	387,67	13,94	52,19	69,58	73,56	4,97	548,71	4077,04	3382,70	1819,09	16277,34
19-20	296717,78	61413,59	42903,60	936,56	87,41	18,48	108,89	309,69	14,06	44,96	59,94	68,93	4,50	496,50	3058,44	3154,85	1768,23	15709,29
20-21	303514,50	60475,00	42446,50	932,50	87,50	17,00	114,00	320,00	12,15	43,00	65,00	69,00	4,00	477,00	3141,50	3078,00	1740,00	14525,00
21-22	321617,30	57649,07	39292,77	955,52	70,87	19,55	96,77	259,04	10,05	39,10	43,99	67,45	3,91	485,83	2968,23	3013,69	1964,81	15469,21
22-23	321160,57	54817,19	36656,62	862,15	66,70	17,79	97,83	242,09	9,93	32,61	44,47	63,24	3,46	451,58	2921,44	2848,81	1724,31	14155,14
média	283717,42	75478,77	47417,52	910,99	126,16	21,02	147,84	439,08	10,09	55,05	74,33	80,19	5,37	564,59	3881,27	3914,77	1706,31	16327,04
SD	26319,62	15044,86	7541,73	80,37	37,17	2,83	36,39	123,85	2,08	12,65	21,09	10,76	1,25	74,16	729,86	807,50	264,30	1011,54

Apêndice G: Tabela 7A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Barra Bonita, na parte final da bacia do médio rio Tietê

Barra Bonita	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg/g)																	
0-1	356324,76	49490,29	41598,54	905,34	75,24	60,68	130,10	121,36	7,46	38,83	53,40	47,57	20,40	273,79	2540,29	2294,17	815,53	7645,63
1-2	356228,66	33974,95	24440,17	535,71	44,06	35,71	105,75	199,44	6,06	28,29	21,80	34,32	18,20	405,38	1624,77	1389,61	1205,94	6006,49
2-3	310605,48	26413,82	19431,33	424,15	28,73	30,52	93,36	49,37	7,66	21,10	31,87	32,76	16,16	136,45	616,25	720,83	354,58	5184,02
3-4	322892,67	27230,57	19696,55	412,99	33,13	29,15	74,20	150,18	5,37	18,11	39,75	33,13	15,90	315,37	663,87	700,53	993,82	5410,78
4-5	399759,48	12068,24	10569,92	221,15	13,90	13,48	41,28	23,17	5,09	17,27	37,91	17,69	8,00	81,72	561,50	251,05	172,70	3458,30
5-6	354511,77	15496,22	14715,31	313,29	23,55	21,87	62,24	31,96	1,36	16,82	28,60	17,24	10,93	98,40	644,66	473,51	193,44	4226,24
6-7	424279,92	9184,10	8030,54	165,27	12,97	11,30	36,82	20,50	0,95	13,39	44,35	8,37	6,28	56,07	419,67	136,40	100,42	2983,26
7-8	427139,43	10762,43	9221,99	195,87	14,74	12,22	37,07	29,06	2,01	14,32	37,91	11,79	7,16	56,44	439,34	179,44	117,94	3070,77
8-9	414615,29	16887,28	12891,97	262,60	18,79	19,21	41,84	28,61	2,59	17,93	59,78	13,24	11,10	78,57	436,81	391,12	145,18	3642,19
9-10	412448,82	11653,98	8372,67	162,86	11,00	9,73	32,99	19,88	1,49	11,00	13,96	10,58	7,61	60,91	432,74	137,90	80,37	2876,48
10-11	367756,63	11961,03	7584,16	172,06	12,02	9,95	36,48	20,32	2,28	12,44	45,61	10,78	7,46	63,85	424,13	97,84	107,79	3258,71
média	376960,26	20465,72	16050,29	342,84	26,19	23,07	62,92	63,08	3,85	19,05	37,72	21,59	11,75	147,90	800,37	615,67	389,79	4342,08
SD	40895,93	12591,63	10154,73	224,04	19,31	15,43	33,55	63,39	2,53	8,09	13,34	13,07	5,05	123,85	672,68	674,88	411,32	1536,34

Apêndice H: Tabela 8A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Bariri, na parte inicial da bacia do baixo rio Tietê

