UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA
AMBIENTAL

Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do Reservatório de Salto Grande, Americana- SP.

Maurício Augusto Leite

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Assoc. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola

São Carlos – SP

2002

*Todas as opiniões que há sobre a Natureza
Nunca fizeram crescer uma erva ou nascer uma flor.
Toda sabedoria a respeito das cousas
Nunca foi cousa em que pudesse pegar, como nas cousas.
Se a ciência quer ser verdadeira,
Que ciência mais verdadeira que a das cousas sem ciência?
Fecho os olhos e a terra dura sobre que me deito
Tem uma realidade tão real que até as minhas costas a sentem.
Não preciso de raciocínio onde tenho espáduas.*

Fernando Pessoa - Alberto Caieiro – Poemas Inconjuntos

Dedico este trabalho aos meus pais,
Omar e Sylza, meus irmãos Murillo e Maria Eugênia,
às avós Zaíra e Clarice e
à Carol, pelo apoio e confiança em mais uma etapa da
minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, pela orientação, competência, responsabilidade e principalmente pela confiança na realização deste trabalho. Após seis anos de convivência, merece meus mais sinceros respeitos. À Rosane, Isabela, Lucas, pela amizade e pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar, pela co-orientação informal, mas extremamente importante para as discussões deste trabalho;

À Profa. Dra. Maria do Carmo Calijuri, pelas valorosas contribuições durante o Mestrado e Doutorado;

Profa. Dra. Odete Rocha, pela ajuda nos momentos críticos;

Prof. Dr. Antônio Carlos Simões Pião pela inestimável ajuda nas análises estatísticas;

Prof. Dr. Swami Marcondes Villela, pelo convívio e aprendizado;

Prof. Dr. Milan Straskraba (*in memoriam*). Exemplo de sabedoria e humildade;

Prof. Dr. Antonio A. Mozeto e ao pessoal do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (UFSCar) pela imensa ajuda para a realização deste trabalho: Raul Cazotti, Júlio, Paty e França;

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Prof. Dr. Valdir Schalch;

Ao diretor do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad;

Ao Chefe do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Prof. Dr. Harry Edmar Schulz;

À todos os professores responsáveis pela minha formação acadêmica;

À CPFL pelo apoio e cessão das instalações para a realização deste: Sr. José Ferreira Abdal Neto, Sr. Guilherme Freitas e Sr. Elídio;

À EMBRAPA Agropecuária Sudeste na pessoa do Sr. Gilberto;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo. Processo nº 145178/98-6;

À FAPESP, pela concessão do auxílio pesquisa processo nº 1999/08532-2;

À todos funcionários do CRHEA: Claudete Aparecida Poianas, Mara Lúcia Cotrim, Paulo de Lucas, Ivan Bueno, Sonia Bueno, Edna Regina, D. Catarina, Sr. Maurício, Rogério e Sr. João;

Aos técnicos do CRHEA, sem os quais a realização deste trabalho seria impossível: Amândio Nogueira Menezes, Luci A. Queiroz, Marcelo Nogueira Menezes, Roberto Maramarque, Valdomiro Antonio Filho;

Aos amigos do CRHEA: Alessandro Minillo, Márcia Eler, Dayani, Obede, Janete, Dani, Andréa, Aline, Cássio, Fabiano, Luci;

Aos amigos de São Carlos: Mariana, Zuba, Caê, Rinaldo, Júlia, Evandro e Éliton (The Simpsons Sessions), Mércia, Jú, Caio, Fruf's, Ariuska, Lu, Celisa, Lemão, Bitar, André e Eliane, Anna Paola, Sofia, Paulão, Saci, Cyro e Jú;

À Fernanda, Paula, Andréia, Celina (Pikachú) e Alessandra, pela convivência em São Carlos e pela longa amizade;

Ao pessoal de Viçosa: Clóvis, Zeca, Gnomo, Baca, Montanha, Telma, Bilau.....

À minha nova família de São Carlos: D.Vera, Hugo, Fritz, Honorina, Wood e à Buzolândia;

Ao Bar do Aléssio;

À todos os membros da ACQUAVIT;

À Pazú e Vitim, pela amizade, paciência e por não me mandarem embora de casa; Charlie Brown (*in memorian*);

Ao amigo João Carlos Pinto: idealizador, fundador e construtor do Projeto Barco Escola da Natureza. Todos os que trabalharam em Salto Grande aprenderam com ele o significado das palavras “Persistência e Dedicação”;

Ao jornalista Paulo San Martin, por divulgar os trabalhos científicos de Salto Grande no Jornal Recantos da Terra;

À Carolina Buso Dornfeld, pelo amor, paciência, sugestões, calma e por sempre estar ao meu lado. Razão fundamental para a conclusão deste trabalho e por pensar em um futuro extremamente feliz !

À Deus, pela força e pela vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Definições e fontes de origem dos metais.....	1
1.2. Metais em ambientes aquáticos.....	3
1.3. Metais em suspensão.....	4
1.4. Metais nos sedimentos	6
1.5. Especiação dos Metais	7
1.6. Metais em Organismos	8
1.7. Metais em substâncias húmicas	10
2. JUSTIFICATIVA	11
3. OBJETIVOS	14
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	15
4.1. Clima.....	15
4.2. Vegetação.....	17
4.3. Geologia.....	17
4.4. Geomorfologia	18
4.5. Tipos de solo, uso e ocupação na área de entorno do reservatório	18
5. MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1. Água.....	20
5.1.1. Caracterização física e química.....	20
5.1.2. Nutrientes totais e dissolvidos	21
5.1.3. Nutrientes totais	21

5.1.4. Material em suspensão	21
5.1.5. Substâncias húmicas	22
5.1.6. Metais.....	22
5.2. Sedimento.....	22
5.2.1. Nitrogênio orgânico total e fósforo total.....	23
5.2.2. Metais totais	23
5.2.3. Metais potencialmente biodisponíveis	23
5.2.4. Metais na água intersticial.....	23
5.2.5. Granulometria	24
5.2.6. Matéria orgânica no sedimento	24
5.2.7. Datação.....	24
5.3. Taxa de Sedimentação	24
5.3.1. Metais.....	25
5.3.2. Nutrientes totais e dissolvidos	26
5.3.3. Substâncias húmicas	26
5.3.4. Material em suspensão	26
5.4. Metais nos organismos planctônicos	26
5.5 Análise estatística dos dados.....	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1. Caracterização limnológica no reservatório de Salto Grande.	28
6.1.1. pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura.....	28
6.1.2. Nutrientes totais, dissolvidos e substâncias húmicas	39
6.1.3. Transparência da água	48
6.1.4 . Material em suspensão	50
6.2. Caracterização física, química e teor de matéria orgânica em amostras de sedimento do Reservatório de Salto Grande.	52
6.2.1. Granulometria e matéria orgânica.....	52

6.2.2. Nitrogênio e fósforo total.....	54
6.3. Avaliação da concentração e distribuição de metais no reservatório de Salto Grande	58
6.3.1. Água	58
6.3.2. Sedimento.....	72
6.3.2.1. Metais totais	72
6.3.2.2. Metais potencialmente biodisponíveis	90
6.3.3. Água intersticial.....	108
6.3.4. Organismos (Plâncton).....	118
6.4. Avaliação da taxa de sedimentação de metais e material em suspensão no reservatório de Salto Grande.....	130
6.5. Datação do sedimento pelo método do ^{210}Pb atmosférico visando a análise das relações entre as concentrações de metais totais e a cronologia do sedimento.....	149
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE MANEJO	153
7.1. Distribuição e avaliação dos metais no reservatório de Salto Grande	153
7.2. Propostas para manejo do reservatório de Salto Grande	159
8. CONCLUSÕES	164
9. BIBLIOGRAFIA	166
ANEXOS.....	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do reservatório de Salto Grande na bacia do rio Piracicaba	16
Figura 2 : Localização do reservatório de Salto Grande e das 4 estações de coleta.....	20
Figura 3: Esquema das câmaras de sedimentação usada no presente estudo, na relação comprimento/diâmetro 10:1.	25
Figura 4: Perfis verticais de pH obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.	30
Figura 5: Perfis verticais de condutividade obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.	32
Figura 6: Perfis verticais de oxigênio dissolvido obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.....	35
Figura 7: Perfis verticais de temperatura da água obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.....	37
Figura 8: Concentrações iniciais de nitrogênio orgânico total e fósforo total durante o período de estudo (S = 30% e F = 70% da profundidade local).....	40
Figura 9: Concentrações iniciais de nitrato, amônio e nitrito durante o período de estudo, sendo S = 30% e F = 70% da profundidade de cada estação de coleta.....	42
Figura 10: Concentrações iniciais de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico durante o período de estudo.....	45
Figura 11: Concentrações iniciais de silicato reativo (SiO_2) e substâncias húmicas (AcH) durante o período de estudo, no reservatório de Salto Grande.	47
Figura 12: Valores de visibilidade inicial e final do disco de Secchi nas diferentes estações de coleta.....	49
Figura 13: Concentrações iniciais de material em suspensão total, orgânico e inorgânico nas diferentes estações e períodos de coleta.....	51
Figura 14: Contribuição das frações areia, silte e argila nas estações de coleta do reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.	53
Figura 15: Porcentagem de matéria orgânica nas amostras de sedimento do Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.	54
Figura 16: Valores de fósforo ao longo do perfil de sedimento nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.	55
Figura 17: Porcentagens de nitrogênio ao longo do perfil de sedimento, nas diferentes estações e período de coleta, no reservatório de Salto Grande.	57
Figura 18: Concentrações de ferro na água, nas diferentes estações de coleta.....	59
Figura 19: Concentrações de manganês na água nas diferentes estações de coleta.	61

Figura 20: Concentrações de zinco na água nas diferentes estações de coleta.....	62
Figura 21: Concentrações de cádmio na água nas diferentes estações de coleta.	64
Figura 22: Concentrações de cobre na água nas diferentes estações de coleta.....	65
Figura 23: Concentrações de cromo na água nas diferentes estações de coleta.....	67
Figura 24: Cluster para os dados na água. $R_c=0,93$. S= estações superficiais (30%) e F= estações de fundo (70%).....	69
Figura 25: Concentrações de ferro total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande.....	73
Figura 26: Concentrações de manganês total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande.....	76
Figura 27: Concentrações de zinco total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande.....	79
Figura 28: Concentrações de cobre total ao longo do perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande durante o período de estudo.	82
Figura 29: Concentrações de cádmio total ao longo do perfil do sedimento no reservatório de Salto Grande.	85
Figura 30: Concentrações de cromo total ao longo do perfil do sedimento de Salto Grande.....	87
Figura 31: Concentração de ferro potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	90
Figura 32: Concentrações de manganês potencialmente biodisponível nas amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.	93
Figura 33: Concentrações de zinco potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	96
Figura 34: Perfis de cobre potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande	99
Figura 35: Perfis de cromo potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande	103
Figura 36: Perfis de cádmio potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	105
Figura 37: Perfis de ferro na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.	109
Figura 38: Perfis de ferro na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.	110
Figura 39: Perfis de zinco na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande	111

Figura 40: Perfis de cádmio na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta.....	113
Figura 41: Perfis de cobre na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.	114
Figura 42: Perfis de cromo na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.	115
Figura 43: Cluster para os dados de água intersticial. $R_c=0,88$	116
Figura 44: Concentrações de ferro nos organismos planctônicos durante o período de estudo, no reservatório de Salto Grande.	118
Figura 45: Concentrações de manganês retidas nos organismos planctônicos.	120
Figura 46: Concentrações de zinco retidas nos organismos planctônicos.	122
Figura 47: Concentrações de cobre retidas nos organismos planctônicos.	123
Figura 48: Concentrações de cádmio retidas nos organismos planctônicos.	125
Figura 49: Concentrações de cromo retidas nos organismos planctônicos.	127
Figura 50: Cluster para os dados de metais nos organismos $R_c=0,89$	128
Figura 51: Taxas de sedimentação de ferro nas diferentes estações de coleta.....	131
Figura 52: Taxas de sedimentação de manganês nas diferentes estações de coleta.	133
Figura 53: Taxas de sedimentação de zinco nas diferentes estações de coleta.	135
Figura 54: Taxas de sedimentação de cádmio nas diferentes estações de coleta.	138
Figura 55: Taxas de sedimentação de cobre nas diferentes estações de coleta.	140
Figura 56: Taxas de sedimentação de cromo nas diferentes estações de coleta.	143
Figura 57: Taxas de sedimentação de material em suspensão nos diferentes meses e estações de coleta.....	144
Figura 58: Cluster para os dados de câmaras de sedimentação. $R_c=0,93$. (30%)=estações superficiais após 24 horas, (70%)=estações de fundo após 24 horas.....	146
Figura 59: Cronologia do sedimento na estação 4.....	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação temporal de pH no reservatório de Salto Grande (Americana-SP).....	31
Tabela 2: Variação dos valores de condutividade em 1979 e 2000 no reservatório de Salto Grande.....	33
Tabela 3: Comparação entre as relações N/P no reservatório de Salto Grande.	41
Tabela 4: Concentrações de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) obtidas nas estações de coleta 2, 3 e 4 no reservatório de Salto Grande entre 1969 e 2000.	42
Tabela 5: Comparações entre as concentrações de íon amônio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) ao longo dos anos no reservatório de Salto Grande.....	43
Tabela 6: Variação na concentração de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$) considerando os resultados obtidos nas estações 2, 3 e 4.....	44
Tabela 7: Comparações entre as concentrações de fosfato total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no reservatório de Salto Grande obtidas entre 1969 e 2002.....	46
Tabela 8: Valores de visibilidade do disco de Secchi obtidos no reservatório de Salto Grande.	49
Tabela 9: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de ferro na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.	59
Tabela 10: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de manganês na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	60
Tabela 11: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de zinco na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.	63
Tabela 12: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de cádmio na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.	64
Tabela 13: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de cobre na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.	66
Tabela 14: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de cromo na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.	68
Tabela 15 : Concentração média de ferro total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.	74
Tabela 16: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	74
Tabela 17: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro total no sedimento nas diferentes estações de coleta.....	75
Tabela 18 : Concentração média de manganês total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.	77
Tabela 19: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês total no sedimento nos diferentes meses	

de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).....	77
Tabela 20: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês total no sedimento nas diferentes estações de coleta do reservatório de Salto Grande.....	78
Tabela 21 : Concentração média de zinco total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.	79
Tabela 22: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	80
Tabela 23: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.	80
Tabela 24 : Concentração média de cobre total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.	82
Tabela 25: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	83
Tabela 26: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.	83
Tabela 27 : Concentração média de cádmio total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.	85
Tabela 28: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	86
Tabela 29: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.	86
Tabela 30 : Concentração média de cromo total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.	88
Tabela 31: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	88
Tabela 32: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.	89
Tabela 33: Relação entre as concentrações médias de ferro total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.....	91
Tabela 34: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	92
Tabela 35: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	92
Tabela 36: Relação entre as concentrações médias de manganês total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.....	94
Tabela 37: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4	

(novembro).	95
Tabela 38: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	95
Tabela 39: Relação entre as concentrações médias de zinco total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.....	97
Tabela 40: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	98
Tabela 41: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta.	98
Tabela 42: Relação entre as concentrações médias de cobre total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.....	101
Tabela 43: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).....	101
Tabela 44: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta.	101
Tabela 45: Relação entre as concentrações médias de cromo total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.....	103
Tabela 46: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	104
Tabela 47: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta.	104
Tabela 48: Relação entre as concentrações médias de cádmio total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.....	106
Tabela 49: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio potencialmente biodisponível no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).....	107
Tabela 50: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.....	107
Tabela 51: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).	119
Tabela 52: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês nos organismos nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).	121
Tabela 53: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).	122
Tabela 54: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).	124
Tabela 55: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio nos organismos nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).	126

Tabela 56: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).	127
Tabela 57: Concentrações de ferro determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1})...	130
Tabela 58: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro nas câmaras de sedimentação, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	132
Tabela 59: Concentrações de manganês determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).	132
Tabela 60: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	134
Tabela 61: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês nas câmaras de sedimentação nas diferentes estações coleta: 1 (1-30%), 2 (1-70%), 3 (2-30%) e 4 (2-70%), 5 (3-30%), 6 (3-70%), 7 (4-30%) e 8 (4-70%).....	134
Tabela 62 : Concentrações de zinco determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).	135
Tabela 63: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).....	136
Tabela 64: Concentrações de cádmio nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).	137
Tabela 65: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	139
Tabela 66: Concentrações de cobre nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).....	139
Tabela 67: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).....	141
Tabela 68: Concentrações de cromo determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).	141
Tabela 69: Teste de Tukey para cromo ($p>0,05$) nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).....	143
Tabela 70: Teste de Tukey ($p>0,05$) para material em suspensão nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).	145
Tabela 71: Concentrações de metais (ppm) obtidas na água, sedimento (total e biodisponível), material sedimentável (mat.sed.) e comunidades (plâncton, macrófitas, bentos e peixes), na estação 1, do reservatório de Salto Grande.	154
Tabela 72: Concentrações de metais (ppm) obtidas na água, sedimento (total e biodisponível), material sedimentável (mat.sed.) e comunidades, na estação 4 (barragem), do reservatório de Salto Grande.....	154
Tabela 73: Previsão das cargas poluidoras para o ano de 2010.....	155
Tabela 74: Fatores de concentração de metais para organismos planctônicos no reservatório de Salto Grande.....	155

RESUMO

LEITE, M.A. *Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do Reservatório de Salto Grande, Americana- SP.* São Carlos, 2002. 199p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O reservatório de Salto Grande localiza-se no município de Americana, São Paulo, em uma região de intensa atividade industrial, agrícola e elevada densidade demográfica, fatores que promoveram nas últimas décadas, alterações significativas na paisagem, na demanda dos recursos naturais existentes e consequentemente, na degradação dos recursos hídricos, incluindo a eutrofização e a contaminação por metais. O presente trabalho teve como objetivo quantificar a concentração dos metais (ferro, manganês, zinco, cobre, cromo e cádmio) no reservatório de Salto Grande, bem como sua deposição ao longo do sistema e sua possível biodisponibilização para a comunidade planctônica. Para avaliar a atual situação do reservatório, determinou-se a concentração dos metais na água (30 e 70% da profundidade local), plâncton (fração maior que 20 μm), material sedimentável (câmaras de sedimentação a 30 e 70% da profundidade local) e sedimento ("core sampling"), com coletas em fevereiro, maio, agosto e novembro de 2000, caracterizando os períodos seco, chuvoso e intermediários. Os resultados da análise da água demonstram que altas concentrações de ferro, manganês, cobre e cádmio, excederam os limites da resolução CONAMA 20/86 para águas de Classe 2. Os resultados obtidos para metais no plâncton apresentaram-se baixos, não demonstrando uma possível bioacumulação. As taxas de sedimentação apresentaram-se elevadas geralmente nos meses mais secos (maio e agosto), com concentrações de 2,4 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para ferro, 0,25 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para manganês, 0,024 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para zinco, 0,018 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para cobre, 0,027 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para cromo e 0,003 $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para cádmio. As concentrações elevadas de metais no sedimento (61906,0 mg.kg^{-1} para ferro, 623,0 mg.kg^{-1} para manganês, 178,0 mg.kg^{-1} para zinco, 70,0 mg.kg^{-1} para cobre e 75,0 mg.kg^{-1} para cromo) caracterizam o sistema como poluído. Os resultados obtidos demonstram as consequências do uso e ocupação da bacia do rio Atibaia, principalmente a partir da década de 70, com o aumento das atividades agrícolas e industriais, resultando em uma elevada entrada de substâncias potencialmente tóxicas, afetando a qualidade da água e do sedimento do sistema.

Palavras-chave: Reservatório de Salto Grande, metais, sedimento, taxa de sedimentação.

ABSTRACT

LEITE, M.A. *Analysis of the input, sedimentation rate and metal concentration on the water, plankton and sediment of Salto Grande reservoir, Americana- SP*. São Carlos, 2002. 199p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Salto Grande reservoir is located in the city of Americana, São Paulo state, in a region with high industrial and agriculture activity and elevated demographic density, which caused in the last decades, changes in the landscape, natural resources and water quality, including eutrophication and contamination by metals. The goal of this work is to determine the concentration of metals (iron, manganese, zinc, copper, chromium and cadmium) in Salto Grande reservoir, as well, the deposition along the system and the bioavailability for the plankton community. To assess the situation of the reservoir, the present study was carried out to determine the metals concentrations on the water (30 and 70% of the total depth), plankton (higher than 20 μm), suspended matter (sedimentation traps placed at 30 and 70% of the total depth) and sediment (core sampling), in four months at 2000 (February, May, August and November), representing dry and wet season, as well the intermediate periods. The data for water analysis demonstrated high concentrations of iron, manganese, copper and cadmium, exceeding the limits of CONAMA 20/86 for water in Class 2. The data for metals on plankton was very low, do not demonstrating a possible bioaccumulation. The sedimentation rate was extremely high, mainly on dry season (May and August), with $2,4 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for iron, $0,25 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for manganese, $0,024 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for zinc, $0,018 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for copper, $0,027 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for chromium and $0,003 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for cadmium. The data for metal concentration in the sediment ($61906,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ for iron, $623,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ for manganese, $178,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ for zinc, $70,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ for copper and $75,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ for chromium) demonstrated a polluted system. These data shows the consequences of the land use on Atibaia's river watershed, mainly in the 70's, with the increase of agriculture and industrial activities, resulting in a elevated input of potentially toxic substances on Atibaia river, affecting the water quality and sediment of this system.

Key-words: Salto Grande reservoir, metals, sediment, sedimentation rate.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Definições e fontes de origem dos metais

Os processos de industrialização e de urbanização, nas últimas décadas, têm tornado cada vez mais crítica a questão da contaminação do meio ambiente. Entre os diversos contaminantes, os metais têm contribuído de forma significativa para a poluição do ar, da água e do solo, transformando-se numa nova e perigosa classe de contaminantes, uma vez que a intervenção humana na sua geração e utilização, como subproduto de atividades industriais, tem criado graves problemas, em escala local e global, levando a um estresse da natureza, associado aos seus efeitos crônicos à saúde humana (BRAYNER, 1998).

Os metais são alguns dos elementos mais abundantes na crosta terrestre. Diversos minerais representam a fonte de metais encontrados em solos e em ambientes aquáticos, sendo o intemperismo mineral (natural) ou a mineração (cultural), os processos responsáveis pela distribuição dos metais nos sistemas terrestre, aquático e atmosférico (NOVOTNY, 1995).

Segundo FÖRSTNER & WITTMANN (1983), cerca de 65 dos elementos conhecidos, excluindo a série trans-urânio, apresentam características metálicas. O termo metal designa um elemento que é um bom condutor de eletricidade e que a resistência elétrica é função direta da temperatura absoluta. Com relação a essa característica, os metais apresentam outras diversas propriedades físicas típicas como: alta condutividade térmica, alta densidade, maleabilidade e ductilidade (a habilidade de ser transformado em folhas e fios).

PHIPPS (1981) define metais como sendo elementos que sob determinadas condições biológicas apresentam tendência em existir como cátions, agindo assim como os ácidos de Lewis. Os íons metálicos formam complexos com uma larga amplitude de ligantes, sendo estes orgânicos ou inorgânicos, tornando-se espécies biologicamente ativas. Geralmente o termo metal é usado indiscriminadamente tanto para os elementos como para os compostos, sendo mais bem identificado quando são consideradas suas propriedades químicas. Algumas outras denominações também são atribuídas aos metais em estudos ambientais como: *metal-traço* (metais encontrados em baixas concentrações em algumas fontes específicas como plantas, águas subterrâneas); *metal disponível* (metal encontrado na forma em que será facilmente

assimilado pelos organismos vivos); *metal tóxico* (todos os metais são tóxicos, mas o grau de toxicidade varia muito de metal para metal, de organismo para organismo e da concentração); *metal pesado* (ou *metal de transição* por possuírem propriedades de se ligarem às substâncias orgânicas e inorgânicas) é um termo impreciso usado de maneira errônea, sendo atualmente utilizado para designar qualquer metal com número atômico superior a 20, mas ainda não há um consenso geral a esse respeito; *metal essencial* (aquele metal que é requerido para completar o ciclo de vida de organismos e sem o qual produz sintomas específicos de deficiência, recuperando-se somente com aquele metal específico. O efeito do metal é mostrado por uma curva de dose-resposta).

Os metais traço ocorrem como constituintes naturais da crosta terrestre e estão sempre presentes como constituintes de solos, águas naturais e organismos vivos. Alguns desses elementos têm demonstrado serem essenciais para as funções de organismos vivos, enquanto outros elementos interagem somente de maneira tóxica com a matéria viva (LEPP, 1981).

A presença de metais e outras substâncias inorgânicas tóxicas em lagos e reservatórios é atribuída aos processos naturais e as atividades humanas. A entrada dos metais em lagos e reservatórios é o resultado de processos físicos e químicos tais como a intemperismo e o carreamento de solos e rochas, sendo que estes processos resultam em valores iniciais de metais em águas naturais. As águas superficiais em determinadas áreas podem apresentar relativamente altas concentrações de elementos, como resultado do contato com partículas de solo e rochas, como selênio e flúor, podendo estar associado com problemas de saúde (JACKSON, 1991).

O autor acima comenta que as atividades humanas tipicamente resultam na deposição de elevados níveis de chumbo, cádmio, mercúrio e zinco em ambientes aquáticos. Estes e outros metais são derivados de diversas fontes e são transportados direta ou indiretamente para os corpos d'água, como as atividades industriais que refinam minérios e usam metais como matéria bruta para seus produtos ou eliminam metais como um subproduto desses processos, ou ainda a fundição de ferrosos e não ferrosos, indústrias de laminados e de veículos, indústrias de papéis e de fertilizantes químicos, os quais usam e liberam metais como cádmio, cromo, mercúrio, chumbo, níquel e zinco. O processamento de alimentos e indústrias têxteis também produz efluentes com elevados níveis de metais.

Um número de treze metais e metalóides têm sido reconhecidos como potencialmente perigosos à saúde humana e à biota aquática, sendo incluídos na “*Priority Pollutants List (Black List)*” por agências de controle ambiental em todo o mundo, incluindo o antimônio, arsênio, berílio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, selênio, prata, tálio e zinco. Entre as mais freqüentes descargas de metais (fontes pontuais de poluição) estão o cobre, zinco, cromo, chumbo e níquel, devendo-se considerar ainda as quantidades expressivas de metais que estão presentes no escoamento superficial de áreas urbanas (NOVOTNY, 1995).

Além das fontes citadas, os despejos domésticos também representam fonte individual de descarga de metais para o ambiente em efluentes e esgotos, os quais geralmente contém níveis elevados de cobre, chumbo, zinco e cádmio (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

1.2. Metais em ambientes aquáticos

Segundo JACKSON (1991), embora quantidades substanciais de metais e outras substâncias orgânicas entrem nos lagos diretamente pelas atividades humanas ou processos naturais, outros setores ambientais também podem transportá-los para os lagos. Os rios, por exemplo, desempenham a principal tarefa no transporte de substâncias em solução ou em associação com os sólidos suspensos, atuando como coletor de descarga de metais da bacia de drenagem antes destes atingirem os lagos.

No ambiente aquático, quatro compartimentos abióticos podem ser distinguidos: o material em suspensão, os sedimentos, as águas superficiais e as águas intersticiais. Esses quatro compartimentos possuem uma forte interação entre si. Entre o material em suspensão e os metais em solução, ocorrem os processos de adsorção/desorção e co-precipitação. O material em suspensão e os sedimentos depositados estão interligados por meio da sedimentação e dos processos de erosão. Esses processos ocorrem após a deposição (diagênese), abastecido pelas águas intersticiais que podem apresentar altas concentrações de elementos traço ($6,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ de cromo e $1,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ de cádmio no lago Ijsselmeer, segundo HONG et. al., 1995), os quais, por meio de processos como a difusão, consolidação e bioturvação são capazes de influenciar as concentrações de metais nas águas superficiais (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Segundo D'ITRI (1990), os metais em ambientes aquáticos podem chegar aos sedimentos basicamente por dois mecanismos: 1) ligação ou adsorção com ligantes orgânicos ou inorgânicos, formando complexos com metais e precipitando diretamente no sedimento ou 2) através da reação de orgânicos com íons metálicos, permanecendo em solução até que sejam adsorvidos pelo material em suspensão, que precipitará nos sedimentos.

1.3. Metais em suspensão

O material em suspensão desempenha uma tarefa extremamente importante no transporte e no ciclo geoquímico de metais traço em sistemas aquáticos. Suas características físicas e geoquímicas influenciam sua capacidade de ligação com metais e a autodepuração dos rios (CHEN et al., 1991). D'ITRI (1990) exemplifica que o material fino em suspensão apresenta elevada capacidade de absorver mercúrio dissolvido, chegando a atingir $34,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Hg ligado ao material particulado.

Segundo LITHNER et al. (1996), a concentração de metais na matéria particulada é influenciada pela quantidade de metais presentes na água e pelo conteúdo de matéria orgânica húmica.

O processo de transporte dos metais pode ocorrer de acordo com os seguintes mecanismos:

- Advecção: poluentes, em formas dissolvidas, suspensas ou adsorvidas (aos sedimentos em suspensão) são transportados pelo fluxo hidráulico;
- Sedimentação: atua sobre os poluentes em suspensão através da adsorção destes elementos em direção aos sedimentos;
- Precipitação/dissolução: pode ser considerado um processo de transporte de modo a causar alterações na fase do poluente, podendo afetar a disponibilidade deste para outros processos de transporte e transformação (redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} e vice-versa).

Em ambientes aquáticos, os metais tóxicos estão dissolvidos (dissociados) ou particulados. As frações de sedimento que podem interagir com compostos de metais tóxicos estão onde os metais precipitados podem residir, incluindo partículas finas (argila e silte fino) e orgânicas. A argila e as partículas orgânicas possuem uma alta capacidade de sorção para muitos compostos e atuam como transportadores intermediários de contaminantes em ambientes aquáticos. Argila e matéria orgânica

podem efetivamente adsorver e co-precipitar tais poluentes como fosfatos, amônia, uma variedade de componentes orgânicos polares e não polares e metais tóxicos (NOVOTNY, 1995).

Os metais não estão distribuídos de forma homogênea ao longo das frações e diferenças significativas nas concentrações totais de metais são observadas em amostras de sedimentos de uma única localidade. Dentro do espectro do tamanho das partículas, as frações mais finas – basicamente minerais de argila – mostram relativamente altos conteúdos de metais. Nas frações silte e areia fina as concentrações de metais geralmente diminuem à medida que a fração é composta em maior parte por componentes de quartzo com baixas concentrações de metais (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

A deposição dos sólidos contaminados por metais tem uma maior probabilidade de ocorrer em lagos e reservatórios do que ao longo do canal de rios, durante períodos de alto e baixo fluxo d'água, desde que nestas condições hidráulicas os metais estejam mais imóveis do que anteriormente, e os efeitos da turbulência sejam pequenos (NOVOTNY, op. cit.).

SALOMONS & FÖRSTNER (op. cit.) citam como as principais causas da precipitação e da complexação de metais:

- oxidação de componentes reduzidos como ferro, manganês e sulfeto;
- redução dos metais de valência mais alta pela interação com matéria orgânica (selênio e prata);
- redução de sulfato a sulfeto (ferro, cobre, prata, zinco, mercúrio, níquel, arsênio e selênio são precipitados na forma de sulfeto);
- reações alcalinas (estrôncio, manganês, ferro, zinco, cádmio e outros elementos são precipitados com o aumento do pH, geralmente causado pela interação com rochas alcalinas e sedimentos ou pela mistura com águas alcalinas);
- adsorção e co-precipitação de íons metálicos com ferro e óxidos de manganês, argilas e matéria orgânica particulada);
- reações de troca iônica preferencialmente com argilas.
- matéria húmica: quelação

1.4. Metais nos sedimentos

Os sedimentos são importantes carreadores de metais no ciclo hidrológico, podendo refletir a atual qualidade do sistema, bem como o desenvolvimento histórico de certos parâmetros hidrológicos e químicos. Análises comparativas das concentrações totais de perfis longitudinais e testemunhos de sedimentos são executados para determinar anomalias de metais em zonas de mineralização bem como fontes de poluição (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Os sedimentos podem ser divididos em dois grupos distintos:

- sedimentos finos com partículas menores que 50µm, subdivididos em silte e argilas;
- sedimentos grosseiros com grãos excedendo 0,05mm e subdivididos em areias e cascalhos.

Segundo CALMANO (1996), a contaminação dos sedimentos por metais é originada por fontes difusas e pontuais. Fontes difusas típicas são originadas pela atmosfera e pelas deposições sólidas. A “lavagem” do solo, particularmente em áreas agrícolas, é uma outra importante fonte difusa. As típicas fontes pontuais são as emissões de despejos industriais, esgotos domésticos, depósitos de lixo e despejos de mineração, as quais causam poluição por metais em uma escala local.

Os contaminantes estão distribuídos em várias partes do mundo e mesmo que existam variações consideráveis entre áreas com níveis altíssimos de contaminantes e áreas rurais com níveis mais baixos, é virtualmente impossível encontrar algum sedimento de fundo totalmente isento de contaminantes (NÄF et al., 1996).

Para determinar a extensão da poluição em ambientes aquáticos por meio da carga de metais em sedimentos, é de fundamental importância estabelecer o nível natural destas substâncias, por exemplo o nível “pré-civilização”, e então subtraí-los das concentrações de metais existentes, verificando-se, assim, o enriquecimento total causado por influências antropogênicas (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Quando os metais estão aderidos aos solos e à água (sedimentos), ambos de origem natural ou antropogênica, estes são submetidos a complexação com ligantes, que são constituintes químicos orgânicos ou inorgânicos que se combinam com os metais em um complexo químico. Dos conceitos da físico-química, sabe-se que os metais precipitam como resultado de alterações no pH, oxidação e outras alterações na sua composição química (NOVOTNY, 1995).

A maior parte dos metais dissolvidos transportados pelas águas naturais é, sob condições físico-químicas normais, rapidamente adsorvida na matéria particulada. Entretanto, a imobilização dos metais nos sedimentos de fundo não necessariamente permanece nesta condição, podendo ser liberados como resultado de alterações químicas no ambiente aquático. O meio de transporte de metais no sedimento é a água intersticial, sendo que os principais componentes que afetam a taxa de metais transportados são a matéria orgânica, ferro e o manganês, o qual está disponível para processos de redox (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981).

Observa-se que os sedimentos contaminados por metais são potencialmente vulneráveis, uma vez que os metais anteriormente imobilizados podem ser liberados novamente para a coluna d'água, sob determinadas condições do ambiente, disponibilizando-os para o sistema (água e biota).

1.5. Especiação dos Metais

Segundo ROSS & VERMETTE (1995), a especiação é definida como a “identificação da forma específica de como qualquer metal ocorre em um meio amostrado”, sendo que o conhecimento não da concentração do metal, mas do estado em que este se encontra no ambiente, notadamente a especiação química e as reações envolvidas na transformação das espécies, é fator importante pelo qual tais poluentes afetam o ambiente aquático (FÖRSTNER & WITTMANN, op. cit.).

MOORE & RAMAMOORTHY (1984) citam o exemplo do arsênio e do cromo como sendo metais altamente dependentes da sua forma química e da valência: arsina e o arsênio inorgânico trivalente e o cromo hexavalente são as espécies mais tóxicas. Mercúrio, arsênio e algumas espécies do chumbo passam por metilações ambientais, formando metil derivados altamente tóxicos.

Dos diversos processos, produtos e substratos para o enriquecimento de metais em sólidos aquáticos, três principais tipos podem ser distinguidos:

- a elevação do pH e do conteúdo de oxigênio promovem a formação de hidróxidos de metais, carbonatos e outros precipitados de metais;
- em águas ricas em matéria orgânica, minerais podem ser solubilizados pela combinação de processos de complexação e redução (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Segundo NOVOTNY (1995), os principais processos que afetam a especiação dos metais são a adsorção, as reações de oxidação/redução; a diluição e o equilíbrio precipitação/dissolução. O efeito da diluição provavelmente irá alterar as “variáveis *master*” (pH, força iônica e temperatura) da descarga original, podendo significativamente afetar os valores originais no corpo d’água. Ambos, pH e condições redox, podem afetar a distribuição relativa das espécies dissolvidas do metal presente na descarga. A adsorção é influenciada pelo pH, concentração dos metais e ligantes. A seguinte regra prática aplica-se: geralmente, em valores de pH baixo, poucos metais são adsorvidos, enquanto com pH alto a maioria dos metais catiônicos é adsorvida (em águas naturais, a maioria dos metais está presente como cátions, com algumas exceções, como CrO_4^{2-} e AsO_4^{3-}). Desde que a maioria do carbono orgânico no corpo d’água esteja usualmente dissolvida, pode-se esperar que os complexos solúveis organo-metálico possam ser formados, e isto pode aumentar a fração dissolvida do metal. Quando mais do que um metal adsorvido estiver presente, e os locais de adsorção estiverem limitados, a adsorção competitiva ocorre, e a adsorção de alguns íons pode ficar limitada pela falta de substrato.

A especiação dos metais possui um significado especial para a disponibilidade biológica e toxicidade, sendo que diferentes espécies químicas do mesmo elemento podem ter efeitos biológicos completamente diferentes (JACKSON, 1991).

1.6. Metais em Organismos

Segundo SALOMONS & FÖRSTNER (1984) existem dois tipos de processos que influenciam as concentrações de metais nos organismos: 1) a concentração dos metais nos reservatórios abióticos (material em suspensão, os sedimentos, as águas superficiais e as águas intersticiais) e 2) os processos bioquímicos que ocorrem dentro dos organismos.

A toxicidade dos metais, e de outras substâncias inorgânicas, dependerá de um número de fatores, os quais influenciam a disponibilidade da substância ao organismo. A concentração do íon metal é um fator básico, não necessariamente em termos absolutos pois diferentes formas químicas terão diferentes disponibilidades, dependendo de como a absorção é feita. A forma química dependerá da fonte e das interações com moléculas dissolvidas e com partículas. Outros fatores de qualidade de água não irão interagir diretamente com o metal, mas talvez influenciem a

absorção. Por exemplo, o cádmio é mais tóxico para espécies de algas em águas moles ($20,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) do que em águas duras ($300,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) devido ao antagonismo entre a absorção do cálcio ou magnésio e cádmio. Os principais efeitos dos contaminantes sobre algas são refletidos na estrutura da comunidade (mudanças no tamanho e composição de espécies), nas respostas fisiológicas e anabólicas (relacionadas com a produção de biomassa com possíveis efeitos nas cadeias alimentares) e nas respostas ultraestrututais (JACKSON, 1991).

A disponibilidade dos elementos traço para os organismos pode ser influenciada por fatores como: 1) características fisiológicas e ecológicas dos organismos, 2) a forma dos elementos traço dissolvidos bem como as características químicas e físicas da água e 3) a forma dos elementos traço em sólidos. A biodisponibilidade dos metais, a qual é definida como a fração da concentração de metal total em cada um dos reservatórios abióticos que pode ser retirada pelos organismos, é afetada pela especiação entre as formas hidratadas livres e entre vários complexos orgânicos e inorgânicos de vários estados de valência (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Os invertebrados aquáticos são banhados em um meio contendo metais traço dissolvidos em concentrações que variam de nanogramas a miligramas por litro (excepcionalmente). Estas concentrações são baixas em comparação a aquelas no interior de invertebrados aquáticos, mas a absorção de vários metais traço pelos invertebrados aquáticos parece ser passiva, não requerendo o gasto de energia. Em contrapartida, a absorção de íons majoritários como sódio, potássio e cálcio, os quais são mais iônicos na natureza, requerem o bombeamento ativo para atravessar as membranas celulares (RAINBOW & DALLINGER, 1993).

As concentrações de metais em invertebrados de água doce podem variar muito entre elementos e entre sistemas. Por exemplo, em sistemas não poluídos, as concentrações de cádmio variam de $0,01$ a $1,00 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ de peso seco, sendo que em sistemas poluídos valores muito maiores são observados, como no Rio Dommel, no qual as concentrações variaram de $0,3$ a $147 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ Cd}$ de peso seco. Observações similares podem ser feitas para chumbo, verificando-se que invertebrados coletados em ambientes não poluídos apresentaram concentrações de chumbo variando entre $0,29$ e $5,0 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ Pb}$ de peso seco, enquanto que em sistemas poluídos, como o Rio

Irwell, essas concentrações variaram entre 30,0 e 10.820,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ (TIMMERMANS, 1993).

BRAYNER (1998) menciona que um dos aspectos mais graves da contaminação com metais é a sua biomagnificação nas cadeias tróficas, tendo como consequência desse processo os níveis de metais nos membros superiores da cadeia, os quais podem alcançar valores muito acima aos que se encontram no ar e na água.

1.7. Metais em substâncias húmicas

Substâncias húmicas são quimicamente materiais muito complexos, cuja estrutura e reações não estão completamente entendidas. São macromoléculas que possuem uma elevada gama de pesos moleculares, sendo formados por quinonas até compostos fenólicos (LIVENS, 1991). São usualmente divididas em três frações: ácido húmico (HA), o qual é solúvel em meio alcalino diluído e é precipitado por acidificação do extraente alcalino; ácido fúlvico (FA), o qual é solúvel em meio ácido e alcalino, e humina, que não pode ser extraída do solo por ácido ou base diluída (BARROS, 1991).

Segundo BRAYNER (1998), as substâncias húmicas são formadas continuamente por complexos microbianos da biomassa, tanto em sistemas aquáticos quanto em solos, estando envolvidas em muitos processos ambientais, especialmente na ligação, transporte e deposição de poluentes inorgânicos como íons pesados.

RASPOR et al. (1984) enfatizam que na complexação de substâncias inorgânicas pela matéria orgânica dissolvida, os ácidos húmicos e fúlvicos são considerados o principal fator na especiação de metais-traço em sistemas aquáticos.

Em sedimentos, as substâncias húmicas possuem a habilidade em quelar elementos-traço, sendo estes encontrados em águas intersticiais, os quais são fortemente influenciados pelo gradiente vertical das substâncias húmicas, podendo ser demonstrados pela força de ligação de alguns íons metálicos como: $\text{Hg}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+}$ (HONG et al., 1995).

Uma forte indicação de que ocorreu a formação de um complexo (ou quelato) entre as substâncias húmicas e metal pode ser observada por mudanças no comportamento químico, no espectro de absorção, na condutividade elétrica, no pH, na solubilidade e no isolamento do complexo formado (BARROS, 1991).

2. JUSTIFICATIVA

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba está inserida na segunda região econômica mais importante do Estado de São Paulo, apresentando uma população de 4 milhões de habitantes e uma elevada concentração de indústrias dos mais diversos tipos (promovendo a geração de efluentes domésticos e industriais, respectivamente), as quais estão principalmente localizadas nas cidades de Campinas, Paulínia, Sumaré e Americana. Deve-se mencionar ainda a extensão das atividades ligadas ao setor agrícola, destacando-se as culturas de cana-de-açúcar, além de outros tipos de produção (citricultura, por exemplo) que fazem uso de fertilizantes e defensivos agrícolas (FARIA & ESPÍNDOLA, 2002; LEITE & ESPÍNDOLA, 2002).

Em consequência do processo de urbanização, industrialização e produção agrícola, diversas alterações vêm sendo observadas em relação aos recursos hídricos, com implicações na disponibilidade de água de melhor qualidade para atender a demanda da região. Uns dos maiores exemplos da degradação ambiental dos recursos hídricos é o rio Atibaia, o qual recebe uma elevada quantidade de efluentes industriais, no trecho que atravessa o pólo petroquímico de Paulínia (PIRACENA, 1996), bem como os efluentes domésticos oriundos das cidades localizadas a montante do reservatório de Salto Grande, além da contribuição expressiva de fontes difusas representadas pelas extensas áreas destinadas ao plantio da cana-de-açúcar, laranja e pastagem, que circundam toda a margem da represa. Assim, o reservatório de Salto Grande, no decorrer dos últimos 30 anos, deixou de ser considerado como pólo turístico do Estado de São Paulo, gerando problemas de ordem social e econômica, devendo-se considerar ainda, devido a eutrofização (pelo aporte acelerado de nitrogênio e fósforo) e seus efeitos (como o aumento da biomassa de plantas aquáticas e cianobactérias), outras consequências, como a perda da diversidade de espécies (ZANATA, 1999; DORNFELD, 2002) e de sistemas de várzea (LOPES-FERREIRA, 2000).

No entanto, a situação se torna ainda mais crítica quando se avalia os diversos metais que são incorporados aos sistemas (rio e reservatório) e seus compartimentos (água, sedimento e biota), juntamente com os efluentes industriais e domésticos. Estudos desenvolvidos pela CETESB (1995) nos programas de monitoramento, por exemplo, têm demonstrado, entre outros metais, que as concentrações de chumbo e

manganês estão acima dos padrões exigidos pelo CONAMA 20/86 para águas de classe 2, o que também tem sido verificado em outros anos por meio de diversos projetos de pesquisa desenvolvidos na área acadêmica, como MELETTI (1997), ESPINDOLA et al. (1998), MORAES (1998), TONISSI (1999), DORNFELD (2002), BOTTA-PASCHOAL (2002) e FARIA (2002), os quais avaliaram a contaminação do rio Atibaia e do reservatório de Salto Grande em relação à água, sedimento e comunidades (plâncton, peixes, macrófitas e bentos).

TONISSI (1999), por exemplo, avaliando a concentração de metais no sedimento do reservatório de Salto Grande entre maio de 1998 e março de 1999 determinou concentrações elevadas de Ca ($3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), Cr ($30,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), Cu ($146,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), Ni ($23,25 \text{ mg.kg}^{-1}$), Pb ($17,25 \text{ mg.kg}^{-1}$) e Zn ($392,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), o que, segundo a CETESB (1985), caracteriza um ambiente altamente poluído em relação a Zn e Cu, e mediantemente poluído em relação a Cr. O grau de toxicidade do reservatório de Salto Grande também foi avaliado por TONISSI (op.cit.) em bioensaios de toxicidade *in situ* com *Danio rerio* (peixe), verificando-se indícios de toxicidade (entre 30 – 50% de mortalidade) e toxicidade (>50% de mortalidade) no rio Atibaia e na porção superior do reservatório de Salto Grande, nos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

Os estudos de toxicidade com *Daphnia similis* (Crustacea, Cladocera) desenvolvidos por DORNFELD (2002) com amostras de sedimento, também demonstraram indícios de toxicidade (entre 30 – 50% de mortalidade) em todas as estações de coleta no Reservatório de Salto Grande e toxicidade (>50% de mortalidade) nas estações mais próximas à barragem. A autora ainda determinou os teores de metais em organismos bentônicos, verificando que muitos dos gêneros (ou espécies) apresentavam conteúdos elevados, configurando uma bioacumulação, o que também foi observado por TONISSI (1999) nas espécies de peixes carnívoras, herbívoras ou onívoras.

Com relação as macrófitas aquáticas do Reservatório de Salto Grande, as concentrações de metais obtidas para as espécies *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* (plantas flutuantes) foram de 61990,0 e 19894,4 mg.kg^{-1} para Fe; 467,0 e 1082,0 mg.kg^{-1} para Zn; 57,0 e 80,0 mg.kg^{-1} para Cr e 201,0 e 229,0 mg.kg^{-1} para Pb, respectivamente (MORAES, 1998). Estudos posteriores desenvolvidos por FARIA (2002) incluíram a espécie *Brachiaria arrecta* (planta enraizada), além de *E.*

crassipes e *P. stratiotes*, verificando-se concentração e estoque elevados para diversos metais, como Fe, Ca, Cu, Pb, Mg, Mn, Cr, Zn e Ni, o que evidencia a eficiência das plantas em estocar diversos elementos bem como a inviabilidade da utilização das plantas como fonte de nutrição animal ou adubo nas culturas. Deve-se mencionar ainda o efeito do processo de decomposição dessas plantas, o qual promove a liberação e retorno dos metais ao sistema.

Outro aspecto importante é que embora alguns metais não apresentem concentrações críticas em relação aos padrões estabelecidos pela legislação vigente (Resolução CONAMA 20/86), existe a tendência de adsorção destes em partículas e sua posterior sedimentação (processo comum e acentuado em reservatórios em função da mudança de regime lótico para lântico), contribuindo para a contaminação do sedimento e sua biota. No entanto, essas substâncias poderão ser disponibilizadas para a coluna d'água se algumas mudanças, como diminuição do pH ou do potencial redox, ocorrerem neste sistema, ocasionando diversos efeitos à biota. FRACÁCIO (2001) avaliou experimentalmente a liberação de diversos metais a coluna d'água em bioensaios de toxicidade com *Danio rerio* (peixes) e amostras de sedimento do rio Tietê (SP), verificando-se não somente a toxicidade aguda (mortalidade de 50% dos organismos em 48 horas) mas também a toxicidade crônica-parcial (em alguma fase de desenvolvimento), com efeito no crescimento (comprimento e biomassa) e alterações em nível celular.

Considerando-se os diversos estudos que já foram desenvolvidos no rio Atibaia e no reservatório de Salto Grande, torna-se eminente, entre outros aspectos ainda não compreendidos, avaliar a distribuição de metais nos compartimentos água, sedimento e comunidade planctônica, procurando-se determinar o aporte e a taxa de sedimentação de metais para compreender, a partir da análise conjunta de todos os dados pretéritos e atuais, os efeitos e os riscos à saúde do ecossistema (incluindo o homem), gerando subsídios para a formulação e implementação de programas de recuperação do reservatório.

Nesse sentido, a hipótese do trabalho é que ocorra uma redução das concentrações de metais ao longo do reservatório, com uma melhoria da qualidade de água à jusante. No entanto esse aporte e sedimentação poderá potencializar a bioacumulação dos metais para as comunidades aquáticas existentes.

3. OBJETIVOS

Neste trabalho, desenvolveu-se um estudo no Reservatório de Salto Grande, visando atingir os seguintes objetivos:

1) Determinar a concentração dos metais Fe, Mn, Zn, Cu, Cd e Cr na água, no material sedimentado, no sedimento e em organismos planctônicos, em diferentes compartimentos do reservatório (4 estações de coleta) e estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), avaliando a distribuição destes elementos dentro de cada compartimento em períodos distintos;

2) Avaliar a taxa de sedimentação dos metais em cada estação de coleta, quantificando os elementos mais abundantes, comparando esses dados com aqueles obtidos nas amostras de sedimento;

3) Determinar, por meio da análise de metais contidos nos organismos, os elementos potencialmente biodisponíveis para a biota aquática, possibilitando a bioacumulação desses metais pela cadeia trófica;

4) Identificar e quantificar, por meio da datação das amostras de sedimento com Pb^{210} e pela correlação com a concentração de metais em diferentes profundidades (perfil de sedimento), os períodos e a magnitude dos impactos no sistema em estudo.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

O Reservatório de Salto Grande localiza-se no município de Americana - SP, entre as coordenadas 22° 44'S e 47° 15'W, numa altitude de 530 m, estando inserido na sub-bacia do rio Atibaia, a qual pertence à bacia hidrográfica do rio Piracicaba. O reservatório localiza-se em uma região com elevada densidade demográfica, altamente industrializada e com intensa atividade agrícola, ocasionando uma demanda de água estimada em 9,31 m³/s (11,88 m³.s⁻¹ no ano 2000) para a sub-bacia do Atibaia (Figura 1).

A área da bacia hidrográfica desta represa é de 2770,0 km² e o seu maior afluente é o rio Atibaia, que possui uma vazão média de 38,10 m³.s⁻¹. O reservatório apresenta uma profundidade média de 8,00 m, com seu valor máximo em torno de 19,80 m. A área inundada mínima é de 10,55 km² e a área máxima de inundação é de 13,25 km². O comprimento do reservatório é de 17,00 km, com perímetro de 64,00 km, volume máximo de 106 x 10⁶ m³ e tempo de retenção médio da água de 30 dias.

Quando a Usina Hidrelétrica de Americana entrou em funcionamento no ano de 1949, esta tinha por objetivo principal a geração de energia elétrica, com potência instalada de 30 MW. Com o decorrer dos anos, várias outras atividades foram incorporando-se à represa, como o abastecimento de cidades como Sumaré, irrigação de culturas e recreação, sendo que a Usina Hidrelétrica atualmente está operando também para a regulação da vazão na bacia do rio Piracicaba em épocas de cheias e períodos de estiagem. Devido aos processos de assoreamento, proliferação da biomassa de plantas aquáticas e algas, aporte de substâncias tóxicas, entre outros impactos, diversos usos foram minimizados, incluindo a redução da produção de energia e a recreação de contato primário, implicando na desvalorização econômica da infraestrutura construída na década de 70 (LEITE & ESPÍNDOLA, 2002).

4.1. Clima

A sub-bacia do rio Atibaia localiza-se no centro leste do Estado de São Paulo, aproximadamente entre os paralelos 22°41' e 23°18' Sul e os meridianos 46°00' e 47°16' Oeste, apresentando, segundo a classificação climática de KÖPEN, um clima Cfb no trecho superior da bacia, delimitado pelas micro-bacias do Atibainha e Cachoeira, isto é, temperado brando, sem estação seca e com verão suave, e nos

Figura 1: Localização do reservatório de Salto Grande na bacia do rio Piracicaba (PERFIL AMBIENTAL, 1999).

trechos médio e inferior apresenta um clima Cwa, temperado brando com inverno seco e verão quente. Com relação à temperatura, a média anual varia de 18 a 20°C nos trechos superior e inferior da bacia, respectivamente. Segundo COELHO (1993), os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentam as temperaturas mais elevadas e as maiores precipitações e os meses de junho, julho e agosto são os que apresentam menores temperaturas e menores precipitações, encontrando-se os maiores valores no trecho superior (1500 mm.ano⁻¹) e os menores valores no trecho inferior (1300 mm.ano⁻¹).

4.2. Vegetação

A vegetação primitiva predominante da Depressão Periférica era constituída basicamente pelas Florestas Mesófilas Semi Decíduas e pelos Cerrados, a qual, atualmente, está restrita apenas a fragmentos de mata ou manchas isoladas em algumas áreas (GOBBO, 1991). Na região de entorno do reservatório, observa-se em ambas as margens extensas área de cultivo de cana-de-açúcar, pastagem (na entrada do reservatório), cultura de laranja e somente em uma pequena área na margem direita é verificada a presença de um reduzido fragmento remanescente de mata secundária, sendo que praticamente toda a vegetação primitiva existente no local foi extinta.