Bariri	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	$(\mu\text{g g}^{-1})$																	
0-1	295748,34	90497,63	51465,88	1495,26	82,94	63,98	160,19	109,00	9,51	49,76	56,87	46,45	6,64	267,30	3010,90	2059,72	255,92	2279,62
1-2	318111,27	74769,16	35315,33	1008,77	57,71	48,48	119,11	96,95	8,20	38,78	50,78	47,55	6,46	177,29	1866,57	1410,90	327,79	2308,40
2-3	280724,09	82029,75	43374,76	1624,28	93,57	79,17	190,98	129,56	5,52	29,75	86,37	51,82	8,16	179,46	2184,74	2008,64	292,71	2677,54
3-4	273264,14	83389,26	52058,01	1330,30	83,89	64,72	157,24	105,47	5,29	50,34	67,11	46,98	9,59	212,85	2379,19	2040,27	359,54	2464,05
4-5	289039,26	82757,81	53733,68	1000,47	63,86	49,67	131,50	94,61	2,87	36,42	56,76	39,26	7,57	228,95	2262,54	1989,59	463,58	2213,81
5-6	288188,55	80051,21	55210,89	1045,16	67,50	53,54	138,73	88,45	6,40	40,04	55,87	36,78	8,38	206,70	2166,20	1967,41	400,37	2094,97
6-7	319301,97	88927,90	52243,91	1196,16	77,25	63,20	158,24	98,31	6,03	49,16	65,54	43,07	9,83	212,55	3386,24	1875,47	262,17	1975,66
7-8	290796,77	74170,51	47738,71	1103,69	76,04	57,60	164,98	92,17	4,45	53,00	50,69	40,55	9,22	176,96	1895,39	1666,36	239,63	1986,18
8-9	300013,94	79783,65	51727,40	1170,67	74,52	60,10	157,69	100,96	5,92	50,48	43,27	41,35	9,13	194,23	2184,13	1863,46	302,88	2240,38
9-10	276354,89	91451,15	57276,34	1233,24	83,81	69,44	190,61	143,68	6,18	55,08	43,10	44,54	10,54	198,28	2041,67	1904,21	229,89	2126,44
10-11	261983,89	86072,74	47234,35	1038,21	71,36	57,55	151,01	147,33	4,88	48,34	50,64	35,45	9,67	172,19	1552,95	1393,19	161,14	1837,02
11-12	255717,21	87903,99	55890,21	1162,07	83,17	68,92	174,90	99,81	5,98	49,90	57,03	41,35	10,46	196,77	1736,22	1813,69	285,17	1958,17
12-13	265725,05	92860,44	52030,04	1148,34	85,49	67,01	165,43	87,80	7,73	57,76	78,56	45,29	10,17	191,31	1706,56	1666,36	152,50	2661,74
13-14	315499,56	98650,44	52032,30	1466,81	77,43	68,58	162,83	79,65	4,87	50,88	88,50	42,48	10,62	192,04	1726,99	1555,75	106,19	2637,17
14-15	277040,09	89617,12	50717,57	1799,55	74,32	65,32	165,77	76,58	3,88	78,83	76,58	39,64	10,81	163,96	1613,96	1475,68	135,14	2675,68
15-16	309711,34	90096,07	49676,58	1594,24	80,05	70,91	172,92	77,77	3,68	48,03	96,07	39,80	11,44	171,09	1680,24	1283,62	141,81	2717,29
16-17	304146,00	81289,31	48334,68	1273,58	74,12	65,14	160,83	71,88	2,53	56,15	71,88	39,98	10,33	141,06	1268,19	1202,16	157,23	2848,16
17-18	291044,39	82488,79	48696,41	1226,46	73,99	73,99	165,02	71,75	1,09	42,60	80,72	37,22	10,76	145,29	1297,31	1195,52	116,59	2847,53
18-19	259995,23	82009,55	46698,35	1121,96	67,27	62,93	155,38	65,10	3,03	41,23	56,42	38,19	9,98	166,67	1251,30	1148,44	91,15	2569,44
19-20	267654,48	89909,64	49308,52	1142,43	62,39	53,79	149,74	60,24	2,84	40,88	55,94	31,84	9,47	148,02	1498,71	1185,89	68,85	2504,30
20-21	303980,17	99146,68	59775,37	1270,76	89,94	66,88	169,74	78,41	4,56	43,82	64,58	38,75	11,53	260,15	2095,48	1700,18	78,41	2998,15
21-22	285399,36	97403,49	54040,90	1114,43	85,02	71,23	169,12	73,53	2,86	43,20	59,74	38,60	11,49	208,64	1669,58	1445,77	133,27	2674,63
22-23	289438,31	99698,52	55469,85	1050,56	95,08	76,53	175,32	83,49	3,35	48,70	74,21	39,89	12,06	238,40	1773,19	1435,99	55,66	2894,25
média	287777,32	87172,82	50871,74	1244,23	77,42	64,29	161,19	92,72	4,86	47,96	64,66	41,17	9,75	193,48	1923,84	1621,23	209,46	2443,07
SD	18828,95	7375,99	5065,40	215,04	9,73	8,09	16,44	22,94	2,02	9,53	14,62	4,46	1,50	33,55	515,28	308,58	113,48	341,95

Apêndice I: Tabela 9A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Ibitinga, no baixo rio Tietê

Ibitinga	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	225063,11	105161,45	51170,74	3559,20	110,08	66,05	219,18	136,99	6,77	90,51	58,71	82,19	3,91	486,30	5397,75	3461,84	1932,49	10298,43
1-2	211589,98	107465,95	57681,42	3134,73	119,16	65,66	227,63	155,64	8,27	94,84	68,09	62,26	3,89	454,28	4349,71	3037,94	1420,23	9216,93
2-3	195242,94	105136,32	72343,23	2650,93	143,62	85,20	300,88	170,40	7,16	114,41	73,03	62,32	4,87	415,77	4436,71	2588,12	1158,71	6889,00
3-4	191656,58	99879,92	63685,40	2711,34	175,31	108,07	335,25	192,12	5,30	112,87	67,24	61,48	6,24	347,74	3012,97	2106,63	984,63	6412,10
4-5	177056,91	113788,91	79082,20	2954,77	172,67	109,44	281,13	165,37	6,45	85,12	53,50	52,53	5,84	395,91	3654,18	2454,28	909,53	5179,96
5-6	158611,17	114105,73	84779,15	2685,28	190,22	111,17	305,34	202,57	7,15	91,40	49,41	58,30	6,42	392,29	3331,52	2591,90	879,45	5311,26
6-7	158538,79	117313,22	85054,12	2722,70	189,18	122,13	305,56	186,78	5,77	88,60	38,31	51,72	6,70	346,74	2779,21	2158,05	684,87	4358,24
7-8	154902,71	125822,85	84507,74	2964,67	176,67	99,23	299,13	150,05	4,62	89,55	5,32	47,43	6,29	268,15	2189,25	1643,76	469,51	2942,88
8-9	188099,91	126618,20	79546,44	2811,91	166,51	91,46	289,87	145,40	2,42	82,08	23,92	45,50	6,57	241,09	1779,08	1484,99	412,76	2748,59
9-10	189770,24	131195,12	84679,51	3070,73	173,17	100,00	296,59	136,59	0,74	90,24	29,27	44,39	6,83	240,98	1406,34	1515,12	370,73	2331,71
10-11	179550,68	121114,86	80884,65	3313,22	161,68	103,76	312,74	139,96	2,03	84,46	26,54	56,95	6,27	257,72	2400,10	1610,04	429,54	2688,22
11-12	167159,48	126412,84	81222,70	3426,72	150,86	98,18	286,40	134,10	5,86	83,81	31,13	56,51	5,75	265,33	2597,22	1679,12	387,93	3060,34
12-13	152312,74	127849,62	89364,46	3115,42	174,81	102,97	324,71	148,47	5,26	88,60	29,21	51,72	6,23	260,54	2865,42	1722,22	373,56	2461,69
13-14	149778,87	104201,88	73048,36	2603,29	185,45	110,33	332,39	150,23	6,93	91,55	15,49	50,70	7,51	213,15	1818,31	1223,47	295,77	2178,40
14-15	155790,25	111245,27	72250,47	2691,76	168,09	120,74	339,96	160,98	4,97	92,33	13,26	45,93	6,63	191,29	2065,81	1328,60	345,64	2097,54
15-16	180246,61	130789,73	81682,66	2516,96	152,62	94,48	299,42	125,97	7,61	89,63	10,17	52,33	6,30	229,65	2530,52	1504,84	373,06	2383,72
16-17	178222,07	119090,49	78759,46	2827,79	159,28	94,64	299,17	133,89	7,66	76,18	8,31	45,24	6,00	237,30	2646,81	1600,18	378,58	2539,24
17-18	163412,23	107352,94	54898,69	2966,85	123,72	91,04	288,52	116,71	8,93	72,36	10,27	41,08	5,14	239,96	2270,31	1627,45	597,57	4369,75
18-19	176966,73	124855,35	61520,25	2649,47	113,31	74,73	259,40	106,08	8,83	69,91	8,20	43,88	5,30	291,22	2643,68	2032,79	689,49	5183,22
19-20	175383,74	119679,80	56449,75	2411,33	110,84	66,50	215,76	113,30	7,64	66,50	7,39	43,35	5,42	400,99	2750,25	2820,69	1014,78	7906,40
média	176467,79	116954,02	73630,57	2889,45	155,86	95,79	290,95	148,58	6,02	87,75	31,34	52,79	5,91	308,82	2846,26	2009,60	705,44	4527,88
SD	20006,51	9819,77	11839,29	306,99	26,88	17,02	35,83	25,75	2,23	11,85	22,79	9,60	0,93	88,01	981,76	623,36	431,33	2488,24