4.3. Geologia

Inserindo-se dentro da bacia sedimentar do Paraná, a área do Reservatório de Salto Grande apresenta rochas sedimentares da era Paleozóica, do grupo Tubarão, subgrupo Itararé (Pci), que consiste em arenitos finos e grosseiros, siltitos, lamitos, diamictitos e ritimitos, cores amarelo, vermelho e cinza, resultante de condições diversas de transporte e deposição como glaciais, canais fluviais, marinhos e lacustres (ATLAS NACIONAL DO BRASIL, 1992), sendo sua constituição quase inteiramente de sedimentos clásticos, podendo ocorrer localmente camadas de carvão e calcário na formação.

O rio Atibaia atravessa ao longo de seu percurso rochas granitizadas, granitos, gnaisses embrechíticos do grupo Amparo, predominando no médio e baixo Atibaia depósitos aluviais, areias, argilas e conglomerados na base (SÃO PAULO (ESTADO) MAPA GEOLÓGICO - UNESP, 1982).

4.4. Geomorfologia

O Reservatório de Salto Grande localiza-se na Depressão Periférica Paulista, na Zona do Médio Tietê, que corresponde à faixa de ocorrência das seqüências sedimentares infrabasálticas paleozóicas e mesozóicas do Estado de São Paulo, com o relevo dominado por colinas amplas, predominando interflúvios com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, amplitudes locais inferiores a 100 metros, vertentes com perfis convexos a retilíneos, drenagem de média a baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes (SÃO PAULO (ESTADO) MAPA GEOMORFOLÓGICO, 1981).

Os processos erosivos podem ocorrer em áreas localizadas, principalmente devido ao escoamento concentrado, provocando o aparecimento de sulcos e ravinas, proveniente da retirada da vegetação natural (COELHO, 1993).

4.5. Tipos de solo, uso e ocupação na área de entorno do reservatório

Os tipos de solos do entorno do reservatório podem ser classificados de forma diferenciada em cada uma de suas margens. Na margem direita, no início do reservatório, aparece o solo do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo, seguido da Terra Roxa Estruturada, uma pequena faixa de solos Litólicos e uma grande área de Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo que próximo à barragem tem-se novamente a Terra Roxa Estruturada. Na margem esquerda ocorre o predomínio do solo do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo, com pequenas faixas de Terra Roxa Estruturada e Latossolo Vermelho-Escuro (SÃO PAULO (ESTADO) LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO DOS SOLOS, 1977).

De maneira geral, os solos mais férteis encontram-se na margem direita, mas não em toda extensão, predominando ao longo do reservatório solos de baixa produtividade, com grau de predisposição à erosão variando de forte a muito forte, com planaltos e tabuleiros contendo solos permeáveis sujeitos à erosão em sulcos profundos, sob diversos tipos de clima (ATLAS NACIONAL DO BRASIL, 1992).

Na área de entorno do reservatório, principalmente na margem direita, observa-se a predominância da cultura da cana-de-açúcar (22,0 km²), muitas vezes chegando à margem do reservatório, com faixas de culturas perenes e pastagens (47,0 km²) e poucas áreas de remanescentes florestais, com capoeiras e matas secundárias (11,0

km²), sem a função de vegetação ciliar. Na margem esquerda, nota-se a presença de áreas urbanas (8,0 km²), como os bairros da Praia Azul e Praia dos Namorados, além de casas de veraneio e íte-clubes, áreas de pastagem e de plantio de cana-de-açúcar (LEITE, 1998). Deve-se mencionar que os plantios atingem as margens do reservatório, embora algumas pequenas áreas estejam em processo natural de recuperação em função do abandono do cultivo frente aos manifestos da população local e dos movimentos das Organizações Não Governamentais (ONGs).

Com relação à capacidade de uso das terras, a área do Reservatório de Salto Grande insere-se na Classe IV, apresentando terras com declives já acentuados (12-20%), não devendo ser utilizadas continuamente com culturas anuais. As culturas perenes e pastagens são mais apropriadas, podendo ser cultivadas ocasionalmente, adotando-se práticas intensivas de conservação (SÃO PAULO (ESTADO). CARTA DE UTILIZAÇÃO DA TERRA, 1980).

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foram efetuadas coletas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2000, correspondendo aos períodos seco, chuvoso e intermediários.

As estações de coleta foram definidas em função da morfometria do reservatório (Figura 2), além dos resultados de estudos anteriores desenvolvidos por LEITE (1998), permitindo que fossem selecionadas 4 estações de coleta, as quais foram georreferenciadas (latitude e longitude) por meio de um GPS Trimble Navigator. As coordenadas geográficas de cada estação de coleta foram: **Estação 1** ($22^{\circ}43'46,2''\text{S}$ e $47^{\circ}12'59,4''\text{W}$), **Estação 2** ($22^{\circ}43'29,4''\text{S}$ e $46^{\circ}13'51,3''\text{W}$), **Estação 3** ($22^{\circ}42'58,5''\text{S}$ e $47^{\circ}15'28,1''\text{W}$) e **Estação 4** ($22^{\circ}42'29,6''\text{S}$ e $47^{\circ}15'56,4''\text{W}$).

Figura 2 : Localização do Reservatório de Salto Grande e das 4 estações de coleta (Modificado de LOPES-FERREIRA, et al. 1998).

5.1. Água

5.1.1. Caracterização física e química

Em cada estação de coleta foram obtidos os perfis verticais para pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura da água, utilizando-se um Water - Checker Horiba, modelo U-10. As medidas foram efetuadas a cada 50 cm nos seis metros iniciais (quando possível) e a partir dessa profundidade de 1,0 em 1,0

metro, até próximo ao sedimento. Também foram realizadas medidas de transparência da água, utilizando um Disco de Secchi, com 30 cm de diâmetro.

As amostras de água para as análises de nutrientes, material em suspensão, metais e de substâncias húmicas foram coletadas em cada estação com auxílio de uma garrafa do tipo Van Dorn, sendo padronizadas as profundidades de 30 e 70% da profundidade local, para posterior comparação com o material depositado nas câmaras de sedimentação, as quais foram dispostas nas mesmas profundidades.

5.1.2. Nutrientes totais e dissolvidos

Para as determinações das concentrações de nutrientes dissolvidos, as amostras de água foram filtradas em membranas do tipo GF/C, *Whatman*, com 0,45 µm de porosidade, sendo posteriormente congeladas para a análise em laboratório, para obtenção das seguintes concentrações:

Nitrito: segundo método descrito em GOLTERMAN et al. (1978).

Nitrato: de acordo com o método do corante azóico descrito em MACKERETH et al. (1978).

Amônio: pelo método descrito em KOROLEFF (1976).

Fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico e silicato reativo: conforme metodologia descrita em GOLTERMAN et al. (1978).

5.1.3. Nutrientes totais

As amostras para as determinações das concentrações de nutrientes totais (nitrogênio orgânico e fósforo) foram coletadas e imediatamente congeladas sem filtração prévia. As concentrações de nitrogênio orgânico total foram determinadas pelo método KJELDHAL, descrito em GOLTERMAN et al. (1978), e as de fósforo total segundo APHA (1995).

5.1.4. Material em suspensão

As concentrações de material em suspensão foram determinadas de acordo com o método gravimétrico descrito em TEIXEIRA et al. (1965) e TUNDISI (1969), com modificações baseadas em WETZEL & LIKENS (1991), os quais consideram a temperatura máxima de 60°C, durante 24 horas na estufa, para obtenção da fração orgânica. Com base nas metodologias sugeridas pelos referidos autores,

determinaram-se as concentrações de material em suspensão total e suas frações orgânica e inorgânica. Para tal finalidade as amostras de água foram filtradas em filtros do tipo GF/C *Whatman*, com 0,45 µm de porosidade, previamente calcinados e pesados.

5.1.5. Substâncias húmicas

As amostras de água foram coletadas, congeladas e posteriormente filtradas em membranas de acetato de celulose, sendo a leitura feita em espectrofotômetro a 420 nm, seguindo as recomendações de BRAYNER (1998).

5.1.6. Metais

As amostras de água coletadas foram armazenadas em garrafas plásticas de 1000 mL, previamente esterilizadas e lavadas com HNO₃ para evitar contaminação.

Segundo metodologia da APHA (1995) para as determinações das concentrações de metais totais, as amostras de água coletadas não foram filtradas, sendo preservadas pela adição de HNO₃ (1,5 mL/L). Posteriormente efetuou-se a digestão ácida (HNO₃) e a posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, Modelo VARIAN - SpectrAA 220. Os metais-traço foram analisados em espectrofotômetro de forno de grafite, Modelo VARIAN GTA 110.

5.2. Sedimento

Para as determinações de nitrogênio orgânico total, fósforo total, metais totais, metais biodisponíveis (ou fracamente ligados) e água intersticial, as amostras de sedimento foram coletadas em quadruplicata, em cada estação de coleta, utilizando-se um coletor do tipo perfilador (“testemunho”), de acrílico, com 50,0 cm de comprimento e 7,0 cm de diâmetro. As amostras foram retiradas de 5,0 em 5,0 cm, sendo posteriormente acondicionadas em potes plásticos para análises futuras. As amostras para água intersticial foram acondicionadas em sacos plásticos com vedação, para posterior processamento do material.

As amostras de sedimento para análise da granulometria e conteúdo de matéria orgânica foram coletadas, em quadruplicata, com draga do tipo Eckman-Birge, com posterior acondicionamento em sacos plásticos até a análise.

5.2.1. Nitrogênio orgânico total e fósforo total

As amostras de sedimento foram secas a 60°C, sendo posteriormente determinadas as concentrações de nitrogênio orgânico total, pelo método KJELDHAL, descrito em GOLTERMAN et al. (1978), e de fósforo total, segundo a metodologia apresentada por ANDERSEN (1976).

5.2.2. Metais totais

Para as determinações das concentrações de metais totais no sedimento, as amostras foram previamente secas a 60°C, até peso constante, para posterior dissolução em uma combinação dos ácidos nítrico e perclórico, com posterior adição de H₂O₂ para dissolução completa de compostos orgânicos (KRUG, 1996).

5.2.3. Metais potencialmente biodisponíveis

Para as determinações das concentrações de metais biodisponíveis (ou fracamente ligados), seguiu-se a metodologia descrita em SILVÉRIO (1999), a qual recomenda a utilização de HCl 0,1M na proporção de 1 g de sedimento para 25 mL de ácido. Essa digestão branda permite a liberação dos metais associados à fase orgânica e inorgânica do sedimento, conforme descrito em ESTEVES (1981), ocasionando um ataque mínimo à matriz geológica. A solução remanescente foi filtrada em membrana qualitativa, sendo analisada em espectrofotômetro de absorção atômica (Modelo VARIAN - SpectrAA 220) ou forno de grafite (Modelo VARIAN GTA 110) para metais-traço.

5.2.4. Metais na água intersticial

Para a obtenção da água intersticial, 200g de sedimento foram centrifugadas em uma centrífuga de raio efetivo de 20 cm, a 2500 rpm, durante 10 minutos, seguindo as recomendações de WHITAKER (1993). O líquido sobrenadante foi preservado com HNO₃ suprapuro, para posterior leitura no espectrofotômetro de forno de grafite (Modelo VARIAN GTA 110).

5.2.5. Granulometria

A determinação granulométrica das amostras de sedimento foi baseada na metodologia descrita pela ABNT (1968) - Análise Granulométrica de Solos (Método Brasileiro), obtendo-se as frações areia, silte e argila.

5.2.6. Matéria orgânica no sedimento

Para a determinação da matéria orgânica no sedimento utilizou-se a metodologia descrita em FONSECA (1997). Para tanto, foram pesados 10g de sedimento em um cadinho, os quais foram secos à 100°C, por um período de 24 horas, em estufa. Posteriormente, as amostras de sedimento foram levadas a mufla por 1 hora, à temperatura de 600 °C, para a pesagem final e determinação do conteúdo de matéria orgânica.

5.2.7. Datação

Para efetuar a datação do sedimento, amostras foram coletadas com o amostrados do tipo “core”, de 50 cm de comprimento, sendo o perfil obtido fatiado de 5 em 5 cm. Posteriormente, cada fatia foi embalada em sacos plástico “zip-lock” e armazenada para posterior determinação da umidade e da massa de sólidos. Após a primeira fase, realizou-se a análise radiométrica pela metodologia do ^{210}Pb atmosférico e ^{226}Ra , como descrito em CAZOTTI (2002).

5.3. Taxa de Sedimentação

As determinações das taxas de sedimentação de metais, material em suspensão, foram obtidas por meio da montagem de dois conjuntos de câmaras de sedimentação em cada estação de coleta, composto por 4 câmaras, sendo estas de PVC, com 5 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento (relação comprimento/diâmetro 10:1), conforme apresentado na Figura 3, seguindo as recomendações de BLOESCH (1994). As câmaras de sedimentação foram preenchidas com água destilada, sendo dispostas na coluna d'água a 30% e 70% da profundidade em cada estação de coleta, por um período de 24 horas (LEITE, 1998).

As taxas de sedimentação foram determinadas utilizando-se a seguinte equação:

$$T.S. = \frac{V_c \times C}{A_c \times T}$$

Onde:

V_c = volume das câmaras de sedimentação (0,98 L)

C = concentração de material em suspensão dentro das câmaras (mg.L^{-1})

A_c = área da superfície de abertura da câmara de sedimentação ($19,63 \text{ cm}^2$)

T = tempo em dias

Figura 3: Esquema das câmaras de sedimentação usada no presente estudo, na relação comprimento/diâmetro 10:1.

5.3.1. Metais

Para a determinação da concentração de metais depositados nas câmaras de sedimentação, utilizou-se a mesma metodologia aplicada para a determinação de metais na água (**Item 5.2.2**), sendo que o material coletado dentro das câmaras foi homogeneizado, colocado dentro de frascos de 1000 mL e acidificado com HNO_3 concentrado (1,5 mL de HNO_3 /L de amostra), para posterior digestão seguindo as recomendações de APHA (1995). A leitura foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica.

5.3.2. Nutrientes totais e dissolvidos

Após a homogeneização do material coletado nas câmaras de sedimentação, este foi posteriormente filtrado (para determinações das concentrações de nutrientes dissolvidos) e congelado, sendo uma alíquota de 250 mL separada previamente (antes da filtração) para as determinações das concentrações de nutrientes totais. As metodologias utilizadas para ambas as análises (nutrientes totais e dissolvidos) encontram-se descritas nos **itens 5.1.2 e 5.1.3**.

5.3.3. Substâncias húmicas

As determinações das substâncias húmicas nas amostras de água proveniente das câmaras de sedimentação seguiram a mesma metodologia descrita no **item 5.1.5** (Substância húmica em amostras de água).

5.3.4. Material em suspensão

As amostras de água retiradas das câmaras de sedimentação após 24 horas foram homogeneizadas e filtradas para as determinações das concentrações de material em suspensão, seguindo a mesma metodologia descrita no **item 5.1.4** (Material em suspensão na água).

5.4. Metais nos organismos planctônicos

Os organismos planctônicos foram coletados através de redes de coleta de plâncton, com 20 µm de abertura de malha, filtrando-se um volume de 300 litros de água para posterior concentração do material até a obtenção de quantidade (biomassa) suficiente de organismos para a análise da concentração de metais.

As amostras com os organismos planctônicos (com tamanho acima de 20 µm) foram acidificadas com HNO₃ para preservação, logo após a coleta. Para a determinação da concentração de metais efetuou-se a digestão da amostra com HNO₃ concentrado e, posteriormente, a leitura foi efetuada em espectrofotômetro de absorção atômica (VARIAN Spectr AA 220), seguindo as recomendações de APHA (1995).

5.5 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos nas análises de metais na água, sedimento e organismos, material sedimentado, material em suspensão (e as frações orgânica e inorgânica), nutrientes totais e dissolvidos, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura da água foram relacionados com os meses amostrados, as estações de coleta e o perfil do sedimento, utilizando a análise estatística ANOVA “Two Way”.

Posteriormente, realizou-se o Teste de “Tukey” ($p > 0,05$) para determinação dos meses, estações de coleta e perfis que apresentaram as diferenças significativas.

As análises para água, câmaras de sedimentação, água intersticial e sedimento foram agrupadas (Cluster), utilizando-se o “Software” FITOPAC, determinando quais meses e estações de coleta apresentaram as menores distâncias.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise e discussão dos resultados obtidos no presente trabalho, optou-se pela apresentação em temas gerais incluindo a caracterização física e química dos compartimentos avaliados (água, sedimento e comunidade planctônica) e a taxa de sedimentação de materiais no reservatório de Salto Grande em diferentes estações (4) e períodos de coleta (fevereiro, maio, agosto e novembro de 2000).

Alguns resultados obtidos não serão apresentados, como os valores de oxigênio dissolvido obtidos em fevereiro de 2000, devido a problemas no Multisensor Modelo HORIBA U-10, o que inviabilizou a obtenção desta medida. Outro fato a ser mencionado relaciona-se à perda de câmaras de sedimentação da estação 4, profundidade de 30%, o que ocorreu em função do arraste ocasionado pelos bancos de macrófitas aquáticas. As macrófitas aquáticas (constituídas por *Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) ocupam uma área aproximada de 10% no reservatório e, dependendo da ação do vento, percorrem o reservatório no sentido da barragem – rio Atibaia, promovendo o arraste das câmaras de sedimentação e perda do material coletado.

Devido a problemas operacionais (danificação da rede de coleta do plâncton), as amostras de organismos planctônicos também não puderam ser coletadas em fevereiro de 2000, sendo coletadas somente nos meses de maio, agosto, novembro de 2000 e fevereiro de 2001 (para completar os quatro períodos de avaliação).

Deve-se ressaltar ainda que os resultados foram tratados, em algumas análises, antes e após o período de instalação das câmaras de sedimentação (24 horas). Assim, para facilitar a análise dos dados obtidos, os valores iniciais foram padronizados e estão sendo apresentados com as letras **S e F** (superfície e fundo, respectivamente), enquanto os valores obtidos após 24 horas serão apresentados como **30% e 70%** (superfície e fundo, respectivamente) da profundidade total da estação de coleta. Todos os resultados obtidos também constam nos Anexos, uma vez que em vários capítulos foram apresentados apenas como valores médios.

6.1. Caracterização limnológica no reservatório de Salto Grande.

6.1.1. pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura

Os valores de pH são apresentados na Figura 4, correspondendo aos perfis

iniciais e finais obtidos em cada estação e período de coleta.

Em geral, os valores de pH estiveram compreendidos entre 6,0 e 8,0. Em novembro, no entanto, se obteve o valor de pH mais elevado em todas as estações de coleta, principalmente nas estações 2 e 4 (superiores a 8,0). Verifica-se, durante o período de estudo, um aumento nos valores de pH (entre 6,0 e 7,0 em fevereiro para 7,0 e 9,0 em novembro de 2000), principalmente nas estações de coleta 2, 3 e 4, embora esses valores não caracterizem variações significativas no período de 24 horas, exceto em maio/2000, estação 2, ocorrendo um aumento de 7,06 para 8,25, bem como em novembro de 2000 (8,35 para 9,25), nesta mesma estação de coleta, correspondendo, respectivamente, ao início e final do experimento. Esse fato também foi observado nas concentrações de oxigênio dissolvido, verificando aumentos no período de 24 horas, principalmente nos meses de maio e novembro de 2000, o que pode ser explicado pela presença de florações de cianobactérias (principalmente dos gêneros *Microcystis* sp. e *Anabaena* sp.), contribuindo para um aumento na concentração de oxigênio dissolvido e decréscimo da concentração de CO₂, fazendo com que o equilíbrio fosse deslocado em direção ao bicarbonato, elevando o pH bruscamente, como mencionado por GOLDMAN & HORNE (1983).

Situação semelhante também é observada quando se avalia os perfis verticais obtidos, verificando-se gradientes acentuados em algumas estações e período de coleta, demonstrando o efeito da biomassa algal e decomposição da matéria orgânica no aumento de pH na superfície, com redução em camadas mais profundas.

Considerando-se ainda os valores iniciais e finais obtidos, pode-se avaliar a dinâmica do reservatório, como no mês de novembro de 2000, com aumento de pH nas estações 2, 3 e 4. Tal fato evidencia a magnitude das respostas das comunidades biológicas frente aos fatores de estresse presentes no sistema. Nesta situação, a elevada produção algal em curtos intervalos de tempo pode ter sido fator determinante na reestruturação do sistema. Este fator também deve ter sido responsável para que mudanças sutis nas populações ocorram em intervalos de tempo menores do que aqueles considerados nos estudos ambientais (levando-se em conta o tempo de geração dos organismos e objetivos do trabalho), demonstrando a necessidade de estudos em escalas de tempo mais reduzidas.

Figura 4: Perfis verticais de pH obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de pH obtidos no reservatório de Salto Grande entre 1969 e 1979 (CARVALHO, 1979 e GIANESELLA-GALVÃO, 1981) e o presente estudo, verificando o aumento progressivo de pH nas últimas décadas, o que pode ser uma consequência do processo de eutrofização (aporte de nitrogênio e fósforo), com aumento da biomassa vegetal.

Tabela 1: Variação temporal de pH no reservatório de Salto Grande (Americana-SP).

ANO	Estação 2		Estação 3		Estação 4	
	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo	Superfície	Fundo
1969*	5,0	5,5	5,5	5,5	5,0	6,0
1970*	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
1971*	6,0	6,0	6,5	6,5	6,0	6,0
1972*	6,0	6,5	6,0	6,0	6,5	6,5
1973*	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
1974*	6,5	6,0	6,0	6,0	6,5	6,0
1979**	7,9	7,0	-	-	-	-
1996***	6,6	6,4	6,9	6,5	6,9	6,6
2000****	7,2	6,4	7,0	6,6	7,0	6,5

* CARVALHO (1979), ** GIANESELLA-GALVÃO (1981), *** RIOS (1999) e **** presente estudo.

Em relação à condutividade (Figura 5), verificaram-se principalmente diferenças sazonais, com os menores valores registrados nos meses de fevereiro e maio de 2000 (entre 50,0 e 150,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), sendo que as variações entre as estações de coleta não foram significativas, mostrando uma maior e aparente homogeneidade no reservatório. Nos meses de agosto e novembro de 2000, registrou-se um aumento nos valores de condutividade, com o valor máximo obtido no mês de novembro de 2000, nas estações de coleta 1 (390,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) e 2 (395,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$).

De forma semelhante ao observado para os valores de pH, verifica-se que não existem diferenças acentuadas entre os valores iniciais e finais (24 horas de experimento) de condutividade nos meses de fevereiro (entre 100,0 e 120,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) e maio (entre 50,0 e 70,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), porém, diferenças mais acentuadas são encontradas quando se analisa os resultados obtidos em agosto e novembro de 2000. Em agosto de 2000, por exemplo, os valores de condutividade obtidos na estação 1 estiveram entre 380,0 (inicial) e 440,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (final) e em novembro, na mesma estação, verificou-se uma variação de 390,0 a 550,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (inicial e final, respectivamente).

Figura 5: Perfis verticais de condutividade obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.

É importante reconhecer a variação que existe em um intervalo de 24 horas, o que pode demonstrar os efeitos das adições de material trazidos pelo rio Atibaia, as quais tem como fonte originária o esgoto doméstico *in natura*, além do industrial, trazido pelo principal afluente. Conforme dados da CETESB (1991), este processo está ocorrendo desde o início da década de 70, tornando a água do reservatório de Salto Grande inadequada para o abastecimento público passando por tratamento convencional.

Os dados de condutividade obtidos por GIANESELLA-GALVÃO (1981), comparados aos atuais, demonstram a deposição de materiais ao sistema, verificando-se acentuadas diferenças entre os meses de coleta e entre as décadas de estudo (Tabela 2), principalmente quando se considera os meses de agosto e novembro, períodos que correspondem aos períodos seco (maior tempo de residência da água, maior retenção de nutrientes e aumento da biomassa de algas ou cianobactérias) e chuvoso (maior carreamento de material alóctone devido ao início do período chuvoso), respectivamente, representando, portanto, contribuições de origens internas e externas ao sistema.

Tabela 2: Variação dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) em 1981 e 2000 no reservatório de Salto Grande, segundo GIANESELLA-GALVÃO (1981)* e presente estudo (média)**.

Ano	Fevereiro/Março	Mai	Agosto	Novembro
1979*	130,0	120,0	185	150
Presente estudo	110,0	60,0	400,0	450,0

Deve-se considerar ainda as diferenças obtidas nos perfis verticais, nos quais verificou-se maior homogeneidade entre superfície e fundo na maioria dos períodos de coleta, mas também diferenças acentuadas, como as obtidas nas estações 1 (redução de 550,0 para 400,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) e 2 (aumento de 330,0 para 400,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), no mês de novembro de 2000.

Em relação a outros reservatórios, os valores obtidos no reservatório de Salto Grande mostram-se extremamente elevados. Nas represas do Médio e Baixo rio Tietê, por exemplo, FRACÁCIO (2001) obteve os máximos valores de condutividade nos reservatórios de Barra Bonita (239,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), Barriri (219,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) e Ibitinga (169,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), os quais são reservatórios caracterizados como eutróficos. Quando comparados a sistemas oligo-mesotróficos, como o reservatório

do Lobo (Broa), em Itirapina/Brotas, SP, as diferenças são mais acentuadas, registrando-se neste sistema valores de condutividade geralmente abaixo de $20,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (LEITE & ESPÍNDOLA, 2002). FRACÁCIO et al. (2002) também mencionam valores de condutividade mais baixos no reservatório de Três Irmãos ($48,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$), em julho de 2000, sendo este o último sistema da seqüência de reservatórios construída no rio Tietê (SP).

Os perfis de oxigênio dissolvido são apresentados na Figura 6, exceto os perfis obtidos em fevereiro de 2000, cujos valores foram descartados devido a problemas no aparelho de medição (HORIBA U-10). Pelos dados apresentados, verifica-se que na estação 1 (entrada do rio Atibaia) foram obtidos sempre os menores valores de oxigênio dissolvido (concentrações abaixo de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo normalmente abaixo de $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$), o que pode estar relacionado a elevada carga orgânica oriunda de efluentes domésticos trazidos pelo rio Atibaia, aumentando a demanda bioquímica de oxigênio.

As concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido (geralmente acima de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na superfície) foram verificadas nas estações de coleta mais distantes da entrada do reservatório (estações 2, 3 e 4), o que pode ser explicado pelas “florações” de cianobactérias que ocorrem principalmente nos períodos de menor pluviosidade e áreas com maior transparência da água. Verificou-se, ainda, que os valores de oxigênio dissolvido tenderam a um aumento em agosto de 2000 (acima de $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$), período em que normalmente se observam as freqüentes florações de algas (MINOTI, 1999).

Considerando-se o intervalo de 24 horas, observa-se a ocorrência de variações acentuadas nas concentrações superficiais de oxigênio: em agosto de 2000 foi obtida uma redução de oxigênio de 65,0% na estação 1 e de 36,0% na estação 2, sendo que em novembro de 2000 verificaram-se aumentos nas concentrações de oxigênio nas estações de coleta 2 (18,0 %) e 4 (42,0 %), com valores próximos a $14,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na superfície da estação de coleta 4.

Figura 6: Perfis verticais de oxigênio dissolvido obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo.