Apêndice J: Tabela 10A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Promissão, na bacia do baixo rio Tietê

Promissão	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	293303,30	103621,91	28912,25	921,67	67,73	40,05	275,62	64,78	11,57	79,51	60,66	116,61	5,77	508,83	3641,34	3978,80	718,49	17756,18
1-2	293683,95	86217,25	24777,84	816,05	57,31	33,30	211,79	54,59	4,80	62,77	55,68	99,89	4,80	466,16	3560,59	3365,72	655,02	15365,72
2-3	298581,13	100965,78	27810,71	836,09	57,95	39,18	263,80	60,71	5,06	63,47	51,32	98,23	5,41	532,01	3362,58	3921,63	684,33	17798,01
3-4	319806,77	84348,96	24683,85	700,52	49,48	34,90	243,75	57,29	2,72	54,69	49,48	91,67	4,27	491,67	3314,06	3221,88	671,88	16432,29
4-5	284679,10	92935,92	26677,00	669,64	49,89	32,04	214,29	52,52	3,05	86,66	52,52	90,86	4,62	485,29	2627,63	3506,30	582,98	15677,52
5-6	304318,14	93724,39	26686,99	694,16	53,79	36,89	219,26	51,23	3,53	58,91	53,79	85,04	4,92	519,47	2655,23	3640,37	645,49	17033,81
6-7	295150,81	91324,32	26644,86	808,11	56,76	35,68	215,14	48,65	8,14	56,76	52,43	84,86	4,54	526,49	3174,59	4084,32	708,11	17594,59
7-8	322260,40	89371,10	26399,69	777,03	48,86	41,58	238,05	51,98	3,29	54,57	51,98	82,64	4,57	537,42	2382,02	4155,93	779,63	19672,56
8-9	311572,36	84899,50	24318,09	635,68	45,73	32,66	200,00	40,70	0,29	52,76	47,74	77,39	4,12	504,52	1931,16	3726,63	678,39	17512,56
9-10	302223,39	89834,34	28058,73	835,84	47,69	35,14	224,90	45,18	2,79	57,73	48,69	79,32	4,72	504,02	2270,58	4089,36	697,79	18448,80
10-11	327703,69	86628,49	27237,55	799,30	44,82	35,36	223,11	44,82	5,59	52,29	44,82	78,69	4,38	544,82	2182,77	4221,12	742,03	18750,00
11-12	304297,31	87624,50	29129,98	759,46	44,32	37,85	248,01	44,82	1,58	57,27	34,86	81,18	4,38	569,72	2187,75	4475,10	806,77	20443,23
12-13	317824,46	97210,85	32033,27	754,86	58,85	41,97	234,39	51,18	2,71	63,97	31,22	78,81	5,42	585,47	2626,92	5258,96	783,01	20905,83
13-14	326484,80	81838,24	27349,51	713,24	51,47	43,14	239,22	53,92	2,11	61,27	44,12	77,45	5,20	555,88	1903,43	4262,75	769,61	23210,78
14-15	303238,78	101237,05	33022,44	906,21	60,41	60,41	309,55	63,29	3,44	77,68	69,04	85,16	6,67	675,49	2412,54	5187,57	920,60	27934,41
15-16	265915,02	63020,83	19733,00	578,40	41,67	33,44	196,27	45,50	3,15	52,08	20,29	75,66	3,62	429,82	1383,22	3232,46	586,62	18338,82
16-17	276072,76	99045,41	30440,14	874,61	64,50	47,47	251,81	67,08	2,97	74,82	51,60	71,21	6,81	564,50	2922,08	5457,17	768,83	23864,81
17-18	272186,03	88659,53	2753,82	792,56	58,61	43,32	248,73	56,07	3,98	73,90	66,26	65,24	6,12	542,30	2789,50	5135,58	728,85	21636,09
18-19	343185,25	97240,44	32181,97	844,26	62,84	51,37	277,60	60,11	5,97	73,77	76,50	72,68	6,34	619,67	2897,81	5232,79	836,07	25109,29
19-20	304843,56	89009,05	29674,55	882,80	52,82	43,26	265,59	55,33	5,26	72,94	55,33	69,42	5,94	555,33	2657,44	4696,18	704,23	22459,76
20-21	326209,66	91608,57	31470,62	1182,77	57,27	52,29	262,95	59,76	3,54	82,17	74,70	73,71	5,88	589,64	3198,71	4918,33	737,05	23132,47
21-22	322344,17	8762,14	2778,16	1429,61	50,97	50,97	251,46	58,25	4,92	60,68	67,96	69,42	5,73	569,90	3074,27	4604,85	708,74	22694,17
22-23	276536,84	93295,68	34475,93	1696,95	56,48	46,66	249,51	58,94	2,72	66,31	34,87	66,80	6,58	581,53	3434,68	5440,08	594,30	22224,95
23-24	280674,06	80636,79	29430,66	1110,85	49,53	44,81	272,64	51,89	5,87	58,96	51,89	68,40	5,47	582,08	2793,87	4941,51	778,30	23136,79
24-25	301492,12	96034,48	33494,09	1224,14	61,58	51,72	289,66	64,04	2,94	81,28	44,33	72,91	7,09	622,66	3390,64	6096,55	807,88	27118,23
25-26	311007,23	95925,75	32590,65	961,91	60,27	50,63	302,80	62,68	3,19	84,38	91,61	73,77	7,04	619,09	2870,30	5919,00	810,03	27266,15
26-27	293366,57	98723,51	33763,49	1013,97	65,03	55,39	268,79	67,44	5,53	74,66	48,17	70,33	7,23	628,13	3310,69	6009,63	809,25	27625,24
27-28	316599,51	89731,71	30435,61	909,76	56,10	51,22	247,80	58,54	4,69	85,37	53,66	75,61	6,34	587,32	3274,63	5793,17	814,63	27390,24
28-29	299823,16	85295,52	28500,00	855,58	45,28	50,05	280,27	57,20	2,58	69,11	57,20	70,07	5,91	583,41	4438,99	5136,32	867,49	24952,34
29-30	341113,23	65680,34	19474,84	659,37	22,83	34,02	250,70	37,74	1,58	40,07	51,26	64,31	6,52	612,30	2937,09	2710,16	1020,50	22763,28
30-31	349969,21	45078,06	14654,38	600,61	16,05	29,92	228,97	29,05	1,44	25,59	25,59	59,84	5,64	530,79	1813,96	1650,48	910,67	18625,33
média	306015,06	85791,30	26438,54	878,90	52,16	42,47	248,59	54,04	3,90	65,05	52,24	78,29	5,55	555,67	2820,04	4453,89	752,50	21383,04
SD	20992,92	18672,96	7697,28	241,32	11,04	8,06	28,45	8,89	2,17	13,88	14,73	11,87	0,98	53,36	637,75	1039,83	99,12	3817,81