Embora esses valores tenham sido obtidos em horários com cerca de 2 horas de diferença, tal fato ilustra a dinâmica do sistema em curtos intervalos de tempo, o que pode estar associado às causas de origem natural (como vento e precipitação) ou antrópica (aporte de material e mecanismos de funcionamento da barragem), interferindo nos processos de produção do sistema.

Outro fato a ser salientado é que em todos os meses amostrados verificou-se a formação de camadas anóxicas, principalmente nos meses de agosto e novembro de 2000, com oxiclina caracterizadas por valores elevados na superfície ou subsuperfície e um decaimento acentuado entre 1 e 3 metros de profundidade. Em todas as estações de coleta normalmente foram obtidos decréscimos de oxigênio próximos a 70% do valor obtido na superfície. Segundo WETZEL (1981), tal fato é o resultado de processos oxidativos no hipolímnio devido à elevada quantidade de matéria orgânica presente no fundo do lago, matéria orgânica esta proveniente não apenas dos tributários (produção alóctone) mas também decorrente da produção interna (autóctone) do sistema (principalmente pela biomassa algal e de macrófitas). Há que se considerar ainda que a elevada carga de nutrientes que entra no reservatório, é parcialmente utilizada pelas comunidades biológicas e também fica depositada no sedimento, sendo disponibilizada à coluna d'água a partir de funções de força física, química e biológica. A produção de matéria orgânica do sistema a partir da transformação de energia contribui também para o excesso de material que deverá ser consumido ao longo da cadeia trófica, contribuindo para a diversificação de rotas alimentares (herbivoria ou detritívora) neste sistema.

Os perfis de temperatura (Figura 7) obtidos sugerem que neste ambiente não ocorrem variações temporais (período de 24 horas) e espaciais acentuadas. Verifica-se, contudo, que o padrão térmico do reservatório é complexo e sem uma sazonalidade definida, como foi constatado por FROELICH et al. (1978) e como pode ser demonstrado pela presença de termoclinas, principalmente nos meses de agosto e novembro de 2000. Nos meses de fevereiro e maio de 2000, verifica-se uma maior homogeneização da coluna d'água, ocorrendo uma mistura das camadas mais profundas, sem a formação de um gradiente térmico. Em geral, os valores de temperatura estiveram entre 25,0 e 27,0 °C em fevereiro de 2000, entre 23,0 e 26,0 °C em maio de 2000, entre 18,0 e 21,0 °C em agosto de 2000 e entre 24,0 e 29,0 °C

Figura 7: Perfis verticais de temperatura da água obtidos no início e final dos experimentos de sedimentação durante o período de estudo

em novembro de 2000, considerando todas as estações de amostragem em cada mês de coleta.

Quanto aos valores obtidos na superfície e nos estratos mais próximos ao sedimento, as diferenças estiveram compreendidas entre 1,0 e 4,0 °C, em fevereiro e novembro de 2000, respectivamente, sendo mais acentuado nas estações de coleta 2, 3 e 4 (o que corresponde as estações de coleta com maior profundidade: 10, 7 e 10 metros, respectivamente).

Verificou-se, ainda, um gradiente de temperatura, embora não acentuado, no sentido longitudinal do reservatório (sentido rio Atibaia – Barragem), com os valores mais elevados ocorrendo em novembro de 2000, nas estações 3 (27,0°C) e 4 (29,0°C), próximas à barragem, com uma diferença de 2,0 °C em relação à temperatura superficial da estação 1. RIOS (1999), no mesmo sistema, determinou variações de 1,0 °C entre a estação 1 e 4. Tal fato pode estar associado ao horário de coleta, mas também as características físicas do reservatório, com diferenças de profundidade em relação às estações de coleta, o que permite um maior ou menor resfriamento da água em decorrência da profundidade e também pela distância entre estações em relação a entrada do rio Atibaia, o qual promove a circulação mais rápida das camadas de água, introduzindo ao sistema águas com características físicas, químicas e biológicas diferenciadas quando comparadas ao corpo central do reservatório.

Apesar da aparente homogeneidade física, diferenças de 3,0 °C são suficientes para permitir modificações na estruturação de alguns componentes da biota aquática, uma vez que os níveis de tolerância às mudanças ambientais são menores quando comparados os diferentes organismos entre si. Segundo REYNOLDS (1987)¹ apud CALIJURI (1999), normalmente a composição de espécies fitoplancônicas é influenciada por inúmeros fatores bióticos e abióticos como: mistura da água, luz, temperatura, nutrientes (macro e micro), substâncias tóxicas, microrganismos, parasitas e herbívoros. Tal fato pode ser mais eminente quando se avalia os valores de temperatura obtidos em novembro de 2001, com diferenças de 4°C nas estações 2 e 4.

³ REYNOLDS, C.S. (1987) Community organization in the freshwater plankton. In: GEE, J.H.R. & GILLER, P.S. (eds.). *Organization of communities: past and present*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London. p. 294-325.

Também se devem avaliar as sutis diferenças que ocorrem na coluna d'água quanto à temperatura, como por exemplo, as variações de quase 2,0 °C entre 4 e 6 metros de profundidade na estação 4, indicando massas de água diferenciadas em virtude da saída pelas turbinas ou ressuspensão de água do fundo, formando pequenas barreiras internas entre o epilímnio e hipolímnio, mas também dentro do próprio metalímnio, o que poderia ser comprovado a partir de estudos mais sensíveis de monitoramento ambiental por meio de sensores com registro em escala de tempo diferenciada, estabelecendo-se um conhecimento maior dos processos internos e da dinâmica física do reservatório.

6.1.2. Nutrientes totais, dissolvidos e substâncias húmicas

Na Figura 8 são apresentadas as concentrações iniciais de nitrogênio orgânico e fósforo total, nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2000, verificando-se que os valores iniciais mais elevados de nitrogênio orgânico total ocorreram nos meses de fevereiro (8,49 mg.L⁻¹, na estação 1S) e novembro de 2000 (10,33 mg.L⁻¹, na estação 2F), com uma diminuição da concentração nas estações mais próximas à barragem devido à uma menor influência da carga de esgotos provenientes do rio Atibaia, bem como por uma maior sedimentação e incorporação de material no sentido rio Atibaia – barragem. Estudos anteriores têm demonstrado uma redução de até 70% da carga de material que entra pelo rio Atibaia, como aqueles desenvolvidos por LEITE (1998), RIOS (1999), ZANATA (2000) e LOPES-FERREIRA (2001). Nos meses de maio e agosto, observa-se uma maior homogeneidade entre os valores iniciais de nitrogênio orgânico, com as maiores concentrações sendo observadas na estação 2F (4,28 mg.L⁻¹), em agosto de 2000.

Em relação à concentração de fósforo total, verifica-se que este apresenta um padrão semelhante a do nitrogênio orgânico em agosto e novembro de 2000, verificando-se um gradiente longitudinal no sentido rio Atibaia - barragem e com os maiores valores ocorrendo nas estações 1 e 2. Nos meses de fevereiro e maio de 2000 observam-se distribuições diferenciadas, com concentrações de fósforo similares no primeiro (estações 1 e 2) e segundo compartimento (estações 3 e 4) do reservatório, e um aumento na concentração da estação 2 a 4, com uma concentração máxima de 337,00 µg.L⁻¹ (na estação 2F, maio de 2000).

Os resultados obtidos demonstram que, mesmo no início do período seco, o reservatório de Salto Grande apresenta concentrações de fósforo bem superiores aos

Figura 8: Concentrações iniciais de nitrogênio orgânico total e fósforo total durante o período de estudo (S = 30% e F = 70% da profundidade local).

de outros reservatórios considerados eutróficos ou hipereutróficos, como o da Pampulha, que, segundo BARBOSA (1998), apresentou concentrações de $92 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e seco, respectivamente. Os valores apresentados por FRACÁCIO et al (2002), na sequência de reservatórios em cascata do rio Tietê (SP), também estão abaixo das observadas no presente estudo. Os autores registraram concentrações entre $57,3$ e $121,52 \mu\text{g.L}^{-1}$ na represa de Barra Bonita (a primeira do sistema em cascata) e entre $17,0$ e $39,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ na represa de Três Irmãos (a última do sistema em cascata). TONISSI (1999), em seu estudo no reservatório de Salto Grande, obteve concentrações menores (máximo de $313,0 \mu\text{g.L}^{-1}$) na entrada do reservatório.

A elevada carga de material (nitrogênio e fósforo) aduzida pelo rio Atibaia é, sem dúvida, o maior responsável pela eutrofização do sistema, processo este que teve sua origem a partir da década de 70, com o avanço do setor industrial no interior do

Estado de São Paulo. No entanto, fatores adicionais como a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, juntamente com a expansão da área urbana na área próxima ao reservatório também contribuem para a elevada quantidade de macrófitas aquáticas ao longo de todo o sistema e aumento do processo de eutrofização.

As contribuições de nutrientes decorrentes da decomposição das macrófitas podem ser avaliadas pelo trabalho desenvolvido por FARIA (2002), no reservatório de Salto Grande, no qual o autor registrou teores de $0,0845\mu\text{g/g}$ e $0,42\%$ em *Brachiaria arrecta*; $0,1028\mu\text{g/g}$ e $3,90\%$ em *Eichornnia crassipes* e $0,1138\mu\text{g/g}$ e $4,42\%$ em *Pistia stratiotes*, respectivamente para fósforo e nitrogênio, o que pode ser um fator importante levando-se em conta que esses bancos de macrófitas ocupam expressiva área do reservatório. Resultados semelhantes foram obtidos por MORAES (1998) no mesmo reservatório, demonstrando o potencial das macrófitas aquáticas em assimilar os nutrientes e metais, mas também em liberá-los à coluna d'água pelo processo de decomposição, como mencionado por LOPES-FERREIRA (2000), o que promove a re-introdução destes ao sistema via assimilação pelos organismos produtores.

Considerando o estudo desenvolvido por GIANESELLA-GALVÃO (1981) no reservatório de Salto Grande e os resultados obtidos nesta pesquisa (Tabela 3), pode-se verificar o aumento nas relações N/P entre os anos de 1979 e 2000, onde os valores foram elevados de duas a quatro vezes no ano de 2000, com exceção de maio de 2000.

Tabela 3: Comparação entre as relações N/P no reservatório de Salto Grande.

Anos e meses	1981*				2000 (presente estudo)			
	Março	Maio	Agosto	Dez.	Fev.	Maio	Agosto	Nov.
N/P	7,4	44,5	8,8	29,5	32,0	5,30	27,24	51,09

* GIANESELLA-GALVÃO (1981)

As concentrações de nitrato (Figura 9) não apresentaram grandes variações entre as estações de coleta, com valores próximos a $500,0\mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro de 2000, mais inferiores aos obtidos em novembro de 2000 (máximo de $832,0\mu\text{g.L}^{-1}$ na estação 2 S). Em maio e agosto verificaram-se os valores mais elevados em relação a fevereiro e novembro de 2000, com as maiores concentrações em maio de 2000 ($1298,3\mu\text{g.L}^{-1}$) e agosto de 2000 ($1081,0\mu\text{g.L}^{-1}$) sendo observadas na estação 2 S.

Verifica-se, pela Tabela 4, que as concentrações de nitrato obtidas na década de

70 (entre 169,0 e 475,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$) encontravam-se abaixo das determinadas no presente estudo (entre 500,0 e 1300,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$), demonstrando o elevado aporte de nitrato no reservatório nos últimos 20 anos. As concentrações atuais são próximas àsquelas obtidas por RODGHER (2001) e FRACÁCIO (2001) nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tiete (SP), principalmente no reservatório de Barra Bonita. Segundo os autores, as concentrações de nitrato estiveram entre 630,0 e 1190,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, em fevereiro e maio de 2000, respectivamente, embora concentrações mais elevadas tenham sido obtidas em outubro (2743,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e julho (2049,80 $\mu\text{g.L}^{-1}$) de 2000.

Tabela 4: Concentrações de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) obtidas nas estações de coleta 2, 3 e 4 no reservatório de Salto Grande entre 1969 e 2000.

ANO	Estação 2	Estação 3	Estação 4
1969*	326.0	271.0	319.0
1970*	269.0	240.0	330.0
1971*	443.0	474.0	370.0
1973*	249.0	283.0	314.0
1974*	236.0	248.0	275.0
1979**	169.2	-	-
Presente estudo***	900.0	800.0	750.0

* CARVALHO (1979), ** GIANESSELLA-GALVÃO (1981) e *** presente estudo

Figura 9: Concentrações iniciais de nitrato, amônio e nitrito durante o período de estudo, sendo S = 30% e F = 70% da profundidade de cada estação de coleta.

De maneira oposta ao nitrato, observa-se nos meses de fevereiro e maio de 2000 valores reduzidos de amônio, com um aumento em agosto de 2000 até atingir as concentrações máximas em novembro de 2000 ($1448,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, na estação 1 F), o que pode estar relacionado ao processo de amonificação, decorrente da conversão do nitrato em amônio (GOLDMAN & HORNE, 1983). Deve-se verificar que nos meses de maior concentração do íon amônio, obteve-se uma maior concentração deste nutriente nas estações 1 e 2, demonstrando ocorrer um maior aporte no primeiro compartimento do reservatório e um decaimento ao longo do sistema em direção à barragem, o que também foi observado por ZANATA (2000) no mesmo reservatório.

Comparando os dados do presente estudo com aqueles obtidos na Tabela 5, por CARVALHO (1979) e GIANESELLA-GALVÃO (1981), observa-se um aumento nas concentrações do íon amônio em uma escala temporal, demonstrando que o reservatório apresenta diversas situações ao longo de 20 anos, como anoxia pronunciada no hipolímnio, pH próximo à neutralidade e processos de decomposição (TONISSI, 1999), principalmente nas estações 1 e 2, possibilitando o aumento da concentração desse elemento.

Tabela 5: Comparações entre as concentrações de íon amônio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) ao longo dos anos no reservatório de Salto Grande.

ANO	Estação 2	Estação 3	Estação 4
1969*	331,0	241,0	162,0
1970*	241,0	138,0	66,0
1971*	531,0	315,0	221,0
1973*	793,0	584,0	1.149,0
1974*	732,0	581,0	488,0
1979**	1.181,0	-	-
Presente estudo***	1.100,0	400,0	300,0

* CARVALHO (1979), ** GIANESELLA-GALVÃO (1981) e *** presente estudo.

Deve-se mencionar, no entanto, que mesmo com as baixas concentrações observadas em fevereiro e maio de 2000 (geralmente abaixo de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$), estas ainda foram mais elevadas em relação às obtidas nos reservatórios de Barra Bonita e Bariri (rio Tietê, SP), que atingiram $2,32$ e $2,52 \mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro e $13,0$ e $8,54 \mu\text{g.L}^{-1}$ em maio de 2000, respectivamente (RODGHER, 2001) ou dos

reservatórios do rio São Francisco (Três Marias, Moxotó, Complexo Paulo Afonso I, II, III e IV e Xingó), envolvendo os estados de Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Pernambuco e Alagoas (ESPINDOLA et al., dados não publicados e REIS, 2002), os quais foram similares ou inferiores, dependendo do período e reservatório, aos observados por RODGHER (2001).

Os resultados obtidos para nitrito demonstraram um comportamento semelhante em todos os meses amostrados, com um gradiente de concentração longitudinal em direção à barragem, com os maiores valores sendo observados na estação 1 F ($241,46 \mu\text{g.L}^{-1}$), em maio de 2000. Em geral, as menores concentrações foram obtidas quando as concentrações do íon amônio estavam mais elevadas, atingindo a menor concentração na estação 3S ($73,65 \mu\text{g.L}^{-1}$), em agosto de 2000. Por ser uma forma intermediária entre o nitrato e o amônio, o nitrito pode ser encontrado em baixas concentrações, pois devido às condições redutoras do hipolímnio anóxico ocorre o processo de desnitrificação, reduzindo o nitrito para o íon amônio (WETZEL, 1983).

Na Tabela 6 são apresentados os valores de nitrito obtidos em anos anteriores no reservatório de Salto Grande, verificando-se, de forma semelhante ao observado para as outras formas de nitrogênio (nitrato e amônio), um aumento da concentração de nitrito em um período aproximado de 30 anos, considerando-se os estudos iniciais de CARVALHO (1979) e o atual, embora concentrações mais elevadas (entre 260 e $350 \mu\text{g.L}^{-1}$) tenham sido reportadas em 1971 pelo referido autor.

Tabela 6: Variação na concentração de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$) considerando os resultados obtidos nas estações 2, 3 e 4, por diferentes autores.

ANO	Estação 2	Estação 3	Estação 4
1969*	38,2	24,9	22,5
1970*	89,5	67,2	63,3
1971*	262,0	291,8	342,0
1973*	97,5	95,0	95,0
1974*	95,0	58,0	44,0
1979**	26,3	-	-
Presente estudo***	200,0	100,0	150,0

*CARVALHO (1979), ** GIANESSELLA-GALVÃO (1981) e *** presente estudo.

Em relação ao fósforo, verifica-se pela Figura 10 que as concentrações mais elevadas de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico foram registradas nas estações 1 e 2, demonstrando o efeito do aporte de nutrientes do rio Atibaia no reservatório de Salto Grande. Verifica-se que as maiores concentrações, tanto para fosfato total dissolvido como para fosfato inorgânico, ocorreram em novembro de 2000, com valores de $133,78 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $104,96 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, na estação 1 F. Deve-se mencionar que os maiores valores observados estão relacionados com a precipitação e a entrada por fontes artificiais, como esgotos domésticos e fertilizantes agrícolas, ou naturais, resultante da decomposição de organismos e do intemperismo do solo, por meio das argilas e posterior carreamento pelo escoamento superficial (ESTEVES, 1988).

Figura 10: Concentrações iniciais de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico durante o período de estudo.

Verifica-se, ainda, que os menores valores de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico ocorreram nos meses de maio e agosto de 2000, que geralmente são os meses em que se observa o maior aparecimento de florações de cianobactérias, podendo ser esta uma fonte de retirada de fosfato inorgânico do sistema. Além disso,

correspondem ao período de menor pluviosidade, o que pode contribuir para o menor aporte de nutrientes ao sistema.

Fato semelhante foi observado nos reservatórios de Barra Bonita e Bariri, no sistema Tietê (SP), obtendo-se concentrações de fosfato total dissolvido de 23,65 e 25,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (maio de 2000) e de 7,62 e 4,46 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (julho de 2000), respectivamente, como mencionado por RODGHER (2001).

As variações nas concentrações de fosfato total dissolvido no reservatório de Salto Grande encontram-se na Tabela 7, verificando-se um aumento exponencial entre 1969 e 1971, com tendência a reduções até 1979, segundo os dados obtidos por CARVALHO (1979) e GIANESELLA-GALVÃO (1981) e uma estabilização em 2000 nas estações 3 e 4, embora os valores máximos obtidos na estação 2 e 3 tenham sido similares aqueles de 1971.

Tabela 7: Comparações entre as concentrações de fosfato total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no reservatório de Salto Grande obtidas entre 1969 e 2002.

ANO	Estação 2	Estação 3	Estação 4
1969*	6,0	5,0	5,0
1970*	12,0	15,0	8,0
1971*	117,0	56,0	50,0
1973*	87,0	58,0	52,0
1974*	48,0	31,0	23,0
1979**	57,0	-	-
Presente estudo***	110,0	50,0	35,0

* CARVALHO (1979), ** GIANESELLA-GALVÃO (1981) e *** presente estudo.

Em relação às concentrações de fosfato inorgânico, GIANESELLA-GALVÃO (1981) obteve valores próximos a 6,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e somente em amostras de água mais próximas ao sedimento obteve concentração mais elevada (161,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$), o que, em comparação com os valores obtidos em 2000 (entre 5 e 70,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$), em amostras de água proveniente de 30 a 70% da profundidade de cada estação, foram bem menores, indicando o aumento contínuo de fosfato no reservatório.

Os valores de silicato reativo e substâncias húmicas são apresentados na Figura 11, exceto para o mês de novembro de 2000, no qual são apresentadas apenas as variações nas concentrações de silicato reativo. Verifica-se que as concentrações de

silicato não apresentaram diferenças acentuadas entre as estações de coleta amostradas, contudo, em uma análise temporal, observa-se uma variação maior entre os valores obtidos em fevereiro ($9,05 \text{ mg.L}^{-1}$) e agosto de 2000 ($2,78 \text{ mg.L}^{-1}$), na estação 4 S. Verifica-se, ainda, que para as concentrações de silicato reativo não existe um padrão de decaimento ao longo do reservatório, no sentido rio Atibaia - barragem, demonstrando que este elemento não é muito afetado pela morfometria do sistema, o que também foi observado em estudos anteriores (ZANATA & ESPÍNDOLA, 2002). Segundo esses autores, a correlação entre a distância da barragem/rio Atibaia e a concentração de silicato foi somente de $r^2=0,51$, enquanto outras variáveis, como fósforo total e material em suspensão apresentaram uma correlação de 0,86 e 0,85, respectivamente.

A concentração de substâncias húmicas apresentou um padrão semelhante ao do silicato, não demonstrando diferenças significativas entre as concentrações ao longo do reservatório mas, diferentemente do silicato, a maior concentração ocorreu em agosto de 2000 ($7,89 \text{ mg.L}^{-1}$, no ponto 1S), podendo estar relacionado, segundo BRAYNER (1998), com a conversão biológica do carbono orgânico em carbono orgânico dissolvido e pela decomposição de plantas, as quais são abundantes nesta região do reservatório.

Figura 11: Concentrações iniciais de silicato reativo (SiO_2) e substâncias húmicas (AcH) durante o período de estudo, no reservatório de Salto Grande.

A concentração média de silicato reativo, segundo o trabalho de GIANESELLA-GALVÃO (1981), foi de $2,70 \text{ mg.L}^{-1}$, na estação 2, demonstrando ter ocorrido um aumento de quase 3 vezes (como em fevereiro de 2000), sendo que, excetuando-se as concentrações obtidas em agosto de 2000, os demais meses sempre apresentaram concentrações de silicato superiores as de vinte anos atrás.

6.1.3. Transparência da água

Avaliando-se a Figura 12, verifica-se a existência de dois padrões distintos em relação às medidas de disco de Secchi. O primeiro ocorreu em fevereiro de 2000, com valores de visibilidade inversamente proporcionais às concentrações de material em suspensão (6.1.4), sendo as medidas de disco de Secchi mais reduzidas durante o este mês. Um segundo padrão foi observado nos meses de agosto e novembro de 2000, nos quais as menores concentrações iniciais de material em suspensão não demonstram um gradiente longitudinal, refletindo diretamente nas maiores medidas de visibilidade (Disco de Secchi).

É interessante mencionar que as medidas de visibilidade obtidas em fevereiro de 2000 não apresentaram grandes variações no período de 24 horas, o que não ocorreu nos meses de agosto e novembro de 2000, nos quais as variações foram de até 0,70m, na estação 1 e 2., devido basicamente ao aumento no tempo de retenção da água, à menor quantidade de material alóctone carregada pelo rio Atibaia, e ao aparecimento de florações algais, as quais contribuem para a redução da luz (transparência da água) no período de 24 horas, uma vez que as florações podem ocorrer em curtos intervalos de tempo. Deve-se levar em conta também que as medições iniciais e finais foram realizadas em dias e ângulos de inclinação do sol diferentes, podendo ocasionar alterações nos valores obtidos.

Comparando-se os resultados do presente estudo com aqueles obtidos em anos anteriores (Tabela 8), verifica-se que os valores de visibilidade do disco de Secchi foram sendo reduzidos no reservatório de Salto Grande, demonstrando o contínuo aporte de sedimentos, nutrientes e sua assimilação, promovendo o aumento da biomassa vegetal e, conseqüentemente, dependendo do período e estação de coleta, a redução da zona eufótica, ocasionando modificações na estrutura das populações e no funcionamento do sistema.

Tabela 8: Valores de visibilidade do disco de Secchi obtidos no reservatório de Salto Grande.

ANO	Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.
1969*	-	0,80	0,80	-	1,10	1,10	-	1,00	1,80
1970*	0,50	1,00	0,60	0,70	1,60	2,50	0,80	2,50	4,00
1971*	0,80	1,00	0,40	1,00	1,40	0,80	0,80	1,70	0,80
1973*	0,50	1,00	0,55	1,00	1,70	0,87	1,00	1,30	0,90
1974*	0,27	0,97	0,27	1,00	2,50	0,65	2,00	1,20	1,95
1979**	2,20	4,0	1,9	-			-		
Presente estudo***	0,70	0,80	0,85	0,80	0,90	1,00	0,85	1,10	0,80

* CARVALHO (1979), ** GIANESSELLA-GALVÃO (1981) e *** presente estudo.

Figura 12: Valores de visibilidade inicial e final do disco de Secchi nas diferentes estações de coleta.

6.1.4 . Material em suspensão

Verifica-se, pela Figura 13, que os valores de material em suspensão apresentam, exceto em novembro de 2000, um gradiente de decaimento da estação 1 em direção a estação 4, o que é mais perceptível nos meses de fevereiro e maio de 2000. Deve-se notar que embora os maiores valores fossem encontrados em fevereiro (com $21,00 \text{ mg.L}^{-1}$ na estação 1S e 1F, entrada do reservatório), estes ainda estão muito abaixo das concentrações encontradas por LEITE (1998), em fevereiro de 1997 (máximo de $150,00 \text{ mg.L}^{-1}$ na entrada do reservatório). Este fato está relacionado com a baixa vazão de entrada ($7,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) observada em fevereiro de 2000, que afetou a operação da barragem durante todo o ano (CPFL, comunicação pessoal), diminuindo a entrada de material alóctone no sistema. Nos meses de maio, agosto e novembro, observou-se um aumento considerável na fração orgânica, o que esteve relacionado às florações algais ocorridas nestes meses em decorrência do alto tempo de retenção da água e da estratificação observada em novembro.

O padrão de maior deposição de material em suspensão no início do reservatório também foi observado por ZANATA & ESPÍNDOLA (2002), no mesmo reservatório, com redução de $70,0$ para $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso e de $20,0$ para $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco, o que evidencia uma correlação entre a distância da barragem ao rio Atibaia e a concentração igual a $0,66$ e $0,86$, além do efeito da sazonalidade (maior ou menor precipitação). FRACÁCIO (2001) verificou situação semelhante em relação a reservatórios do sistema Tietê (SP), bem como REIS (2002), em seus estudos nos reservatórios em cascata do rio São Francisco (compreendendo vários estados do Brasil), demonstrando ser este um padrão comum para estes ambientes, com a formação de três zonas (rio – transição – barragem) e ciclos sazonais (períodos seco, chuvoso e intermediários) bem definidos.

Analisando-se os dados obtidos no reservatório de Salto Grande (Figura 13), também se verifica, para material em suspensão, que funções de forças externas (como precipitação, vento e o aporte de material de origem pontual e difusa) contribuem para as modificações das características físicas, químicas e biológicas do reservatório, sendo importante ainda mencionar que a própria resposta do sistema, por meio da produção biológica maior em períodos mais favoráveis, também promovem alterações significativas nos mecanismos e padrões de funcionamento do sistema, permitindo variações em curto intervalo de tempo que direcionam as

respostas fisiológicas e comportamentais do componente biológico.

Figura 13: Concentrações iniciais de material em suspensão total, orgânico e inorgânico nas diferentes estações e períodos de coleta.