Apêndice L: Tabela 11A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Nova Avanhandava, na bacia do baixo rio Tietê

N.Avanhandava	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	186811,16	104887,41	89351,59	3236,95	340,33	120,27	341,86	148,41	4,70	115,15	33,78	52,71	10,24	411,46	6158,14	3073,69	348,00	4902,76
1-2	183231,88	112686,20	90165,34	2673,78	359,98	121,65	346,57	158,89	6,57	121,65	49,65	48,66	11,42	414,10	5527,81	2987,09	317,78	5486,59
2-3	196443,37	111198,98	94690,31	3303,57	375,00	130,10	356,12	153,06	6,41	119,90	40,82	47,45	10,71	420,41	6190,31	2962,24	301,02	5892,86
3-4	196828,88	109943,47	94857,66	3178,31	372,56	125,90	343,27	154,16	8,81	120,76	38,54	46,76	11,31	428,57	5977,90	2937,31	318,60	6243,58
4-5	190226,54	109460,14	93639,25	3418,26	350,66	123,61	331,99	136,23	5,70	113,52	60,54	44,90	10,60	415,74	6272,96	2823,41	282,54	5978,81
5-6	185729,08	108137,76	96731,12	4936,22	339,29	135,20	335,71	132,65	9,40	109,69	23,47	41,33	11,22	425,51	7261,73	2885,71	306,12	6045,92
6-7	195644,82	114303,86	92272,87	2883,64	378,56	124,49	344,51	152,44	7,97	119,41	38,11	40,65	11,18	423,78	5453,76	150,41	320,12	6224,59
7-8	173150,66	106716,04	93254,85	4548,01	339,63	130,23	346,27	132,79	8,04	114,91	45,97	34,73	10,21	390,19	6451,99	2704,80	280,90	5439,22
8-9	190710,12	115516,36	95906,44	4552,66	350,20	130,37	361,96	138,04	10,00	125,26	46,01	35,79	11,25	416,16	5998,47	2871,17	265,85	5853,78
9-10	191536,77	120505,62	96319,20	3950,46	354,95	125,13	351,38	132,79	6,39	120,02	38,30	36,26	11,24	410,62	5634,83	2985,70	265,58	6205,31
média	189031,33	111335,58	93718,86	3668,19	356,12	126,70	345,97	143,95	7,40	118,03	41,52	42,92	10,94	415,65	6092,79	2638,15	300,65	5827,34
SD	7239,29	4604,62	2513,84	779,58	14,97	4,65	8,92	10,40	1,71	4,59	9,92	6,13	0,46	10,78	527,16	880,03	26,72	430,92

Apêndice M: Tabela 12A. Concentrações totais de metais pesados e demais espécies químicas nos sedimentos de fundo, em perfil de profundidade, para a estação de Três Irmãos, na foz do rio Tietê.

Três Irmãos	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Cr	Zn	Cd	Ni	Pb	Sr	Sc	Ba	Ca	Mg	Na	K
prof (cm)	(µg g ⁻¹)																	
0-1	225132,23	73909,95	71371,09	2722,75	206,16	101,90	345,02	165,88	3,05	97,16	28,44	65,40	4,74	456,87	8499,05	3069,19	990,52	5900,47
1-2	208962,14	92895,77	91736,97	2401,67	322,03	184,37	456,24	231,07	1,11	130,29	24,58	53,10	6,88	508,36	4352,51	2795,48	585,05	4331,37
2-3	187896,64	113009,16	88387,47	2415,99	323,32	150,20	391,04	183,30	1,87	129,84	28,00	48,37	8,66	572,30	4120,67	2559,06	351,32	4383,91
3-4	181040,17	119046,47	85959,83	4102,13	297,68	128,27	352,37	159,73	5,64	123,43	19,36	40,66	8,71	568,25	4396,42	2437,56	266,21	3901,26
4-5	182153,88	118037,34	89602,93	5951,06	320,38	143,79	397,58	166,50	5,86	128,66	27,75	41,88	9,59	607,47	5162,97	2535,82	272,45	3960,65
5-6	186318,73	118303,12	90429,51	4055,89	339,88	153,58	401,81	191,34	5,25	138,47	25,18	45,32	11,58	616,31	4548,34	2545,82	266,87	3892,25
6-7	180528,68	117185,95	87335,81	3904,55	333,83	150,84	404,55	178,04	4,54	136,00	23,74	44,02	10,39	605,34	4863,01	2416,42	267,06	4015,83
7-8	178799,30	118999,00	87944,72	3085,16	326,20	146,91	387,45	169,32	5,94	131,97	25,90	48,80	11,95	629,48	4329,18	2542,83	258,96	4063,75
8-9	187765,56	119452,81	89153,11	2813,76	318,78	143,07	395,58	170,68	3,31	133,03	22,59	46,69	12,55	629,52	4273,59	2668,67	210,84	4191,77
9-10	181181,68	127917,09	89863,36	2663,77	335,21	145,85	382,80	168,88	1,92	130,50	25,59	45,55	10,75	646,88	4464,18	2607,98	199,59	3961,11
10-11	173752,02	126742,42	89693,43	2664,14	340,91	148,99	397,98	176,77	3,23	133,84	16,16	43,94	11,11	648,48	4385,35	2578,79	212,12	3772,73
média	188502,82	113227,19	87407,11	3343,71	314,94	145,25	392,04	178,32	3,79	128,47	24,30	47,61	9,72	589,93	4854,12	2614,33	352,82	4215,92
SD	15135,75	15900,39	5545,42	1077,07	38,06	19,61	28,89	19,62	1,75	11,11	3,76	6,83	2,34	60,15	1243,30	182,60	236,97	589,35