6.2. Caracterização física, química e teor de matéria orgânica em amostras de sedimento do Reservatório de Salto Grande.

6.2.1. Granulometria e matéria orgânica

Os resultados da análise granulométrica estão apresentados na Figura 14, verificando-se a maior contribuição da fração areia nos meses de fevereiro, maio e novembro de 2000, com os maiores valores sendo observados nas estações 3 e 4, atingindo 60,0 % em novembro de 2000. Esses valores também foram observados por TONISSI (1999), o qual encontrou as porcentagens de 62,3 e 58,1% nas estações 3 e 4, respectivamente, demonstrando haver uma relação entre o aumento no material em suspensão que chega ao reservatório no período chuvoso (Figura 13) e a maior deposição, principalmente da fração areia, na entrada do sistema.

Em agosto de 2000, verifica-se uma redução nas porcentagens de areia, com o conseqüente aumento das frações silte e argila, principalmente nas estações 1 e 2 , atingindo cerca de 57,0% do total analisado.

Na estação 2 foram obtidas as maiores porcentagens de silte (21,6%) e argila (38,0 %), sendo que, somados, o valor observado foi de 59,6% em maio de 2000. Estes percentuais mostram-se baixos quando comparados àqueles obtidos nos tributários e no reservatório de Barra Bonita (SP) por COSTA (2001). A autora obteve contribuição de 54,0 a 71,0 % de argila e de 26,0 a 46,0 % de silte na entrada do reservatório, o que foi próximo aos valores obtidos por FRACÁCIO (2001) no reservatório de Bariri (SP), com 23,0 % de silte e 47,0 % de argila.

As porcentagens de matéria orgânica observadas no reservatório de Salto Grande (Figura 15) demonstram a ausência de grandes variações entre os meses estudados, contudo, verifica-se um aumento nos teores de matéria orgânica das estações 3 e 4, atingindo valores máximos de 16,67 e 18,04%, respectivamente, em fevereiro de 2000, o que caracteriza um sedimento orgânico (acima de 10% segundo ESTEVES, 1988). Esse resultado é similar aos obtidos por TONISSI (op. cit.), nos quais os maiores teores de matéria orgânica foram encontrados nas estações próximas à barragem, verificando uma deposição mais lenta do material orgânico que chega ao reservatório, e também a contribuição da biomassa de macrófitas aquáticas nesta região da represa.

COSTA (2001) obteve valores de matéria orgânica próximos aos do sedimento do reservatório de Salto Grande, sendo aqueles mais elevados na região de entrada do reservatório de Barra Bonita (SP), com percentuais de 13,12 a 14,0 %, e na região mais próxima à barragem (14,01%). RODGHER et al. (2002) também verificou teores similares de matéria orgânica em reservatórios do sistema Tietê (SP), os quais estiveram entre 11,2 e 16,7% nos reservatórios de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga e Promissão, estando geralmente abaixo de 5% nos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos.

Nos reservatórios avaliados por RODGHER et al. (2002), a proporção das diferentes frações do sedimento foi diferenciada para cada reservatório e período de coleta, verificando-se, por exemplo, uma maior contribuição de silte (de 35 a 85%) e argila (27 a 57%) no reservatório de Barra Bonita e de areia no reservatório de Três Irmãos (de 92 a 100%), os quais representam o primeiro e o último reservatório do sistema em cascata do rio Tietê.

Figura 14: Contribuição das frações areia, silte e argila nas estações de coleta do reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.

Legenda: Areia Grossa Areia Média Areia Fina Silte Argila

Figura 15: Porcentagem de matéria orgânica nas amostras de sedimento do Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.

6.2.2. Nitrogênio e fósforo total

Para a análise de nutrientes (nitrogênio e fósforo) considerou-se o testemunho coletado com o amostrador do tipo “core”, obtendo um perfil de sedimento de 50 cm. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 16, verificando-se que os valores mais elevados de fósforo, ao longo dos testemunhos de sedimento, foram encontrados nas estações 1 e 2, principalmente nos meses de fevereiro, agosto e novembro de 2000, com a maior concentração de fósforo ocorrendo em fevereiro de 2000, na estação 2, entre 10 e 15 cm ($858,22 \mu\text{g.g}^{-1}$). Pode-se observar também os comportamentos semelhantes na distribuição de fósforo entre as estações 1 e 2 e entre as estações 3 e 4, provavelmente pelo fato de representarem dois compartimentos distintos no reservatório de Salto Grande, demonstrando, deste modo, que parte do fósforo que chega ao reservatório acumula-se preferencialmente nas estações 1 e 2. Observa-se ainda uma redução nas concentrações de fósforo ao longo do testemunho (da superfície até 50cm), indicando o elevado aporte e deposição de fósforo no sedimento durante as últimas décadas, promovendo possíveis modificações no sistema. Em geral, na camada de 50 cm, as concentrações obtidas foram sempre inferiores a $600 \mu\text{g.g}^{-1}$, exceto em agosto e novembro de 2000, nas estações 1 e 2.

Os valores elevados de fósforo registrados nas camadas superiores do sedimento refletem as aduções de efluentes domésticos e industriais recebidas pelo rio Atibaia, bem como o resultado das atividades agropastoris desenvolvidas na área

de entorno (principalmente o plantio da cana-de-açúcar), além da própria produção interna do sistema (ciclagem). Neste sentido, deve-se mencionar que a biomassa de macrófitas é elevada no reservatório, juntamente com a produção de algas, formando bancos e “blooms”, respectivamente. Esta elevada produção representa produção autóctone do reservatório, contribuindo para os teores de fósforo na água e, após sedimentação e decomposição, também ao sedimento.

Figura 16: Valores de fósforo ao longo do perfil de sedimento nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

RIOS (1999), avaliando a concentração de fósforo nos mesmos compartimentos, obteve valores mais elevados, com o máximo de $3367,30 \mu\text{g.g}^{-1}$ na estação 2, na camada de 6 a 8 cm. Observa-se que a concentração mínima de $886,05 \mu\text{g.g}^{-1}$, encontrada pelo autor na estação 3, corresponde ao valor máximo determinado no presente trabalho, caracterizando uma possível redução nas concentrações de fósforo no sedimento do reservatório de Salto Grande durante o período estudado ou ainda as diferenças espaciais que normalmente são encontradas na distribuição dos nutrientes e das comunidades. No entanto, os valores obtidos por TONISSI (1999), no mesmo reservatório, apresentam padrão similar, sendo

caracterizado pelas maiores concentrações nas estações de coleta na entrada do reservatório e no período chuvoso, atingindo $614,55 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $670,7 \mu\text{g.g}^{-1}$ nas estações 1 e 2, em novembro de 1998, demonstrando que os resultados obtidos por RIOS (op.cit.) devem corresponder a locais diferenciados dentro de um mesmo compartimento, com maior contribuição da área marginal cultivada ou da deposição de material autóctone mais acentuada, as quais correspondem as áreas contrárias as direções do vento predominante.

Os resultados obtidos por ESTEVES (1988) no reservatório de Barra Bonita ($513,60 \mu\text{g.g}^{-1}$), por FRACÁCIO (2001) no reservatório de Bariri ($63,8 \mu\text{g.g}^{-1}$) e por DORNFELD et al. (2002) no reservatório do Lobo ($127,64 \mu\text{g.g}^{-1}$), todos localizados no estado de São Paulo (os dois primeiros eutróficos e terceiro oligo-mesotrófico), representam valores bem inferiores ao obtidos no reservatório de Salto Grande, o que caracteriza o grau de eutrofização, o potencial de acumulação de nutrientes no sedimento e o impacto das atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica do rio Atibaia, com reflexos para as comunidades biológicas.

Os valores de nitrogênio no sedimento (Figura 17) não apresentam nenhum padrão de distribuição. Porém, analisando-se os resultados obtidos em maio, agosto e novembro de 2000, verifica-se uma certa tendência aos agrupamentos entre as estações 1 e 2 e entre as estações 3 e 4, embora os maiores valores tenham sido registrados no mês de fevereiro de 2000, no ponto 2, com 0,28% de nitrogênio na camada de 10-15 cm. Essa tendência ao agrupamento das estações localizadas no mesmo compartimento mostra-se inversamente proporcional às concentrações de fósforo no sedimento, talvez devido ao fato de que a maior biomassa de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Brachiaria arrecta*) esteja localizada no segundo compartimento, podendo ser uma excelente fonte de nitrogênio após a decomposição das mesmas (MORAES, 1998; LOPES-FERREIRA, 2000 e FARIAS & ESPÍNDOLA, 2002). Esses valores mostram-se abaixo dos valores obtidos por BITAR (1998) e ZANATA (2000) no mesmo reservatório, os quais obtiveram teores máximos de 0,77% e 0,80% no mesmo compartimento, o que não implica na redução do aporte mas sim na heterogeneidade ambiental do reservatório, como demonstrado por ZANATA & ESPÍNDOLA (2002) para algumas variáveis ambientais (clorofila, material em suspensão, nutrientes totais e dissolvidos, condutividade e oxigênio dissolvido) e a comunidade zooplancônica. A

distribuição horizontal heterogênea no reservatório de Salto Grande também foi observada por FALCO (2001) para a comunidade fitoplanctônica.

Resultados similares aos obtidos no presente estudo quanto à distribuição de nitrogênio no perfil de sedimento foi verificada por SILVÉRIO (1999), que observou valores mais elevados no reservatório de Barra Bonita (0,50%) e Billings (1,50%), ambos localizados no estado de São Paulo. PATELLA (1998) obteve teores mais elevados de nitrogênio nos 20 cm iniciais do sedimento da represa de Guarapiranga, com 0,9 % e 0,35% nas camadas de 0-2cm e 20-22 cm, respectivamente.

Figura 17: Porcentagens de nitrogênio orgânico total ao longo do perfil de sedimento, nas diferentes estações e período de coleta, no reservatório de Salto Grande.

6.3. Avaliação da concentração e distribuição de metais no reservatório de Salto Grande

6.3.1. Água

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos nas análises de metais totais de amostras de água provenientes de 30 e 70% da profundidade de cada estação de coleta, as quais estão sendo representadas graficamente como S (superfície – 30%) e F (fundo – 70%). Foram determinados os seguintes metais: ferro, manganês, zinco, cádmio, cobre e cromo. Para cada metal analisado, os resultados estão apresentados graficamente por período de coleta, além da análise estatística.

Ferro – as concentrações de ferro obtidas nas amostras de água estão apresentadas na Figura 18, verificando-se que as concentrações mais próximas ao fundo (F – 70%) são em geral superiores às superficiais (S – 30%), com exceção das estações 2F (em agosto de 2000) e 3F (em novembro de 2000). Um dos prováveis fatores para as maiores concentrações de ferro serem determinadas nos locais mais profundos, estaria relacionado com a anoxia do hipolímnio, pois em ambiente redutor, as concentrações de Fe^{++} seriam mais elevadas. Segundo CARMOUZE (1994), em meios não oxigenados, como por exemplo nos hipolímnios de lagos ou águas intersticiais, o ferro dissolvido na forma de Fe^{++} pode apresentar concentrações de 5,6 a 11,2 mg.L^{-1} .

As maiores concentrações de ferro foram obtidas em novembro de 2000, possivelmente devido ao início do período chuvoso (maior arraste de material), com o valor máximo sendo obtido na estação 4F (2,31 mg.L^{-1}). Este valor mostra-se um pouco mais elevado que o máximo de 1,8 mg.L^{-1} encontrado por TONISSI (1999) no mesmo reservatório, embora, nos meses anteriores (fevereiro, maio e agosto de 2000), as concentrações tenham oscilado de 0,20 a 0,35 mg.L^{-1} , o que estaria acima do estabelecido para Classe 2 pela resolução CONAMA 20/86, que é de 0,3 mg.L^{-1} .

Os resultados obtidos por RIOS (1999), no mesmo reservatório, estiveram compreendidos entre 0,1 e 6,60 mg.L^{-1} , demonstrando que as concentrações obtidas no presente estudo são bem menores, sugerindo um menor aporte de ferro no período estudado.

Figura 18: Concentrações de ferro na água, nas diferentes estações de coleta.

Pela análise estatística (Tabela 9), verifica-se que o mês de novembro/2000 foi o único que apresentou diferença significativa em relação às concentrações dos demais meses, fato este demonstrado pela média de $1,17 \text{ mg.L}^{-1}$ e pelas elevadas concentrações de ferro, já apresentadas da Figura 18. Os meses 1, 2 e 3 (fevereiro, maio e agosto de 2000, respectivamente) apresentaram médias bem próximas, o que pode ser observado pelas baixas concentrações obtidas em todas as estações de coleta.

Tabela 9: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para as concentrações de ferro na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Grupos	Média	N	MESES
B	0,2511	8	Fevereiro
B	0,3266	8	Maio
B	0,2446	8	Agosto
A	1,1789	8	Novembro

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta

Manganês – os resultados obtidos nas análises de manganês estão apresentados na Figura 19, verificando-se concentrações menores em relação às de ferro. As concentrações foram próximas nos meses de fevereiro, maio e agosto de 2000, com valores compreendidos entre 0,006 mg.L⁻¹ (estação 4F, em fevereiro/2000) e 0,063 (estação 2F, em agosto/2000), sendo que as maiores concentrações ocorreram nas estações de coleta com maior profundidade, implicando na presença de baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Segundo LEE (1975), em geral, na ausência de oxigênio e, portanto, em condições redutoras, o dióxido de manganês é reduzido para Mn⁺⁺, sendo que em condições de oxidação, tanto o Mn⁺⁺ como o Mn⁺⁺⁺⁺, podem estar presentes. Dessa forma, nos locais de instalação das câmaras de sedimentação (limite entre zona óxica e anóxica), pode-se determinar uma elevada concentração desse elemento

As maiores concentrações, de forma similar ao ferro, também ocorreram em novembro de 2000, com valores entre 0,14 e 0,94 mg.L⁻¹, sendo mais elevadas nas estações 2 e 4 (as de maior profundidade), as quais estão acima do limite estabelecido para Classe 2 pela resolução CONAMA 20/86 (0,10 mg.L⁻¹). Estes resultados demonstram uma elevada concentração de manganês durante o período de estudo, sendo estas, inclusive, mais elevadas que a concentração máxima de 0,08 mg.L⁻¹ obtida no mesmo reservatório por TONISSI (1999), ou ainda aquela de 0,41 mg.L⁻¹, obtida por BRAYNER (1998), em viveiros de peixes em estuários urbanos.

De maneira semelhante ao ferro, a análise estatística para manganês (Tabela 10) demonstrou que o mês 4 (novembro/2000) foi o único a apresentar uma diferença significativa em relação às concentrações médias em fevereiro, maio e agosto de 2000, fato este que pode ser explicado pelo aumento da precipitação em novembro (atingindo 315,0 mm), elevando a concentração de manganês na água do reservatório de Salto Grande.

Tabela 10: Teste de Tukey (p>0,05) para as concentrações de manganês na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Grupos	Média	N	MESES
B	0,01838	8	Fevereiro
B	0,05013	8	Maio
B	0,03913	8	Agosto
A	0,41850	8	Novembro

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta

Figura 19: Concentrações de manganês na água nas diferentes estações de coleta.

Zinco - os valores obtidos nas análises de zinco são apresentados na Figura 20, não sendo observado um padrão de concentração semelhante ao obtido para ferro e manganês, com diferença entre a superfície e o fundo (concentração maior nesta profundidade – 70%), exceto para o mês de maio de 2000, no qual as concentrações foram mais elevadas em relação aos demais meses amostrados (máximo de 0,068 mg.L⁻¹, na estação 1S, em maio/2000). Deve-se enfatizar ainda que as maiores concentrações ocorreram em maio de 2000 e não em novembro de 2000, como observado para ferro e manganês. Esta concentração, embora tenha ocorrido somente em um período, é bem menor quando comparado àquelas obtidas por TONISSI (1999) no reservatório de Salto Grande (0,12 mg.L⁻¹) e por BRAYNER (1998) em viveiros de cultivo de peixes (0,48mg.L⁻¹), estando ainda abaixo da concentração máxima de 0,18 mg.L⁻¹ permitida pela resolução CONAMA 20/86, para Classe 2.

Comparando a concentração máxima obtida (0,068 mg.L⁻¹) com as de lagos temperados, observa-se que os valores encontrados em lagos do Canadá são mais elevados, estando compreendidos entre 0,01 e 1 mg.L⁻¹ (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984) e mesmo no lago Balaton, no qual a concentração máxima foi de

0,047 mg.L⁻¹ (SALÁNKI & LICSKÓ, 1991), em relação aos meses de fevereiro (abaixo de 0,01 mg.L⁻¹), agosto (abaixo de 0,03 mg.L⁻¹) e novembro de 2000 (menor que 0,02 mg.L⁻¹). Comparando os dados obtidos com reservatórios localizados em região subtropical, verifica-se que as concentrações obtidas no reservatório de Salto Grande (excetuando-se o valor máximo), não são elevadas. Os resultados apresentados por COSTA & ESPÍNDOLA (2000), em seus estudos nos tributários e no reservatório de Barra Bonita (SP), demonstram variações de 0,05 a 0,1 mg.L⁻¹.

Os resultados obtidos por FÖRSTNER (1983) no reservatório de Guantín (China), foram de 0,07 mg.L⁻¹ (concentração máxima), o que é similar ao maior valor encontrado no reservatório de Salto Grande. BORG (1995) também obteve concentração média de 0,016 mg.L⁻¹ (próximo aos valores de fevereiro/2000 obtidos no reservatório de Salto Grande) no lago Årsjön, na Suécia.

Figura 20: Concentrações de zinco na água nas diferentes estações de coleta.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados da análise estatística para concentrações média de zinco na água, demonstrando diferenças significativas em relação aos meses 2 e 3 (maio e agosto de 2000, respectivamente), com médias mais

elevadas nestes meses em relação a fevereiro e novembro de 2000, os quais não apresentaram diferenças entre si. Verifica-se, desta forma, que concentrações mais elevadas foram obtidas durante o período seco, provavelmente devido a uma diminuição da vazão afluente, mas com a mesma concentração de zinco chegando ao sistema.

Tabela 11: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para as concentrações de zinco na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Grupos	Média	N	MESES
C	0,006000	8	Fevereiro
A	0,036500	8	Maio
B	0,020375	8	Agosto
C	0,009375	8	Novembro

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta

Cádmio – os resultados das análises de cádmio são apresentados na Figura 21. Excetuando-se aqueles obtidos em fevereiro de 2000, não foram observadas diferenças acentuadas entre as estações de superfície (S – 30%) e fundo (F – 70%). As concentrações de cádmio obtidas em fevereiro de 2000 (de 0,0091 a 0,018 mg.L⁻¹), foram maiores que àquelas encontradas por TONISSI (1999) no mesmo sistema (concentração máxima de 0,002 mg.L⁻¹). Em maio, agosto e novembro de 2000, as concentrações foram menores, com valores entre 0,002 e 0,005 mg.L⁻¹, embora ainda sejam superiores aos 0,001 mg.L⁻¹ obtidos por COSTA & ESPÍNDOLA (2000) nos tributários e no reservatório de Barra Bonita, e aos 0,002 mg.L⁻¹ encontrados por NAVAS-PEREIRA (1985) no mesmo reservatório.

Comparando os resultados obtidos no reservatório de Salto Grande com as de lagos Suecos, verifica-se que aqueles apresentados por SALOMONS & FÖRSTNER (1984) foram menores, com concentração máxima de 0,0003 mg.L⁻¹. BORG (1995), estudando o lago Årsjön, também na Suécia, obteve concentração média de $1,09 \times 10^{-4}$ mg.L⁻¹, enquanto FÖRSTNER (1983) determinou máximo de 7×10^{-4} mg.L⁻¹ no reservatório Guantín, na China, demonstrando que as concentrações de cádmio no reservatório de Salto Grande são elevadas. Esta situação é ainda comprovada quando se avalia a concentração máxima de 0,001 mg.L⁻¹ recomendada pela resolução CONAMA 20/86 (Classe 2), o que evidencia o grau de contaminação e as preocupações relacionadas à saúde pública, uma vez que parte do abastecimento público das cidades de Americana e Sumaré (SP) depende da água proveniente do rio

Atibaia, principal tributário do reservatório de Salto Grande.

Figura 21: Concentrações de cádmio na água nas diferentes estações de coleta.

A análise estatística para as concentrações de cádmio (Tabela 12) demonstrou não haver diferenças significativas entre os meses amostrados, não ocorrendo variações nos valores em função dos períodos de seca ou chuva.

Tabela 12: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para as concentrações de cádmio na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Grupos	Média	N	MESES
A	0,005750	8	Fevereiro
A	0,004250	8	Maio
A	0,005000	8	Agosto
A	0,002125	8	Novembro

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Cobre - na Figura 22 são apresentados os resultados obtidos para cobre, verificando-se que as concentrações atingiram os níveis máximos de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ recomendados pela resolução CONAMA 20/86 (Classe 2) nos meses de maio e agosto de 2000, sendo que em fevereiro e novembro de 2000, as concentrações foram

menores que os limites exigidos pela legislação. Verifica-se, contudo, que mesmo nos meses em que as concentrações estavam acima de $0,02\text{mg.L}^{-1}$, estas foram menores que as obtidas por TONISSI (1999) no mesmo reservatório, as quais foram sempre superiores aos valores permitidos pela legislação, com concentração máxima de $0,049\text{ mg.L}^{-1}$, o que é maior que a concentração máxima de $0,023\text{ mg.L}^{-1}$ obtida em maio de 2000, na estação 2 S (70%).

Figura 22: Concentrações de cobre na água nas diferentes estações de coleta.

No reservatório de Barra Bonita, NAVAS-PEREIRA et al. (1985) registraram valores bem superiores (com concentração máxima de $0,2\text{ mg.L}^{-1}$) aos encontrados no reservatório de Salto Grande, sendo 10 vezes mais elevados ao valor permitido pela legislação CONAMA 20/86 (Classe 2). Valores mais elevados que aqueles obtidos no presente estudo também foram encontrados no reservatório de Guantín, na China, por FORSTNER (1983), cuja concentração máxima foi de $0,032\text{ mg.L}^{-1}$.

DUINKER & NOLTING (1977)¹ apud MOORE & RAMAMOORTHY (1984) determinaram valores acima de $0,015\text{ mg.L}^{-1}$ nas águas do estuário do rio Reno,

¹ DUINKER, J.C.; NOLTING, R.F. (1977) Dissolved and particulate trace metals in the Rhine estuary and the Southern Bight. *Marine Pollution Bulletin*. v8.p.65-71.

ocorrendo uma redução para $0,0002 \text{ mg.L}^{-1}$ no canal da Inglaterra. Estes valores estão próximos aos obtidos no presente estudo (reservatório de Salto Grande).

Na Tabela 13 são apresentados os resultados da análise estatística, verificando-se diferenças significativas entre as estações 1 e 4 (fevereiro e novembro de 2000, respectivamente), sendo que nos meses de maio e agosto de 2000, notou-se uma proximidade entre as médias, não existindo diferenças significativas entre estes meses. Deve-se observar que, de maneira semelhante ao zinco, as maiores concentrações foram observadas durante o período seco, demonstrando haver uma relação entre diminuição da vazão afluyente e aumento das concentrações de cobre.

Tabela 13: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para as concentrações de cobre na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Grupos	Média	N	MESES
B	0,009250	8	Fevereiro
A	0,021125	8	Maio
A	0,018250	8	Agosto
C	0,005125	8	Novembro

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Cromo - pela análise da Figura 23 verifica-se que em fevereiro e novembro de 2000, as concentrações de cromo na água foram menores que $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que maiores concentrações (entre $0,02$ e $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$) ocorreram em maio e agosto de 2000, o que é similar ao observado para cobre e zinco, com os maiores valores ocorrendo a 70% da profundidade de cada estação de coleta. No entanto, somente na estação 2F ($0,051 \text{ mg.L}^{-1}$), em agosto de 2000, as concentrações ultrapassaram o limite estabelecido para Classe 2 pela resolução CONAMA 20/86 ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$).

As concentrações de cromo obtidas no presente estudo foram inferiores aquelas obtidas por TONISSI (1999) para este mesmo ambiente. Segundo o autor, em 1998 as concentrações foram próximas ou mais elevadas ($0,063 \text{ mg.L}^{-1}$) que o limite estabelecido pela resolução CONAMA 20/86 (de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) na maioria dos meses e estações de coleta amostradas. Em comparação aos resultados obtidos por COSTA & ESPÍNDOLA (2000) nos tributários e no reservatório de Barra Bonita, os valores foram bem menores, uma vez que os autores obtiveram concentrações de até $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (em abril de 1998). Em relação aos resultados obtidos por BORG (1995), no Lago Årsjön (Suécia), a concentração média observada pelo autor ($2,4 \times 10^{-4} \text{ mg.L}^{-1}$) foi inferior a obtida no reservatório de Salto Grande (entre $0,004$ e $0,036 \text{ mg.L}^{-1}$).

mg.L⁻¹), enquanto FÖRSTNER (1983) determinou valor máximo de 0,0134 mg.L⁻¹, próximo ao do presente estudo.

Figura 23: Concentrações de cromo na água nas diferentes estações de coleta.

Quanto à concentração de efeito tóxico do cromo, OLIVEIRA-NETO & BOTTA-PASCHOAL (2000) determinaram, em bioensaios de toxicidade aguda, o valor médio de 0,046 mg.L⁻¹ para a CE(I)50;48h (concentração efetiva com efeito em 50% da população, durante 48 horas de exposição) para *Ceriodaphnia silvestrii* (Crustácea, Cladocera), demonstrando que as concentrações de cromo observadas no reservatório de Salto Grande podem estar comprometendo a biota aquática.

Em relação à análise estatística, verifica-se, pela Tabela 14, que as médias dos meses 1 e 4 (fevereiro e novembro de 2000) puderam ser agrupadas, sendo que os meses 2 e 3 (maio e agosto de 2000) apresentaram diferenças significativas entre as concentrações médias. Pode-se observar, ainda, que os maiores valores também foram obtidos durante o período mais seco, demonstrando uma relação entre a diminuição da vazão afluente e o aumento dos valores de cromo, o que também ocorreu para cobre, zinco e cádmio.

Tabela 14: Teste de Tukey ($p>0,05$) para as concentrações de cromo na água, nos diferentes meses de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Grupos	Média	N	MESES
C	0,004875	8	Fevereiro
B	0,023875	8	Maio
A	0,036250	8	Agosto
C	0,007250	8	Novembro

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Análise multivariada

Com o objetivo de avaliar os padrões de similaridade entre os meses e estações de coleta, foram realizadas análises de agrupamento (*Cluster*) utilizando-se a Distância Euclidiana Média e ligação pela média (UPGMA) sobre variáveis físicas e químicas da água, os dados meteorológicos, vazão e tempo de residência. Para avaliar o grau de distorção proporcionado pela análise sobre os dados originais, calculou-se o Coeficiente de Correlação Cofenética, que segundo LEGENDRE (1983)² apud MARCIANO (2001), são aceitáveis com índices superiores a 0,80.

Analisando-se o *Cluster* ao nível de corte 0,15, observa-se a formação de quatro grupos, com ordem de afinidade para fevereiro, novembro, agosto e maio.

No mês de fevereiro, considerando as 8 estações de coleta (4 na superfície e 4 no fundo), observou-se que as estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 3F e 4F, demonstrando similaridade em 18 das 25 variáveis utilizadas para a análise, sendo elas: nitrato, amônio, nitrito, silicato reativo, ácidos húmicos, pH, temperatura, zinco, cádmio, cobre, cromo, material em suspensão total (orgânico e inorgânico), precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. As estações de coleta 3S e 4S agruparam-se com maior distância devido à afinidade com as mesmas variáveis.

Ainda em relação a fevereiro as estações 2F e 2S apresentaram similaridade em 13 das 25 variáveis, sendo elas: nitrogênio orgânico total, fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, condutividade, temperatura, ferro, zinco, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. As estações 1S e 1F apresentaram similaridade em 13 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, condutividade, temperatura, zinco, manganês,

² LEGENDRE, L. (1983) Measures of ecological resemblance. In: *Numerical Ecology*. Developments in Environmental Modelling (3). Scientific Publishing Company. 317p.

Figura 24: Cluster para os dados na água. $R_c=0,93$. S= estações superficiais (30%) e F= estações de fundo (70%).

material em suspensão inorgânico, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência.

Em novembro, considerando as 8 estações de coleta (4 na superfície e 4 no fundo), observou-se que as primeiras estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 3S e 4S, demonstrando similaridade em 15 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, pH, temperatura, zinco, cádmio, material em suspensão total (orgânico e inorgânico), precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. As estações 4F, 2S e 2F agruparam-se também devido a uma afinidade com as mesmas variáveis.

Em relação as estações 1S e 1F, estas apresentaram similaridade em 14 das 25 variáveis, sendo elas: amônio, nitrito, silicato reativo, condutividade, pH, temperatura, cádmio, cobre, cromo, material em suspensão inorgânico, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. A estação 3F apresentou a

maior distância em relação as demais, o que evidencia ser a estação com menor similaridade deste grupo no mês de novembro.

No mês de agosto, ao considerar as 8 estações de coleta (4 na superfície e 4 no fundo) que constituem este grupo, observou-se que as estações 3F e 4S, demonstraram similaridade em 17 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, silicato reativo, pH, temperatura, oxigênio dissolvido, zinco, manganês, cádmio, cobre, cromo, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. As estações 3S e 4F também fazem parte deste mesmo grupo, por apresentarem similaridade entre os mesmos.

Por sua vez, as estações 1F e 2S apresentaram similaridade em 13 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, silicato reativo, condutividade, zinco, manganês, cádmio, cobre, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. As estações com menor similaridade foram 1S e 2F, respectivamente.

No mês de maio, das 8 estações de coleta (4 na superfície e 4 no fundo), observou-se que as estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 4S e 4F, demonstrando similaridade em 15 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, ácidos húmicos, pH, condutividade, temperatura, zinco, cádmio, cobre, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. Pelos mesmos fatores, a estação 3S também se une as 2 anteriores.

As estações 2F e 3S, que apresentaram similaridades em 12 das 25 variáveis, sendo elas: nitrato, nitrito, silicato reativo, temperatura, cádmio, cobre, cromo, material em suspensão inorgânico, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. Por sua vez, as estações 1S e 1F demonstraram similaridades em 11 das 25 variáveis, sendo elas: nitrato, amônio, nitrito, pH, temperatura, manganês, cádmio, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. A estação 1F apresentou menor similaridade em relação às demais estações deste grupo, considerando as variáveis analisadas.

Em geral, pode-se observar nos meses amostrados que as maiores similaridades ocorreram entre as estações 3 e 4, provavelmente por estarem estas estações mais próximas à barragem. Por sua vez, as estações 1 e 2, na maioria das vezes apresentou-se mais distante das estações 3 e 4, provavelmente por estarem mais próximas à entrada do reservatório. Isto demonstra que para as variáveis

analisadas dentro do sistema, existem 2 compartimentos com características diferenciadas, estando o primeiro ligado à entrada do reservatório e o segundo na região mais próxima à barragem. Agrupamentos entre as estações do mesmo local, em profundidades diferentes, foram observadas somente 1 vez em cada um dos grupos: fevereiro (2S e 2F), novembro (1S e 1F) e maio (4F e 4S).

Verifica-se também que os meses de fevereiro e novembro apresentaram menor distância entre si, seguidos pelos meses de agosto e maio, respectivamente. Este fato possivelmente pode estar relacionado com as variáveis climáticas, quando nos meses de fevereiro e novembro ocorre o período de transição entre estação seca e chuvosa, e maio e agosto, representando o período seco.

6.3.2. Sedimento

Nas amostras de sedimento foram determinadas as frações de metais totais e biodisponíveis (potencialmente biodisponíveis ou fracamente ligados à matriz), considerando os testemunhos de 50 cm, com análises a cada 5 cm de sedimento. Os resultados estão apresentados em figuras (perfis), sendo também analisados estatisticamente quanto às diferenças entre as estações e períodos de coleta.

6.3.2.1. Metais totais

Ferro - na Figura 25 pode-se verificar as concentrações de ferro obtidas durante o período de estudo, com pequenas variações entre as estações de coleta e na distribuição vertical (perfil do sedimento), com exceção da estação 4, em agosto de 2000, na qual verificou-se concentrações elevadas na camada de 15-20 cm ($246.000,0 \text{ mg.kg}^{-1}$). Em geral, as concentrações médias estiveram compreendidas entre $40.000,0$ e $70.000,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, valores estes inferiores aos encontrados por ESPÍNDOLA et al. (1998) em amostras superficiais de sedimento em Salto Grande, onde as concentrações variaram entre $52.390,0$ e $101.380,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, sendo mais elevados nas amostras de sedimento mais próximas a barragem, em áreas de maior biomassa de macrófitas.

BRAYNER (1998), ao avaliar a concentração de metais em sedimentos estuarinos urbanos (Recife-PE), obteve valores próximos aos do reservatório de Salto Grande, com concentrações entre $28.878,0$ e $47.043,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ naquele sistema. PRUDENTE (1994), analisando os metais presentes em sedimentos de rios da Baía de Manila (Filipinas), obteve concentrações próximas, verificando-se valores de $34.500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ no rio Marinika e $41.200,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ no rio Bulacan. Os resultados apresentados por AZEVEDO et al. (1988) para tributários da lagoa de Jacarepaguá (RJ) foram inferiores aos do reservatório de Salto Grande, sendo de $23.164,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (no rio Arroio Fundo) e de $20.856,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (no rio Pavuninha).

Tomando-se como base os padrões estabelecidos por THOMAS (1987) para sedimentos não-poluídos ($<17.500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), moderadamente poluídos ($17.000,0$ a $25.000,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e poluídos ($> 25.000,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), observa-se que o sedimento do

reservatório de Salto Grande encontra-se poluído para o elemento ferro. Verifica-se, no entanto, que os valores médios de ferro total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande (Tabela 15) encontram-se dentro dos valores dos folhelhos geológicos mundiais de $46.700,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, descrito por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), somando-se ao fato da elevada presença de ferro nos solos do país.

Figura 25: Concentrações de ferro total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande.

Tabela 15 – Concentração média de ferro total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
Fevereiro	62972,0	63718,0	59355,0	55408,0
Maio	61906,0	62767,0	61802,0	55128,0
Agosto	54614,0	58642,0	47236,0	72680,0
Novembro	47825,0	51531,0	45292,0	44997,0

Na Tabela 16 observa-se, de maneira parecida aos metais potencialmente biodisponíveis (que será apresentado no item 6.3.2.2), que ocorreram diferenças significativas ($p>0,05$) entre as concentrações de metais totais, principalmente entre os meses 4 (novembro/2000) em comparação aos meses 1 e 2 (fevereiro e maio/2000).

Tabela 16: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-11365,0	81,0	11528,0
1 - 3	-9089,0	2358,0	13804,0
1 - 4	1662,0	13031,0	24400,0***
2 - 1	-11528,0	-81,0	11365,0
2 - 3	-9000,0	2276,0	13553,0
2 - 4	1752,0	12950,0	24148,0***
3 - 1	-13804,0	-2358,0	9089,0
3 - 2	-13553,0	-2276,0	9000,0
3 - 4	-525,0	10674,0	21872,0
4 - 1	-24400,0	-13031,0	-1662,0***
4 - 2	-24148,0	-12950,0	-1752,0***
4 - 3	-21872,0	-10674,0	525,0

Na Tabela 17 são apresentados os resultados da análise estatística considerando as estações de coleta, verificando-se que durante o período de estudo nenhuma diferença significativa ($p>0,05$) foi observada para o elemento ferro, seguindo a mesma tendência observada para o ferro potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2)

Tabela 17: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro total no sedimento nas diferentes estações de coleta.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-13403.0	-2205.0	8993.0
1 - 3	-6993.0	4288.0	15570.0
1 - 4	-11762.0	-481.0	10800.0
2 - 1	-8993.0	2205.0	13403.0
2 - 3	-4866.0	6494.0	17853.0
2 - 4	-9635.0	1724.0	13083.0
3 - 1	-15570.0	-4288.0	6993.0
3 - 2	-17853.0	-6494.0	4866.0
3 - 4	-16211.0	-4770.0	6672.0
4 - 1	-10800.0	481.0	11762.0
4 - 2	-13083.0	-1724.0	9635.0
4 - 3	-6672.0	4770.0	16211.0

Manganês - as concentrações de manganês total ao longo do perfil do sedimento são apresentadas na Figura 26, verificando uma maior heterogeneidade na distribuição vertical, bem como nas diferentes estações de coleta, em relação ao padrão observado para ferro. Observa-se que as maiores concentrações ocorreram na estação 2, com o valor máximo de $1070,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em agosto de 2000, na camada 20-25 cm. Entre as estações 1, 3 e 4, a estação 1 foi a que apresentou os maiores valores médios (Tabela 18) em todos os meses amostrados, com a concentração máxima de $623,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ em maio de 2000 e mínima de $502,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ em novembro de 2000. A estação 4 apresentou as maiores concentrações em relação à estação 3 nos meses de maio, agosto e novembro de 2000, com máximo de $437,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ em maio de 2000. As maiores diferenças entre a camada superficial e de maior profundidade no perfil do sedimento foram verificadas nas estações 1 (em fevereiro/2000) e 3 (em agosto/2000).

Os resultados obtidos por ESPÍNDOLA et al. (1998) no mesmo reservatório, em amostras de sedimento coletadas com draga de Eckman (porção mais superficial), foram semelhantes ao do presente estudo, uma vez que os autores obtiveram uma concentração máxima de $550,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. MACIAS-ZAMORA (1999), estudando o sedimento no Golfo do México, observou concentrações homogêneas ao longo do perfil, com valores entre $400,0$ e $500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. PRUDENTE (1994), determinando as concentrações de manganês em sedimentos superficiais de rios nas Filipinas, encontrou valores que variaram entre $187,0$ e 585 mg.kg^{-1} .

Embora os resultados obtidos no presente estudo estejam, com exceção do valor máximo de $1.070,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ obtido em agosto de 2000 (entre 15-25cm), abaixo dos valores do folhelho médio ($850,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) descrito por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), para os parâmetros de poluição descritos por THOMAS (1987), os sedimentos do reservatório de Salto Grande são caracterizados como moderadamente poluído ($300,0$ a $500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) ou altamente poluído ($> 500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), dependendo da estação e período de coleta, demonstrando que os maiores valores foram observados nas estações mais próximas à entrada do rio Atibaia (1 e 2).

Figura 26: Concentrações de manganês total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande.

Tabela 18 – Concentração média de manganês total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
Fevereiro	588,5	781,4	379,1	361,0
Maio	623,8	632,6	433,0	437,7
Agosto	572,0	868,6	368,4	420,1
Novembro	502,6	774,2	357,4	417,2

Na Tabela 19 são apresentados os resultados da análise estatística considerando-se os diferentes meses de coleta, verificando-se que, durante o período de estudo, não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os meses amostrados. Essa tendência também foi observada para manganês potencialmente biodisponível, com exceção dos meses maio e agosto, que apresentaram diferenças significativas entre suas médias (item 6.3.2.2).

Tabela 19: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para manganês total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-816,6	-5,2	806,2
1 - 3	-1286,6	-475,3	336,1
1 - 4	-786,1	19,8	825,7
2 - 1	-806,2	5,2	816,6
2 - 3	-1269,4	-470,0	329,3
2 - 4	-768,8	25,0	818,8
3 - 1	-336,1	475,3	1286,6
3 - 2	-329,3	470,0	1269,4
3 - 4	-298,8	495,0	1288,8
4 - 1	-825,7	-19,8	786,1
4 - 2	-818,8	-25,0	768,8
4 - 3	-1288,8	-495,0	298,8

De maneira semelhante ao ferro total no sedimento, a Tabela 20 mostra que não existem diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as estações de coleta, caracterizando uma maior homogeneidade entre as estações de coleta durante o período amostrado.

Tabela 20: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês total no sedimento nas diferentes estações de coleta do reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-985,8	-192,0	601,8
1 - 3	-1064,4	-264,7	535,0
1 - 4	-637,9	161,8	961,5
2 - 1	-601,8	192,0	985,8
2 - 3	-878,0	-72,7	732,5
2 - 4	-451,4	353,8	1159,0
3 - 1	-535,0	264,7	1064,4
3 - 2	-732,5	72,7	878,0
3 - 4	-384,5	426,5	1237,6
4 - 1	-961,5	-161,8	637,9
4 - 2	-1159,0	-353,8	451,4
4 - 3	-1237,6	-426,5	384,5

Zinco - as concentrações de zinco obtidas no perfil de sedimento estão apresentadas na Figura 27, verificando-se distribuição homogênea em algumas estações (estações 2 e 4) e outras com um maior decaimento ao longo da profundidade (estações 1 e 4). A estação 1 foi a que apresentou as maiores concentrações de zinco na camada superior ($270,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e ao longo de todo o perfil, com concentrações médias (Tabela 21) entre $151,7$ e $232,3 \text{ mg.kg}^{-1}$, além de demonstrar um decaimento mais pronunciado em função da profundidade. As estações 2, 3, e 4 apresentaram pequenas variações ao longo do perfil, sendo que as concentrações médias para cada estação foram de $123,6$, $116,0$ e $98,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente, demonstrando um decaimento das concentrações de zinco no sentido longitudinal do reservatório (rio – barragem).

Este decaimento no sentido longitudinal também foi observado por ESPÍNDOLA et al. (1998), que obteve na estação 1 concentrações superficiais de $220,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ e na estação 4 de $60,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. MACIAS-ZAMORA (1999) obteve perfis homogêneos de zinco no Golfo do México, com valores médios de $70,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. AZEVEDO et al. (1988) determinou concentrações no rio do Anil e no rio Caçambé que variaram de $71,0$ a $305,0$ e de $155,0$ a $418,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, enquanto PRUDENTE (1999) obteve em rios filipinos concentrações que variaram de $95,0$ a $313,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (rios de Bulacan) e de $236,0$ a $1560,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (rio Pasig). Em comparação aos resultados apresentados por estes autores, as concentrações obtidas nas amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande não são elevadas, estando próximas do valor do folhelho médio mundial ($95,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), embora na estação 1, local de maior aporte, as concentrações

tenham ultrapassado a média mundial, sendo considerada altamente poluído ($> 200,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) segundo a classificação de THOMAS (1987). As demais estações foram classificadas como moderadamente poluídas ($90,0 - 200,0 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Figura 27: Concentrações de zinco total no perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande.

Tabela 21 – Concentração média de zinco total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
Fevereiro	151,7	116,9	113,0	104,0
Maio	178,2	119,2	105,9	106,4
Agosto	232,3	150,1	137,8	124,3
Novembro	174,1	108,2	107,3	60,0

De maneira semelhante ao zinco potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2.), a análise estatística (Tabela 22) demonstrou diferenças significativas entre o mês 3 (agosto/2000) e os demais meses amostrados, devido às elevadas concentrações de zinco obtidas neste período, principalmente na estação 1, na camada de 5-15cm.

Tabela 22: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-23,058	-5,763	11,532
1 - 3	-57,201	-39,906	-22,611***
1 - 4	-7,301	9,877	27,056
2 - 1	-11,532	5,763	23,058
2 - 3	-51,182	-34,143	-17,104***
2 - 4	-1,280	15,640	32,561
3 - 1	22,611	39,906	57,201***
3 - 2	17,104	34,143	51,182***
3 - 4	32,863	49,783	66,704***
4 - 1	-27,056	-9,877	7,301
4 - 2	-32,561	-15,640	1,280
4 - 3	-66,704	-49,783	-32,863***

Na Tabela 23 são apresentados os resultados da análise estatística considerando-se as estações de coleta. Verifica-se, pelos dados obtidos, que somente entre as estações 2 e 3 não houveram diferenças significativas ($p>0,05$), por estas apresentarem concentrações médias bem próximas (Tabela 21), sendo que entre as demais estações houveram diferenças significativas, demonstrando que as maiores concentrações ocorreram na estação 1, o que pode estar relacionado a área de maior aporte e deposição de materiais, o que foi verificado nas análises de metais na água.

Tabela 23: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	43,363	60,283	77,204***
1 - 3	51,017	68,063	85,109***
1 - 4	68,890	85,936	102,982***
2 - 1	-77,204	-60,283	-43,363***
2 - 3	-9,384	7,779	24,943
2 - 4	8,489	25,653	42,817***
3 - 1	-85,109	-68,063	-51,017***
3 - 2	-24,943	-7,779	9,384
3 - 4	0,586	17,874	35,161***
4 - 1	-102,982	-85,936	-68,890***
4 - 2	-42,817	-25,653	-8,489***
4 - 3	-35,161	-17,874	-0,586***

Cobre - as concentrações totais de cobre obtidas ao longo do perfil de sedimento são apresentadas na Figura 28, verificando-se distribuição semelhante nas estações 3 e 4, com os maiores valores encontrados nas camadas de 35-40 cm, em novembro de 2000, com concentrações de 350,0 e 294,0 mg.kg⁻¹, respectivamente. É interessante observar que na superfície as concentrações foram geralmente menores, com tendência ao aumento entre 5-30 cm e posterior declínio (em fevereiro e maio de 2000), embora em agosto a distribuição tenha sido mais uniforme (entre 50 e 150 mg.kg⁻¹) e uma distribuição com aumento acentuado no sentido da superfície (0-5m) ao fundo (35-40cm) do perfil de sedimento.

Por sua vez, as estações 1 e 2 apresentaram valores mais baixos e mais homogêneos ao longo do perfil, com exceção do mês de agosto de 2000, onde estas estações apresentaram valores superiores às estações 3 e 4, com a maior concentração mensal na estação 1, na camada de 20-25 cm, com 152,0 mg.kg⁻¹.

Os valores encontrados por ESPÍNDOLA et al. (1998) forma semelhantes aos encontrados nas estações 1 e 2 no presente estudo, com uma variação de 42,0 a 80,0 mg.kg⁻¹ na camada superficial de sedimento. MACIAS-ZAMORA (1999) encontrou valores homogêneos de cobre ao longo do perfil no Golfo do México, mas com concentrações inferiores às do reservatório de Salto Grande (entre 14,0 e 18,0 mg.kg⁻¹). SALÁNKI & LICKSÓ (1991), estudando sedimentos do Lago Balaton, determinaram concentrações entre 7,0 e 88,0 mg.kg⁻¹, as quais estão próximas aos valores obtidos nas estações 1 e 2 do reservatório de Salto Grande, nos meses de fevereiro, maio e novembro de 2000. TKALIN (1996), em testemunhos na baía de Ussuriysky (mar do Japão), obteve um perfil semelhante à estação 2 (em maio/2000), porém, com valores inferiores, estando compreendidos entre 11,1 mg.kg⁻¹ (camada 28-30 cm) e 14,0 mg.kg⁻¹ (camada superficial).

Observa-se que os valores médios (Tabela 24) obtidos nas amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande são geralmente mais elevados, principalmente nas estações 3 e 4, estando acima da concentração de folhelho médio mundial (45,0 mg.kg⁻¹), como descrito por TUREKIAN & WEDEPOHL (1961). Utilizando-se os parâmetros de classificação de THOMAS (1987) para determinar o grau de poluição de sedimentos, verifica-se que todas as estações de coleta podem ser classificadas como altamente poluídas (> 50,0 mg.kg⁻¹), o que prova o alto grau de contaminação do sedimento por cobre.

Figura 28: Concentrações de cobre total ao longo do perfil do sedimento do reservatório de Salto Grande durante o período de estudo.

Tabela 24 – Concentração média de cobre total no sedimento (mg.kg⁻¹), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
Fevereiro	61,44	100,04	213,17	178,89
Maio	73,00	46,00	225,84	190,33
Agosto	66,89	53,78	167,00	209,90
Novembro	70,78	64,22	185,78	189,67

A análise estatística para cobre total no sedimento nos diferentes meses de coleta, de maneira semelhante ao cobre potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2), não demonstrou diferenças significativas ($p > 0,05$) caracterizando uma

homogeneidade do sedimento durante o período estudado.

Tabela 25: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para cobre total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-17,24	19,80	56,85
1 - 3	-13,30	23,74	60,78
1 - 4	-13,44	23,36	60,15
2 - 1	-56,85	-19,80	17,24
2 - 3	-32,56	3,93	40,43
2 - 4	-32,69	3,55	39,79
3 - 1	-60,78	-23,74	13,30
3 - 2	-40,43	-3,93	32,56
3 - 4	-36,62	-0,38	35,86
4 - 1	-60,15	-23,36	13,44
4 - 2	-39,79	-3,55	32,69
4 - 3	-35,86	0,38	36,62

De maneira semelhante ao cobre potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2), verifica-se diferenças significativas entre as estações, com menores concentrações nos primeiros compartimentos do reservatório (estações 1 e 2) e com as estações mais próximas da barragem (3 e 4) apresentando maiores concentrações, demonstrando uma compartimentalização do sistema durante o período amostrado (Tabela 26).

Tabela 26: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para cobre total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-36,11	0,13	36,37
1 - 3	-172,84	-136,33	-99,82***
1 - 4	-169,83	-133,33	-96,82***
2 - 1	-36,37	-0,13	36,11
2 - 3	-173,22	-136,46	-99,70***
2 - 4	-170,22	-133,46	-96,70***
3 - 1	99,82	136,33	172,84***
3 - 2	99,70	136,46	173,22***
3 - 4	-34,02	3,01	40,03
4 - 1	96,82	133,33	169,83***
4 - 2	96,70	133,46	170,22***
4 - 3	-40,03	-3,01	34,02

Cádmio - pelas concentrações de cádmio obtidas (Figura 29) não se verifica um padrão definido durante o período amostrado, com constantes variações ao longo do perfil em todas estações de coleta. Nota-se, contudo, um aumento nas

concentrações de cádmio nas estações 2, 3 e 4, em agosto/2000, nas quais os valores máximos atingidos foram de 10,0; 10,0 e 11,0 mg.kg^{-1} , respectivamente. Pode-se observar ainda que as menores concentrações foram determinadas em fevereiro de 2000, sendo que em maio e novembro de 2000 foram mais similares entre as estações de coleta, com as maiores concentrações na estação 4 (5,7 mg.kg^{-1} na camada 30-35 cm).

Os valores encontrados no reservatório de Salto Grande, no presente estudo, são maiores que os verificados em estudo desenvolvido por ESPÍNDOLA et al. (1998) no mesmo sistema, no qual as concentrações estiveram compreendidas entre 0,6 e 0,9 mg.kg^{-1} . TKALIN (1996) também observou para este elemento valores inferiores em testemunhos na baía de Ussuriysky (mar do Japão), com uma tendência ao aumento ao longo do perfil, com concentrações entre 0,39 mg.kg^{-1} (camada superficial) e 0,55 mg.kg^{-1} (28-30 cm). PRUDENTE (1999) obteve concentrações máximas de 2,59 mg.kg^{-1} e 15,2 mg.kg^{-1} nos rios Marikina e Pasig (Filipinas), as quais estão mais próximas aquelas determinadas nas amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

Em relação ao folhelho médio mundial (0,3 mg.kg^{-1}), segundo TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), verifica-se que as concentrações médias (Tabela 27) obtidas no presente estudo são bem mais elevadas. Considerando os parâmetros de classificação propostos por THOMAS (1987), as estações 2, 3 e 4 (em agosto de 2000), seriam classificadas como altamente poluídas (acima de 6,0 mg.kg^{-1}) em relação ao cádmio.

Figura 29: Concentrações de cádmio total ao longo do perfil do sedimento no reservatório de Salto Grande.

Tabela 27 : Concentração média de cádmio total no sedimento (mg.kg⁻¹), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
Fevereiro	0,92	0,31	1,24	1,83
Maio	1,97	2,23	2,39	3,48
Agosto	3,30	8,78	9,52	5,26
Novembro	1,98	3,13	3,13	4,30

A análise estatística (Tabela 28) demonstra que não existem diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os meses 2 e 4 (maio e novembro de 2000), o que pode ser observado pela proximidade entre as médias dos meses citados (Tabela 27). Entre

os demais meses ocorreram diferenças significativas, não sendo observada uma correspondência com as concentrações de cádmio potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2), que também não apresentou diferenças significativas entre os meses amostrados.

Tabela 28: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-2,8135	-1,4503	-0,0871***
1 - 3	-6,6007	-5,2375	-3,8743***
1 - 4	-3,4204	-2,0664	-0,7125***
2 - 1	0,0871	1,4503	2,8135***
2 - 3	-5,1302	-3,7872	-2,4442***
2 - 4	-1,9497	-0,6161	0,7175
3 - 1	3,8743	5,2375	6,6007***
3 - 2	2,4442	3,7872	5,1302***
3 - 4	1,8375	3,1711	4,5047***
4 - 1	0,7125	2,0664	3,4204***
4 - 2	-0,7175	0,6161	1,9497
4 - 3	-4,5047	-3,1711	-1,8375***

Devido às menores concentrações terem sido observadas na estação 1, a análise estatística demonstrou que existiram diferenças significativas ($p>0,05$) entre esta e as demais estações (Tabela 29).

Tabela 29: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-3,0005	-1,6669	-0,3333***
1 - 3	-3,2122	-1,8687	-0,5252***
1 - 4	-2,8577	-1,5142	-0,1707***
2 - 1	0,3333	1,6669	3,0005***
2 - 3	-1,5546	-0,2018	1,1510
2 - 4	-1,2001	0,1527	1,5055
3 - 1	0,5252	1,8687	3,2122***
3 - 2	-1,1510	0,2018	1,5546
3 - 4	-1,0081	0,3545	1,7171
4 - 1	0,1707	1,5142	2,8577***
4 - 2	-1,5055	-0,1527	1,2001
4 - 3	-1,7171	-0,3545	1,0081

Cromo - pelos valores encontrados para cromo total no sedimento (Figura 30) verifica-se acentuadas variações nas concentrações em maio, agosto e novembro de 2000 entre as estações de coleta, com a maior concentração de cromo sendo registrada em agosto de 2000, na estação 1 ($152,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), na camada de 20-25 cm.

Neste mesmo mês e mesma camada de sedimento, a estação 2 também apresentou valores elevados, com o máximo de $137,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Na estação 4 ocorreram as menores concentrações, com um pequeno decaimento nos meses de maio e agosto de 2000, e valores mais homogêneos ao longo do perfil em fevereiro de 2000. Na estação 3 foram verificadas variações mais acentuadas no perfil de sedimento durante o período amostrado, com a concentração máxima de $96,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ na camada superficial em novembro de 2000, e com a menor concentração ($9,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) na camada de 30-35 cm, em agosto de 2000.

Os valores encontrados no reservatório de Salto Grande podem ser comparados aos encontrados por MACIAS-ZAMORA et al. (1999), os quais obtiveram concentrações máximas de $80,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. As concentrações obtidas por TKALIN et al. (1996) no mar do Japão foram menores em relação à do presente estudo, mas com maior homogeneidade ao longo do perfil, variando entre $67,0$ e $70,0 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Figura 30: Concentrações de cromo total ao longo do perfil do sedimento de Salto Grande.

Comparando as concentrações médias (Tabela 30) com o folhelho médio mundial, segundo TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), verifica-se que em fevereiro/2000 todas as estações de coleta enquadram-se como altamente poluídas ($> 70,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e, segundo THOMAS (1987), nos demais meses as estações 1, 2 e 3 também são classificadas como altamente poluídas

Tabela 30: Concentração média de cromo total no sedimento (mg.kg^{-1}), nas diferentes estações e período de coleta no reservatório de Salto Grande.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4
Fevereiro	102,78	111,13	112,75	84,25
Maio	75,56	63,56	46,63	26,36
Agosto	139,78	108,00	70,79	53,22
Novembro	16,42	89,33	61,00	27,33

Pela Tabela 30, verifica-se uma proximidade entre as concentrações das estações 1 e 3 e entre as estações 2 e 4. No entanto, pela análise estatística (Tabela 31) não se verifica diferença significativa entre as estações citadas, com uma similaridade entre o cromo potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2).

Tabela 31: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo total no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	34.047	49.522	64.997***
1 - 3	-4.436	11.039	26.514
1 - 4	35.766	51.351	66.936***
2 - 1	-64.997	-49.522	-34.047***
2 - 3	-53.729	-38.483	-23.237***
2 - 4	-13.528	1.829	17.187
3 - 1	-26.514	-11.039	4.436
3 - 2	23.237	38.483	53.729***
3 - 4	24.955	40.312	55.669***
4 - 1	-66.936	-51.351	-35.766***
4 - 2	-17.187	-1.829	13.528
4 - 3	-55.669	-40.312	-24.955***

Devido às menores concentrações apresentadas pela estação 4, a análise estatística ($p>0,05$) demonstrou que existem diferenças significativas entre a estação citada e as demais estações, bem como entre as estações 2 e 3, não seguindo a tendência apresentada a compartimentalização do sistema, com apresentado para cromo potencialmente biodisponível (item 6.3.2.2).

Tabela 32: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo total no sedimento nas diferentes estações de coleta no reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MEDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-23,992	-8,852	6,287
1 - 3	-1,710	13,542	28,794
1 - 4	18,851	34,346	49,841***
2 - 1	-6,287	8,852	23,992
2 - 3	7,037	22,395	37,752***
2 - 4	27,599	43,198	58,797***
3 - 1	-28,794	-13,542	1,710
3 - 2	-37,752	-22,395	-7,037***
3 - 4	5,096	20,804	36,512***
4 - 1	-49,841	-34,346	-18,851***
4 - 2	-58,797	-43,198	-27,599***
4 - 3	-36,512	-20,804	-5,096***

6.3.2.2. Metais potencialmente biodisponíveis

Ferro - as concentrações de ferro potencialmente biodisponível obtidas no presente estudo (Figura 31) demonstram que, embora ocorram algumas variações entre os meses amostrados, as profundidades e as estações de coleta, os valores apresentaram pequena variação, sem um padrão nítido de decaimento ao longo do perfil do sedimento. Deve-se verificar que, geralmente, os valores iniciais e finais do perfil, em cada estação, apresentam concentrações próximas (entre 4.000 e 7.000 mg.kg^{-1} , dependendo do período amostral), demonstrando haver uma certa homogeneidade na distribuição de ferro nos 50 centímetros do perfil.

A menor concentração observada ocorreu em agosto de 2000, na estação 3, na última camada (entre 35-40cm), atingindo 2.680,0 mg.kg^{-1} , sendo a maior concentração (8.530,0 mg.kg^{-1}) determinada no mesmo mês, na camada 30-35 cm.

Figura 31: Concentração de ferro potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

TONISSI (1999) obteve valores mais baixos para ferro biodisponível no reservatório de Salto Grande, com concentrações entre 87,50 e 2345,0 mg.kg⁻¹. Valores mais baixos também foram encontrados por COSTA (2001) no reservatório de Barra Bonita e seus tributários, com variações entre 48,6 e 52,47 mg.kg⁻¹.

No entanto, os resultados obtidos por ESTEVES (1981) em vários reservatórios do Estado de São Paulo foram mais elevados. As concentrações de ferro biodisponível obtidas pelo autor foram de: 17135,0 mg.kg⁻¹ em Ibitinga, 10847,5 mg.kg⁻¹ em Promissão, 27866,0 mg.kg⁻¹ em Bariri, 19485,0 mg.kg⁻¹ em Marinbondo, 28023,0 mg.kg⁻¹ em Piraju, 10155,0 mg.kg⁻¹ em Jurumirim, 29222,4 mg.kg⁻¹ em Salto Grande.

A relação entre as concentrações médias de metais (ferro) potencialmente biodisponíveis e totais (Tabela 33), por perfil, demonstrou ocorrer uma pequena variação nos meses amostrados e nas diferentes estações de coleta (de 8,6 a 12,0%), com a menor biodisponibilidade ocorrendo em fevereiro (8,6%) e a maior (12,0%) em novembro de 2000, ambas na estação 1. Resultados semelhantes foram encontrados por DORNFELD (2002), mas com uma amplitude maior, variando de 4,0 a 11,0%, em amostragens superficiais de sedimento, nas mesmas estações de coleta. Por sua vez, TONISSI (1999) obteve porcentagens bem inferiores às encontradas no presente estudo, variando entre 0,09 a 2,95%.

Tabela 33: Relação entre as concentrações médias de ferro total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

	Estação 1			Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%
fev	5442	62972	8,6	7275	63718	11,4	6438	59355	10,8	6440	55408	11,6
mai	6554	61906	10,6	6081	62767	9,7	6476	61802	10,5	6551	55128	11,9
ago	5513	54614	10,1	6926	58642	11,8	5531	47236	11,7	6557	72680	9,0
nov	5730	47825	12,0	5455	51531	10,6	5277	45292	11,7	4910	44997	10,9

Na Tabela 34 são apresentados os resultados da análise estatística considerando-se os diferentes meses de coleta, verificando-se que somente o mês 4 (novembro/2000) apresentou diferenças significativas em relação ao demais meses amostrados, o que pode ser observado pelos menores valores médios obtidos neste mês (Tabela 33).

Tabela 34: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-672,6	-44,1	584,4
1 - 3	-349,8	278,7	907,2
1 - 4	402,5	1026,7	1650,9***
2 - 1	-584,4	44,1	672,6
2 - 3	-296,3	322,8	942,0
2 - 4	456,0	1070,8	1685,7***
3 - 1	-907,2	-278,7	349,8
3 - 2	-942,0	-322,8	296,3
3 - 4	133,1	748,0	1362,8***
4 - 1	-1650,9	-1026,7	-402,5***
4 - 2	-1685,7	-1070,8	-456,0***
4 - 3	-1362,8	-748,0	-133,1***

Os resultados da análise estatística considerando-se as diferentes estações de coleta são apresentados na Tabela 35, verificando-se que não houve, durante o período amostrado, nenhuma diferença significativa ($p>0,05$), demonstrando que para o elemento ferro, o sedimento mostrou-se relativamente homogêneo ao longo do sistema.

Tabela 35: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-1215,3	-600,4	14,4
1 - 3	-631,4	-12,0	607,5
1 - 4	-949,7	-330,3	289,1
2 - 1	-14,4	600,4	1215,3
2 - 3	-35,2	588,5	1212,2
2 - 4	-353,6	270,1	893,8
3 - 1	-607,5	12,0	631,4
3 - 2	-1212,2	-588,5	35,2
3 - 4	-946,5	-318,3	309,9
4 - 1	-289,1	330,3	949,7
4 - 2	-893,8	-270,1	353,6
4 - 3	-309,9	318,3	946,5

Manganês - verifica-se pela distribuição da concentração de manganês ao longo do perfil do sedimento (Figura 32), que esta demonstra um decaimento na maioria das estações e meses amostrados. A estação 2 foi a que apresentou sempre as maiores concentrações na camada inicial, com posterior decaimento ao longo do perfil, sendo também observado, nesta estação, o maior valor ($665,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), em novembro de 2000, na camada de 10-15 cm. A estação 1 também apresentou um decaimento ao longo do perfil, com exceção do mês de agosto, com valores um pouco abaixo que aqueles obtidos na estação 2, com concentração máxima em

fevereiro (500 mg.kg^{-1} , na camada de 5-10 cm). As estações 3 e 4 apresentaram comportamentos bem semelhantes ao longo do perfil, com concentrações iniciais maiores que as finais (de 400 para 150 mg.kg^{-1}), com exceção da estação 4 (em novembro de 2000, com aumento de 200 para 400 mg.kg^{-1} , entre 5-15cm, e posterior decréscimo), demonstrando um decaimento das concentrações ao longo do perfil e com valores menores que das estações 1 e 2 (geralmente entre 400 e 600 mg.kg^{-1}).

No reservatório de Barra Bonita e seus tributários, COSTA (2001) encontrou valores bem abaixo daqueles obtidos no reservatório de Salto Grande, com uma variação de 9,34 a $13,67 \text{ mg.kg}^{-1}$, enquanto TONISSI (1999), no mesmo reservatório de Salto Grande, obteve valores que variaram de 10,0 a $605,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, mas ainda sendo inferiores aos atuais.

Figura 32: Concentrações de manganês potencialmente biodisponível nas amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.

Por outro lado, ESTEVES (1981) obteve concentrações mais elevadas nos reservatórios de Jupia (846,0 mg.kg.⁻¹), Salto Grande (1124,4 mg.kg.⁻¹), Piraju (1042,0 mg.kg.⁻¹) e Rio Novo (1093,4 mg.kg.⁻¹). Em sistemas pouco impactados, como as lagoas pertencentes a Estação Ecológica do Jataí, LIMA (1990) encontrou valores mais baixos na lagoas do Diogo (168,0 mg.kg.⁻¹), Infernã (120,0 mg.kg.⁻¹) e Óleo (122,0 mg.kg.⁻¹), demonstrando que os resultados obtidos no reservatório de Salto Grande são de 2 a 3 vezes superiores as lagoas marginais.

As porcentagens potencialmente biodisponíveis de manganês em relação aos totais (Tabela 36) demonstram que este é um elemento potencialmente mais suscetível à mobilização ao longo do perfil e, conseqüentemente, a coluna d'água, com variações médias situadas entre 42,9 e 70,1 %, o que pode ser considerado como valores altos em termos de disponibilidade. DORNFELD (2002) obteve valores semelhantes, com variações entre 47,0 a 92,0% de biodisponibilidade de manganês na camada superficial do sedimento do reservatório de Salto Grande.

Tabela 36: Relação entre as concentrações médias de manganês total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

	Estação 1			Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%
fev	396,1	588,5	67,3	535,6	781,4	68,5	235,0	379,1	62,0	245,0	361,0	67,9
mai	321,1	623,8	51,5	342,8	632,6	54,2	218,1	433,0	50,4	187,8	437,7	42,9
ago	371,1	572,0	64,9	499,4	868,6	57,5	251,7	368,4	68,3	256,5	420,1	61,1
nov	325,7	502,6	64,8	492,5	774,2	63,6	250,6	357,4	70,1	250,0	417,2	59,9

Na Tabela 37 são apresentados os resultados da análise estatística para os meses de coleta, demonstrando que existem diferenças significativas somente entre os meses 2 e 3 (maio e agosto de 2000), sendo que para os demais meses não existiram diferenças significativas ($p > 0,05$).

Na Tabela 38 são apresentados os resultados obtidos na análise estatística considerando-se as diferenças entre as estações de coleta. Pelos resultados, verifica-se que a estação 2 apresentou diferenças significativas em relação às demais estações, o que pode ser observado pelas elevadas concentrações médias de manganês (Tabela 36).

Tabela 37: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-51,68	85,39	222,45
1 - 3	-204,82	-67,76	69,31
1 - 4	-115,95	20,19	156,33
2 - 1	-222,45	-85,39	51,68
2 - 3	-288,18	-153,14	-18,11***
2 - 4	-199,29	-65,20	68,90
3 - 1	-69,31	67,76	204,82
3 - 2	18,11	153,14	288,18***
3 - 4	-46,15	87,94	222,04
4 - 1	-156,33	-20,19	115,95
4 - 2	-68,90	65,20	199,29
4 - 3	-222,04	-87,94	46,15

Comparando-se com os dados da taxa de sedimentação (item 6.4), verifica-se que a taxa de sedimentação de manganês, na estação 2, foi a mais elevada durante o período amostrado, o que pode ser um indício de enriquecimento de manganês nesta área do reservatório.

Tabela 38: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

ESTACÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-250,31	-116,21	17,88
1 - 3	-95,27	39,82	174,91
1 - 4	-18,80	116,29	251,38
2 - 1	-17,88	116,21	250,31
2 - 3	20,01	156,04	292,06***
2 - 4	96,48	232,51	368,53***
3 - 1	-174,91	-39,82	95,27
3 - 2	-292,06	-156,04	-20,01***
3 - 4	-60,54	76,47	213,48
4 - 1	251,38	116,29	18,0
4 - 2	-368,53	-232,51	-96,4 ***
4 - 3	-213,48	-76,47	60,54

Zinco – na análise da Figura 33, verifica-se que as concentrações de zinco, ao longo do perfil, apresentaram pequenas variações durante o período amostrado (entre 40 e 70 mg.kg.⁻¹), com exceção da estação 1 (em todos os meses, com concentrações acima de 100 mg.kg.⁻¹ nas camadas superficiais) e a estação 4 (em agosto de 2000), com concentrações entre 100 e 150 mg.kg.⁻¹) na camada de 10-30cm. A estação 1 demonstra, nos meses de fevereiro, maio e agosto de 2000, um decaimento ao longo do perfil, com as concentrações nas camadas iniciais (entre 100 e 150 mg.kg.⁻¹) sendo maior que nas finais (abaixo de 100 mg.kg.⁻¹), apresentando ainda os maiores e os menores valores encontrados no perfil (169,0 mg.kg.⁻¹ na camada 15-20 cm, em

agosto de 2000 e $7,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, na mesma camada de sedimento, em fevereiro de 2000). As estações 2, 3 e 4 apresentaram uma maior homogeneidade em relação às concentrações ao longo do perfil de sedimento.

Figura 33: Concentrações de zinco potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

SILVÉRIO (1999), analisando os perfis dos sedimentos dos reservatórios da Billings e Barra Bonita, encontrou valores biodisponíveis que oscilaram entre 180,0 e $600,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (reservatório da Billings) e entre 21,0 e $33,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (reservatório de Barra Bonita). Os resultados obtidos por TONISSI (1999) no reservatório de Salto Grande demonstram concentrações semelhantes às encontradas no presente estudo, com variações entre 17,75 e $150,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. De forma contrária ao observado em relação aos demais metais, as concentrações obtidas pelo referido autor são próximas as atuais, demonstrando não haver grandes alterações de zinco no sistema.

As concentrações obtidas por ESTEVES (1981) em reservatórios do Estado de São Paulo são inferiores ao presente estudo. O autor obteve concentrações de 32,4

mg.kg⁻¹ de zinco potencialmente biodisponível em Pirajú; 31,8 mg.kg⁻¹ em Marimondo e 29,0 mg.kg⁻¹ em Jupia. Os resultados obtidos por PATELLA (1998) na represa de Guarapiranga são mais similares as do reservatório de Salto Grande, embora a concentração máxima obtida tenha sido de 130,0 mg.kg⁻¹.

As porcentagens de zinco potencialmente biodisponível em relação ao zinco total estão apresentadas na Tabela 39, verificando-se valores entre 28,3 e 84,3%, sendo que as maiores porcentagens de zinco biodisponível ocorreram na estação 4, principalmente em agosto e novembro de 2000, o que poderia estar associado a maior deposição de matéria orgânica (principalmente macrófitas), maior taxa de decomposição (liberação) e adsorção dos metais as partículas presentes no sedimento. Tal fato também foi observado para cromo e cobre (apresentado nos itens seguintes).

Tabela 39: Relação entre as concentrações médias de zinco total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

	Estação 1			Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%
fev	63,4	151,7	41,8	47,1	116,9	40,3	53,1	113,0	47,0	50,5	104,0	48,6
mai	93,8	178,2	52,6	49,1	119,2	41,2	49,4	105,9	46,6	47,1	106,4	44,3
ago	108,4	232,3	46,7	53,9	150,1	35,9	59,9	137,8	43,5	83,0	124,3	66,8
nov	49,2	174,1	28,3	57,7	108,2	53,3	52,2	107,3	48,7	50,6	60,0	84,3

A Tabela 40 demonstra que as concentrações de zinco biodisponível registrados em agosto/2000 apresentaram diferenças significativas em todos os meses de coleta, o que pode ser demonstrado pela Tabela 39, verificando-se que as maiores concentrações de zinco potencialmente biodisponível ocorreram neste mês, nas estações 1 e 4.

Tabela 40: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-20,915	-6,294	8,326
1 - 3	-38,315	-23,694	-9,074***
1 - 4	-13,089	1,432	15,953
2 - 1	-8,326	6,294	20,915
2 - 3	-31,804	-17,400	-2,996***
2 - 4	-6,577	7,726	22,029
3 - 1	9,074	23,694	38,315***
3 - 2	2,996	17,400	31,804***
3 - 4	10,823	25,126	39,429***
4 - 1	-15,953	-1,432	13,089
4 - 2	-22,029	-7,726	6,577
4 - 3	-39,429	-25,126	-10,823***

Na Tabela 41 são apresentados os resultados da análise estatística considerando-se as quatro estações de coleta. Verifica-se, pelos resultados obtidos, que a estação 1 apresentou diferenças significativas em relação às demais estações, o que é evidenciado pelos valores médios (Tabela 39), com as concentrações médias de zinco na estação 1 superiores às estações 2, 3 e 4.

Tabela 41: Teste de Tukey ($p>0,05$) para zinco potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	12,333	26,637	40,940***
1 - 3	10,283	24,693	39,102***
1 - 4	5,813	20,222	34,632***
2 - 1	-40,940	-26,637	-12,333***
2 - 3	-16,453	-1,944	12,565
2 - 4	-20,923	-6,414	8,095
3 - 1	-39,102	-24,693	-10,283***
3 - 2	-12,565	1,944	16,453
3 - 4	-19,084	-4,471	10,143
4 - 1	-34,632	-20,222	-5,813***
4 - 2	-8,095	6,414	20,923
4 - 3	-10,143	4,471	19,084

Cobre - na Figura 34 estão apresentados os resultados da análise de cobre no perfil de sedimento, verificando-se uma distribuição diferenciada em relação às estações e período de coleta. As estações 1 e 2 apresentaram as menores concentrações e distribuição mais homogênea ao longo do perfil (entre 25 e 50 mg.kg^{-1}), com exceção da estação 2, em fevereiro (entre 50 e 120 mg.kg^{-1} , nas camadas de 20 a 35cm) e maio de 2000 (acima de 100 mg.kg^{-1} a partir de 25cm). Nos meses de fevereiro, agosto e novembro de 2000, as estações 3 e 4 apresentaram um

mesmo padrão ao longo do perfil, com um aumento nas camadas mais profundas do sedimento, sendo que as maiores concentrações foram observadas na estação 3, com $247,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, na camada de 30-35 cm. Este aumento ao longo do perfil também foi observado por SILVÉRIO (1999) na represa Billings, na qual as concentrações de zinco variaram de $60,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ até 10 cm e, posteriormente, as concentrações atingiram valores próximos de $100,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ no sedimento.

Figura 34: Perfis de cobre potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande

TONISSI (1999) determinou valores similares no reservatório de Salto Grande, com a concentração máxima sendo obtida próxima à barragem, atingindo $146,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, verificando-se que as maiores concentrações também ocorreram nas estações finais do reservatório, com concentrações médias nas estações 3 e 4 de $124,65$ e $121,77 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente, o que pode estar relacionado à adição de algicidas (Sulfato de Cobre) e outros produtos usados no controle de plantas

aquáticas, uma vez que normalmente a maior biomassa das macrófitas está localizada mais próxima a barragem.

Estas concentrações mostraram-se bem inferiores aos valores determinados por PATELLA (1998) na represa de Guarapiranga, SP, na área sobre influência da aplicação de Sulfato de Cobre, na qual a concentração máxima, nos 20 cm de perfil de sedimento, foi de $3000,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, o que demonstra o impacto desta forma de controle da proliferação de algas não somente no plâncton mas na comunidade bentônica.

Os resultados obtidos por ESTEVES (1981) nas represas do Estado de São Paulo são similares, sendo de $60,7 \text{ mg.kg}^{-1}$, $55,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $40,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente nas represas de Bariri, rio Pari e Marimbondo. No entanto, em comparação com o estudo desenvolvido por LIMA (1990) nas lagoas da Estação Ecológica do Jataí (SP), as concentrações obtidas no reservatório de Salto Grande são mais elevadas, registrando-se $7,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $9,72 \text{ mg.kg}^{-1}$, nas lagoas do Diogo e Infernã, respectivamente.

Os valores médios obtidos para as porcentagens de cobre potencialmente biodisponíveis em relação aos totais (Tabela 42) demonstram uma maior biodisponibilidade nas estações 3 e 4, corroborando com as maiores concentrações de metais ao longo do perfil.

Na Tabela 43 estão apresentados os resultados da análise estatística, verificando-se que não existem diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os meses de coleta, caracterizando, dessa forma, uma homogeneidade durante o período amostrado. Em relação as diferentes estações de coleta (Tabela 44), verificou-se diferenças significativas entre as estações da entrada do reservatório (1 e 2) e as estações mais próximas da barragem (3 e 4), o que pode estar relacionado com as maiores taxas de sedimentação que normalmente ocorrem no primeiro compartimento do reservatório (estações 1 e 2).

Tabela 42: Relação entre as concentrações médias de cobre total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

	Estação 1			Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%
fev	28,02	61,44	45,6	58,88	100,04	58,8	141,38	213,17	66,3	122,3	178,89	68,4
mai	35,22	73,00	48,2	88,22	46,00	100,0	131,13	225,84	58,1	108,6	190,33	57,1
ago	37,00	66,89	55,3	26,78	53,78	49,8	108,22	167,00	64,8	137,0	209,90	65,3
nov	38,44	70,78	54,3	34,00	64,22	52,9	117,89	185,78	63,5	119,2	189,67	62,9

Obs: em negrito estão as concentrações de metais potencialmente disponíveis que foram maiores que a dos metais totais.

Tabela 43: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-30,335	-3,803	22,730
1 - 3	-18,078	8,455	34,987
1 - 4	-17,888	8,466	34,819
2 - 1	-22,730	3,803	30,335
2 - 3	-13,883	12,257	38,397
2 - 4	-13,689	12,268	38,226
3 - 1	-34,987	-8,455	18,078
3 - 2	-38,397	-12,257	13,883
3 - 4	-25,946	0,011	25,969
4 - 1	-34,819	-8,466	17,888
4 - 2	-38,226	-12,268	13,689
4 - 3	-25,969	-0,011	25,946

Tabela 44: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-43,057	-17,099	8,858
1 - 3	-114,478	-88,328	-62,177***
1 - 4	-115,713	-89,563	-63,413***
2 - 1	-8,858	17,099	43,057
2 - 3	-97,560	-71,229	-44,897***
2 - 4	-98,795	-72,464	-46,133***
3 - 1	62,177	88,328	114,478***
3 - 2	44,897	71,229	97,560***
3 - 4	-27,757	-1,235	25,286
4 - 1	63,413	89,563	115,713***
4 - 2	46,133	72,464	98,795***
4 - 3	-25,286	1,235	27,757

Cromo – em geral, os perfis de distribuição de cromo (Figura 35) apresentaram características bem semelhantes aos perfis de cobre, demonstrado pelo distribuição mais homogênea e com baixas concentrações na estação 1, com exceção do mês de novembro de 2000, no qual verifica-se uma redução pronunciada, com uma variação de $10,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (camada superficial) a $6,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ (camada final). A estação 2, como no perfil de cobre, apresentou em agosto de 2000 um comportamento mais homogêneo, sendo que em fevereiro, maio e novembro de 2000, as concentrações apresentaram um ligeiro aumento ao longo do perfil, com o valor máximo de $10,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ na camada de 40-45 cm, em novembro de 2000. Os perfis de concentração das estações 3 e 4 apresentaram um aumento na camada de 30-35 cm, na qual as concentrações máximas de $19,6$ e $16,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ foram registradas para as estações 3 e 4, com posterior decaimento em direção as camadas mais profundas.

SILVÉRIO (1999) encontrou comportamento semelhante para a represa Billings, com uma concentração de $25,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ na camada inicial e de $53,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em camadas mais profundas. No mesmo estudo, a concentração de cromo para a represa de Barra Bonita apresentou um comportamento semelhante ao da estação 1, com um perfil homogêneo, com uma variação de $4,0$ a $6,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cromo.

Os resultados obtidos por ESTEVES (1981) demonstram valores médios mais elevados ao longo do perfil em relação ao presente estudo, com $14,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ no reservatório de Bariri; $15,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ em Marimbondo e $16,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ no rio Pari. TONISSI (1999) obteve uma variação elevada para o sedimento do reservatório de Salto Grande, com concentrações superficiais entre $0,94 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $30,81 \text{ mg.kg}^{-1}$, em março de 1999. PATELLA (1998) determinou valores inferiores nos 20 cm iniciais de sedimento na represa de Guarapiranga, com a concentração máxima foi de $5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ na camada de 8-10 cm.

Observa-se pela Tabela 45 que as porcentagens das concentrações potencialmente biodisponíveis em relação às frações totais apresentam uma grande variação, mas, de maneira semelhante ao cobre e ao zinco, as maiores porcentagens ocorreram nas estações 3 e 4 (próximas à barragem), com valores entre $7,0$ e $29,5\%$, fato este também observado por DORNFELD (2002).

Figura 35: Perfis de cromo potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande

Tabela 45: Relação entre as concentrações médias de cromo total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

	Estação 1			Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%
fev	4,71	102,78	4,6	6,74	111,13	6,1	7,89	112,75	7,0	6,66	84,25	7,9
mai	6,52	75,56	8,6	8,37	63,56	13,2	10,23	46,63	21,9	8,11	26,36	30,8
ago	7,03	139,78	5,0	7,11	108,00	6,6	9,10	70,79	12,9	10,81	53,22	20,3
nov	7,78	16,42	47,4	7,64	89,33	8,6	9,59	61,00	15,7	8,06	27,33	29,5

Devido às menores concentrações de cromo potencialmente biodisponível terem ocorrido no mês 1 (fevereiro/2000), observou-se diferença significativa ($p>0,05$) entre este mês e os demais meses amostrados (Tabela 46).

Tabela 46: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo potencialmente biodisponível no sedimento, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-3,2964	-1,8060	-0,3156***
1 - 3	-3,5506	-2,0603	-0,5699***
1 - 4	-3,3015	-1,8212	-0,3409***
2 - 1	0,3156	1,8060	3,2964***
2 - 3	-1,7226	-0,2543	1,2140
2 - 4	-1,4733	0,0152	1,4428
3 - 1	0,5699	2,0603	3,5506***
3 - 2	-1,2140	0,2543	1,7226
3 - 4	-1,2190	0,2390	1,6971
4 - 1	0,3409	1,8212	3,3015***
4 - 2	-1,4428	0,0152	1,4733
4 - 3	-1,6971	-0,2390	1,2190

A Tabela 47, que relaciona as estações de coleta com as concentrações de cromo potencialmente biodisponível, demonstra diferenças significativas entre as quatro estações de coleta amostradas, com uma tendência ao comportamento apresentado pelo cobre, no qual as estações 1 e 2 e a estações 3 e 4 ficaram mais agrupadas durante o período de estudo. A Tabela 45 apresenta os valores médios que também caracterizam a tendência ao agrupamento entre os dois compartimentos do reservatório.

Tabela 47: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cromo potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-2,4327	-0,9746	0,4835
1 - 3	-4,1549	-2,6859	-1,2170***
1 - 4	-3,4196	-1,9507	-0,4817***
2 - 1	-0,4835	0,9746	2,4327
2 - 3	-3,1904	-1,7113	-0,2323***
2 - 4	-2,4551	-0,9761	0,5030
3 - 1	1,2170	2,6859	4,1549***
3 - 2	0,2323	1,7113	3,1904***
3 - 4	-0,7544	0,7353	2,2250
4 - 1	0,4817	1,9507	3,4196***
4 - 2	-0,5030	0,9761	2,4551
4 - 3	-2,2250	-0,7353	0,7544

Cádmio – a Figura 36 demonstra que os perfis de cádmio apresentaram variações ao longo dos meses amostrados, com concentrações mais próximas nos meses de maio e agosto de 2000 (entre 3,0 e 6,0 mg.kg⁻¹) e uma amplitude mais pronunciada entre fevereiro e novembro de 2000 (entre 4,0 e 10,0 mg.kg⁻¹).

Figura 36: Perfis de cádmio potencialmente biodisponível no sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Com relação às estações de coleta, a estação 1 (com exceção de fevereiro de 2000), apresentou concentrações relativamente homogêneas ao longo do perfil de sedimento, com valores médios variando de 3,37 a 6,50 mg.kg⁻¹, sendo que em fevereiro de 2000 ocorreu uma tendência ao decaimento, com as concentrações variando de 4,0 a 1,6 mg.kg⁻¹ (camada inicial e final, respectivamente).

A estação 2 apresentou semelhanças em relação à estação 1, com os menores valores médios observados em fevereiro de 2000 e mais homogêneos nos meses de

maio, agosto e novembro de 2000, variando de 3,92 a 6,77 mg.kg⁻¹. Embora a estação 3 tenha apresentado a maior concentração de cádmio (10,0 mg.kg⁻¹ na camada superficial em novembro de 2000), verifica-se que nesta estação ocorreu uma homogeneidade ao longo do perfil, similar às estações 1 e 2. A estação 4 apresentou nos meses de fevereiro, agosto e novembro de 2000 um pequeno aumento nas concentrações das camadas iniciais em relação às finais, atingindo sua concentração máxima de 7,5 mg.kg⁻¹ na camada 30-35 cm.

TONISSI (1999) encontrou valores inferiores ao do presente estudo no mesmo reservatório, detectando a presença de cádmio apenas em um dos quatro meses amostrados, com valores de 0,25 mg.kg⁻¹. SILVÉRIO (1999) também obteve concentrações inferiores na represa Billings, com valores oscilando entre 1,5 e 3,0 mg.kg⁻¹. Os valores encontrados por GIBBS (1993), na Austrália, também foram menores, com variações de 0,18 a 1,79 mg.kg⁻¹. ESTEVES (1981) determinou as maiores concentrações desse elemento nas represas de rio Pari (1,5 mg.kg⁻¹), Salto Grande (1,4 mg.kg⁻¹) e Jupia (1,3 mg.kg⁻¹), os quais são bem inferiores aos encontrados no presente estudo. PATELLA (1998), estudando os perfis de sedimento na represa de Guarapiranga, determinou valores inferiores aos de Salto Grande, com concentração máxima de 1,2 mg.kg⁻¹ na camada de 0-2 cm.

A Tabela 48 demonstra que somente em agosto de 2000 e nas estações 2 e 3, as concentrações da fração biodisponível de cádmio foram inferiores à fração total, sendo que nos demais meses e estações, a relação entre as frações foi de 100%. Este fato também foi observado por DORNFELD (2002), no rio Atibaia, demonstrando que este elemento está presente no sedimento em uma forma que pode ser facilmente liberada.

Tabela 48: Relação entre as concentrações médias de cádmio total e potencialmente biodisponível obtidas em amostras de sedimento do reservatório de Salto Grande.

	Estação 1			Estação 2			Estação 3			Estação 4		
	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%	Biod.	Total	%
fev	1,30	0,92	141,0	1,74	0,31	556,0	2,74	1,24	221,2	2,83	1,83	154,8
mai	3,37	1,97	171,2	3,92	2,23	175,6	4,90	2,39	205,2	4,97	3,48	142,8
ago	5,01	3,30	151,9	4,27	8,78	48,6	5,67	9,52	59,5	6,12	5,26	116,5
nov	6,50	1,98	328,7	6,77	3,13	216,0	6,93	3,13	221,3	6,08	4,30	141,3

Obs: em negrito estão todos os valores da fração biodisponíveis que estão acima da fração total.

Pela análise da Tabela 49 verifica-se que não ocorreram diferenças significativas entre as concentrações de cádmio potencialmente biodisponível nos meses amostrados. De maneira semelhante aos meses de coleta, a análise estatística não mostrou diferenças significativas ($p>0,05$) entre as estações de coleta.

Tabela 49: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio potencialmente biodisponível no sedimento nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-12,188	-2,081	8,026
1 - 3	-18,565	-8,458	1,649
1 - 4	-14,419	-4,379	5,661
2 - 1	-8,026	2,081	12,188
2 - 3	-16,255	-6,377	3,501
2 - 4	-12,107	-2,298	7,511
3 - 1	-1,649	8,458	18,565
3 - 2	-3,501	6,377	16,255
3 - 4	-5,730	4,079	13,889
4 - 1	-5,661	4,379	14,419
4 - 2	-7,511	2,298	12,107
4 - 3	-13,889	-4,079	5,730

Tabela 50: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio potencialmente biodisponível no sedimento, nas diferentes estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-9,961	-0,083	9,795
1 - 3	-16,464	-6,514	3,437
1 - 4	-10,844	-0,893	9,058
2 - 1	-9,795	0,083	9,961
2 - 3	-16,381	-6,431	3,520
2 - 4	-10,761	-0,810	9,141
3 - 1	-3,437	6,514	16,464
3 - 2	-3,520	6,431	16,381
3 - 4	-4,402	5,621	15,643
4 - 1	-9,058	0,893	10,844
4 - 2	-9,141	0,810	10,761
4 - 3	-15,643	-5,621	4,402

6.3.3. Água intersticial

Os resultados da análise de metais totais na água intersticial correspondem às camadas de sedimento obtidas dos perfis coletados com o “core” (até 50 cm de profundidade), os quais estão sendo apresentados graficamente para cada estação de coleta e período de amostragem. As análises de metais na água intersticial foram efetuadas somente nas amostras coletadas em maio e agosto de 2000 em função do total de material a ser analisado e da obtenção da amostra líquida em cada camada do perfil de sedimento. Como não foi possível obter os resultados para os quatro períodos, optou-se em não apresentar a análise estatística relacionada aos meses e estações de coleta neste item, sendo que uma análise conjunta será realizada no item “Considerações Finais”.

Ferro - pela Figura 37, verifica-se que em maio de 2000 as concentrações de ferro apresentaram uma maior variação entre as camadas de sedimento, principalmente nas estações 1, 2 e 3. Na estação 1 as concentrações de ferro foram menores na camada superficial, aumentando na camada de 15-20 cm, com concentração máxima de $5,29 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada de 20-25 cm, com posterior decréscimo. A estação 2 apresentou concentrações próximas às da estação 1, mas com maiores variações e valores de ferro, com a concentração máxima de $14,5 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada 20-25 cm, com decréscimo até a camada de 35-40 cm. A estação 3 apresentou a maior concentração na camada 0-5 cm (com $7,32 \text{ mg.L}^{-1}$) e um decréscimo acentuado na camada de 5-10 cm, com a concentração mínima de $0,082 \text{ mg.L}^{-1}$ ocorrendo na camada de 35-40 cm. A estação 4 apresentou concentrações próximas às da estação 3, com valor máximo de $2,94 \text{ mg.L}^{-1}$ sendo observado na camada de 0-5 cm, com posterior decaimento, atingindo a concentração mínima de $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada de 30-35 cm.

No mês de agosto de 2000, as estações 1, 2 e 4 apresentaram concentrações um pouco mais elevadas nas camadas superficiais, com os menores valores nas camadas mais profundas, embora tenha sido obtido um perfil mais homogêneo da distribuição de ferro (entre $0,0$ e $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$). A estação 3 foi a única que apresentou uma pequena alteração no perfil, com a maior concentração de $1,67 \text{ mg.L}^{-1}$ sendo observada na estação 30-35 cm. Deve-se verificar que os valores obtidos em maio de 2000 foram sempre superiores aos de agosto de 2000, mas comparando-se com os

valores obtidos em áreas alagadas na China, onde a amplitude variou de 2,22 a 13,97 mg.L^{-1} nos 20 centímetros iniciais (YU, et al. 2000), concluí-se que as concentrações verificadas no reservatório de Salto Grande não representam níveis tão elevados. Os valores encontrados no estuário do rio Reno por SALOMONS et al. (1988) também se mostram mais elevados aos obtidos no presente estudo, com concentrações máximas próximas de 60,0 mg.L^{-1} , com rápido decaimento até valores próximos de 1,0 mg.L^{-1} na camada de 15 cm.

Figura 37: Perfis de ferro na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Manganês – na Figura 38 encontra-se o perfil de distribuição de manganês em maio de 2000, o qual, de maneira semelhante ao observado para a distribuição de ferro, também demonstra variações bem pronunciadas para manganês na água intersticial, principalmente nas estações 1, 2 e 3. A concentração de 0,16 mg.L^{-1} , na camada inicial na estação 1, representou somente 35 % da concentração máxima de 0,47 mg.L^{-1} obtida na camada de 20-25 cm, com posterior decaimento, mas ainda com elevadas variações na última camada. A estação 2 apresentou as maiores concentrações de manganês, atingindo seu máximo de 0,83 mg.L^{-1} na camada de 5-10 cm, com variações nas camadas inferiores, mas com uma tendência ao valor mínimo de 0,06 mg.L^{-1} nas camadas de 30-35 e de 35-40 cm. As concentrações na estação 3 demonstraram uma ligeira tendência ao decaimento, variando de 0,24 (camada superficial) a 0,006 mg.L^{-1} (30-35 cm), mas com um aumento na camada de 35-40 cm, com a concentração de 0,23 mg.L^{-1} . Este aumento também foi observado na estação 4, com um pequeno aumento na última camada do perfil, mas com um

valor de aproximadamente 50 % menor que o valor máximo de $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ detectado na camada superficial.

Em agosto de 2000, a estação 1 apresentou um decréscimo nas concentrações de manganês ao longo do perfil de sedimento, mas devido à camada de 10-15 cm (que apresentou o maior valor: $0,57 \text{ mg.L}^{-1}$ de manganês em agosto de 2000), esse decréscimo não se mostrou tão claro como na estação 4, que apresentou sua maior concentração na camada inicial ($0,068 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor na última camada ($0,0045 \text{ mg.L}^{-1}$). As estações 2 e 3 apresentaram algumas variações, mas com uma tendência aos maiores valores nas camadas superficiais ($0,058$ e $0,24 \text{ mg.L}^{-1}$) e aos valores mínimos nas camadas finais de sedimento ($0,0083$ e $0,0054 \text{ mg.L}^{-1}$), respectivamente.

YU et al. (2000) registraram variações de $0,73$ a $1,13 \text{ mg.L}^{-1}$ de manganês, ao longo de 20 cm de perfil, em áreas alagadas chinesas, os quais foram mais elevados que os valores encontrados no reservatório de Salto Grande. SALOMONS et al. (1988) também obtiveram concentrações mais elevadas no estuário do rio Reno, com máximo de $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada superficial e mínimo de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada de 15 cm.

Figura 38: Perfis de manganês na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Zinco - de forma semelhante ao que foi observado para a distribuição e concentração de ferro e manganês, verifica-se que as concentrações de zinco (Figura 39) em maio de 2000 foram mais elevadas em relação às de agosto de 2000 mas, em ambos os meses, o decaimento das concentrações ao longo do perfil pode ser

observado de forma mais evidente, embora algumas concentrações no perfil de sedimento não tenham apresentado esta tendência.

Em maio de 2000, o perfil da estação 1 apresentou a maior concentração na camada superficial (com $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor concentração na camada de 5-10 cm, com $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$. Excetuando essa variação, a tendência é a ocorrência de um decaimento ao longo do perfil. A estação 2 apresentou maiores variações, incluindo a maior concentração de $0,019 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada de 5-10 cm, com um decaimento ao longo do perfil até a concentração mínima de $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$, na última camada amostrada do perfil de sedimento. A estação 3 apresentou um decaimento mais pronunciado, com a maior concentração de $0,008 \text{ mg.L}^{-1}$ sendo observada na camada de 5-10 cm, decrescendo até o valor de $0,0017 \text{ mg.L}^{-1}$ na última camada. A estação 4 apresentou sua maior concentração na camada de 25-30 cm, atingindo o valor de $0,015 \text{ mg.L}^{-1}$. Excetuando-se essa concentração, o perfil segue a tendência de decaimento para as camadas mais profundas, variando de $0,0069$ (0-5cm) a $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ (35-40 cm).

Em agosto de 2000, as estações 1 e 2 apresentaram algumas concentrações com tendência contrária ao observado anteriormente, sendo esses valores os máximos observados, como $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$ (estação 2) na camada de 10-15 cm. Nas estações 3 e 4, o decréscimo das concentrações aparece de maneira mais clara, com pequenas variações ao longo do perfil.

Figura 39: Perfis de zinco na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande

HAYES & BUCKNEY (1998) determinaram em três rios urbanos da Austrália concentrações de $0,066$; $0,0028$ e $0,0024 \text{ mg.L}^{-1}$. YU et al. (2000)

obtiveram valores médios de $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ em áreas alagadas da China e no rio Le Na, LIU et al. (1999) encontraram valores que variaram de $0,02$ a $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$. SILVÉRIO (1999), no reservatório de Barra Bonita encontrou valores médios bem mais elevados, atingindo $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$.

Cádmio - a Figura 40 apresenta as concentrações ao longo do perfil no mês de maio de 2000, no qual verifica-se, como para os demais metais, algumas variações principalmente nas estações 1, 2 e 3, mas com uma tendência ao decaimento ao longo do perfil. A estação 1 apresentou a maior concentração ($0,024 \text{ mg.L}^{-1}$) na camada de 0-5 cm e, apesar de um aumento na camada de 20-25 cm, observa-se um decaimento até $0,013 \text{ mg.L}^{-1}$ na última camada. Embora na estação 2 tenham ocorrido as maiores concentrações nas camadas de 25-30 e de 30-35 cm, verifica-se que a concentração de $0,012 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada superficial apresentou-se maior que a concentração de $0,006 \text{ mg.L}^{-1}$ na última camada, demonstrando ocorrer um decaimento ao longo do perfil. A estação 3 apresentou pequenas variações ao longo do perfil, com exceção da camada de 10-15 cm, a qual apresentou a maior concentração ($0,016 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo que os demais valores permaneceram constantes. A estação 4 demonstrou uma semelhança com a estação 3, com valores praticamente constantes e uma homogeneidade de concentrações ao longo do perfil.

Em agosto de 2000 verificou-se as maiores concentrações na estação 1, com $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada de 25-30 cm e $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$ na camada superficial, com posterior decaimento até $0,0098 \text{ mg.L}^{-1}$ na última camada. Na estação 2, observou-se uma pequena variação na camada de 5-10 cm ($0,02 \text{ mg.L}^{-1}$) mas, em geral, as concentrações permaneceram próximas a $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ ao longo do perfil. As estações 3 e 4 demonstraram praticamente as mesmas concentrações ao longo do perfil, com concentrações próximas a $0,0025 \text{ mg.L}^{-1}$.

YU et al. (2000) obtiveram, em perfis de águas intersticiais, valores que variaram de $0,28$ a $1,12 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto HAYES & BUCKNEY (1998) determinaram valores que variaram de $< 0,7$ a $11 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ em rios australianos. MASUTTI et al. (2000), estudando o manguezal de Itacorubi, em Santa Catarina, encontrou valores extremamente altos ($1,1 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) em relação aos obtidos no reservatório de Salto Grande e LIU et al. (op cit.) determinaram valores que variaram de $0,2$ a $0,7 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ no rio Le Na (China). Comparando-se os resultados obtidos pelos

autores acima mencionados com os do presente estudo, verifica-se que as concentrações obtidas na água intersticial do reservatório de Salto Grande são bem inferiores.

Figura 40: Perfis de cádmio na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta.

Cobre – para cobre somente foi possível obter resultados para as amostras de maio de 2000 (Figura 41), verificando-se variações mais acentuadas, com a maior concentração de $2,13 \mu\text{g.L}^{-1}$ sendo observada na estação 1 (camada 25-30 cm), com posterior decaimento para $0,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ na última camada. Embora ocorra esse decaimento, verifica-se que a concentração da última camada é superior ao valor de $0,38 \mu\text{g.L}^{-1}$ encontrado na camada superficial, o que demonstra um ligeiro aumento nas concentrações ao longo do perfil, o que pode ser observado também nas estações 2 e 3, nas quais as últimas camadas apresentaram valores ligeiramente superiores aos das camadas mais profundas. Este aumento ao longo do perfil também foi observado em áreas alagadas chinesas por YU et al. (2000), com aumento das concentrações ($2,79 \mu\text{g.L}^{-1}$) na camada de 15 a 20 cm. HAYES & BUCKNEY (1998) encontraram valores que variaram de 4,0 a $22,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ em rios australianos, enquanto os valores de YU et al. (1999), na China, variaram de 2,0 a $24,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, ambos bem abaixo dos $240,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ encontrados por MASUTTI et al. (2000), no manguezal de Itacorubi (Santa Catarina). Os valores encontrados no reservatório de Salto Grande (presente estudo) também foram abaixo dos $4,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ obtidos no estuário do rio Reno, mas próximos aos $1,89 \mu\text{g.L}^{-1}$ determinados na baía Villebrach (França), por SALOMONS et al. (1988).

Figura 41: Perfis de cobre na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Cromo - as concentrações e os perfis de distribuição de cromo na água intersticial (Figura 42) foram bem diferentes nos dois meses amostrados. Em maio de 2000, foram observados nas estações 2, 3 e 4 os maiores valores de cromo na camada superficial (19,53; 9,08 e 12,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente), com posterior decaimento na camada de 5-10 cm, mantendo distribuição mais homogênea ao longo do perfil. A estação 1 apresentou menor valor na camada superficial, com posterior aumento ao longo do perfil, atingindo seu valor máximo (9,51 $\mu\text{g.L}^{-1}$) na camada de 30-35 cm. Situação semelhante também pode ser observada em agosto de 2000, com a concentração máxima de 60,35 $\mu\text{g.L}^{-1}$ ocorrendo na camada de 35-40 cm. As demais estações também apresentaram uma tendência a estes valores mais elevados nas camadas mais profundas, mas com concentrações mais baixas, sendo que as estações 2 e 4 apresentaram concentrações de 25,1 e 30,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, nas camadas 35-40 e 20-25 cm respectivamente.

Figura 42: Perfis de cromo na água intersticial ao longo do sedimento, nas quatro estações de coleta, no reservatório de Salto Grande.

YU et al. (2000) registraram valores próximos aos encontrados no reservatório de Salto Grande, com concentrações variando de 18,0 a 49,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em perfis de áreas alagadas na China. HONG et al. (1995) encontraram concentrações inferiores as do presente estudo, atingindo 6,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$. SALOMONS et al. (1988) determinaram perfis no estuário do rio Reno com aumento em direção às camadas mais profundas, com o máximo de 8,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo que na baía de Villebrach (na França), as concentrações máximas ao longo do perfil não ultrapassaram 0,36 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Dessa forma, observa-se que os valores obtidos no reservatório de Salto Grande, estão acima daqueles encontrados em outros sistemas.

Análise multivariada

Para a análise de agrupamento da água intersticial foram utilizados somente os dados médios de metais ao longo do perfil, em 2 meses (maio e agosto) e duas estações de coleta, utilizando-se os mesmos procedimentos para a análise da água. O *Cluster* obtido para água intersticial pode ser visualizado na Figura 43.

Figura 43: Cluster para os dados de água intersticial. Rc=0,88.

Pela análise do *Cluster* ao nível de corte de 0,06, verifica-se a formação de três grupos, sendo o primeiro formado por cinco estações de coleta nos meses de agosto e maio, o segundo, formado por duas estações no mês de maio e o terceiro composto por uma única estação no mês de maio.

No primeiro agrupamento, as menores distâncias foram observadas entre as estações 1 e 2 de agosto, demonstrando similaridade em apenas 2 das 6 variáveis, sendo elas ferro e zinco. A estação 4 juntou-se às estações 1 e 2 por apresentar similaridades entre as mesmos variáveis. Complementando o primeiro agrupamento, observou-se que as estações 4 (maio) e 3 (agosto) demonstraram similaridades em função do ferro e cádmio.

O segundo agrupamento foi observado entre as estações 1 e 3 (maio), demonstrando similaridade em apenas 1 parâmetro, sendo ele o ferro. A estação 2 (maio) complementa o agrupamento juntando-se aos demais meses na maior distância observada. O terceiro grupo formado pela estação 2 em maio se distinguiu das demais estações por apresentar concentrações mais elevadas de ferro, manganês e zinco.

Analisando-se o *Cluster* de maneira geral, verifica-se que o primeiro agrupamento apresentou uma maior frequência referente ao mês de agosto, sendo que o segundo e terceiro agrupamentos foram compostos basicamente pelo mês de maio. Também observou-se uma forte influência do ferro em todos os grupos, demonstrando ser este um fator determinante para o agrupamento.

6.3.4. Organismos (Plâncton)

Neste item estão sendo apresentados os resultados das análises de metais nos organismos planctônicos, considerando-se aqueles que ficaram retidos na rede de plâncton com abertura de malha de 20,0 μm . Como mencionado anteriormente, as análises foram efetuadas para o material coletado em maio, agosto e novembro de 2000 e fevereiro de 2001. Os resultados estão sendo apresentados graficamente, buscando-se uma relação com o tempo de retenção da água, a vazão afluente e a precipitação, as quais implicariam em um maior aporte ou retenção de materiais no sistema, com maior efeito aos organismos.

Ferro – os resultados obtidos na determinação de ferro (Figura 44) demonstram que as maiores concentrações nos organismos ocorreram em agosto de 2000, nas estações de coleta 1, 2 e 4, com a concentração máxima de 0,081 mg.L^{-1} (na estação 1), com conseqüente decaimento dos valores nas estações 2 e 3, e um aumento na estação 4, sendo este o máximo valor atingido nesta estação durante o período estudado (0,026 mg.L^{-1}). Os meses de maio e novembro de 2000 apresentaram as concentrações mais elevadas na estação 1 (0,02 e 0,027 mg.L^{-1} , respectivamente), com posterior decaimento dos valores em direção à estação 4 (barragem), demonstrando uma menor retenção desse elemento pelos organismos, o que pode ser observado pelas menores concentrações de ferro na água na estação 4.

Figura 44: Concentrações de ferro nos organismos planctônicos durante o período de estudo, no reservatório de Salto Grande.

Deve-se observar que as maiores amplitudes entre as estações de coleta 1 e 4 ocorreram nos meses de agosto, maio e novembro de 2000, com valores de 68,0; 72,0 e 90,0%, respectivamente. Em fevereiro de 2001, a variação foi de 38,0%, sendo, portanto, menor que nos meses anteriores, com uma tendência às maiores retenções durante o período seco.

Em geral, verifica-se uma relação inversamente proporcional, com exceção ao mês de maio de 2000, entre o tempo de residência da água e as concentrações de ferro nos organismos, demonstrado pelo decaimento dos valores de retenção de metais ao longo do período amostrado. Segundo CALIJURI (1999), além dos fatores bióticos e abióticos, da hidrodinâmica diferenciada em função da localização, morfometria e principal finalidade do sistema, deve-se considerar os “pulsos” devidos ao ciclo hidrológico: a precipitação regerá o sistema operacional da barragem, que determinará os diferentes tempos de residência da água no sistema, os “pulsos” de material em suspensão e de nutrientes, ciclagem de materiais e a perda da biomassa.

A Tabela 51 demonstra que o mês 2 (agosto/2000) apresentou diferenças significativas em relação aos demais meses (1, 3 e 4), devido às maiores concentrações médias de retenção de ferro nos organismos, principalmente nas estações de coleta 1 e 2.

Tabela 51: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para ferro nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).

GRUPOS	MÉDIA	N	MESES
B	0,011350	8	1
A	0,038975	8	2
B	0,010725	8	3
B	0,013800	8	4

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Manganês - pela Figura 45, observa-se que apesar dos organismos possuírem concentrações de manganês menores que as de ferro, estes apresentam características semelhantes ao longo do período amostrado, pelo fato das retenções máximas serem determinadas na estação 1, principalmente nos meses de maio e novembro de 2000 e fevereiro de 2001, com concentrações máximas de 0,0006, 0,0021 e 0,00046 mg.L⁻¹, respectivamente, e posterior decaimento nas demais estações de coleta, com valores

mínimos na estação 4 ($0,0004 \text{ mg.L}^{-1}$, em maio de 2000, de $0,0006 \text{ mg.L}^{-1}$, em novembro de 2000 e de $0,0016 \text{ mg.L}^{-1}$ em fevereiro de 2001), podendo ser demonstrado pelas menores concentrações de manganês na água na estação 4.

Figura 45: Concentrações de manganês retidas nos organismos plânctônicos.

Com relação ao mês de agosto de 2000 deve-se notar duas peculiaridades: 1) apresentou a maior retenção de manganês durante o período estudado, sendo a concentração de $0,0054 \text{ mg.L}^{-1}$ determinada na estação 4; 2) apresentou características semelhantes ao ferro, com diminuição dos valores entre a estação 1 e 3, com posterior aumento na estação 4.

As maiores amplitudes de valores entre as estações de coleta 1 e 4 foram observadas entre os meses de novembro de 2000 e fevereiro de 2001, com diferenças de 71,0 e 65,0%, respectivamente. No período seco, observou-se que as variações foram de 35,0% em maio de 2000, mas em agosto de 2000 a estação 4 apresentou maiores valores que a estação 1, sendo, desse modo, uma amplitude contrária de 50,0%.

Verifica-se que a retenção de manganês nos organismos demonstra relação com a precipitação e vazão afluente, sendo que nos meses de agosto e novembro de 2000, os maiores valores de chuva e de vazão também corresponderam as maiores retenções de manganês nos organismos, indicando um possível maior aporte e incorporação nestes períodos.

A Tabela 52 demonstra que os meses 2 e 3 (maio e novembro de 2000) e (agosto de 2000 e fevereiro de 2000) apresentaram comportamentos semelhantes, podendo ser agrupados de acordo com as médias das retenções de manganês pelos organismos, sendo que em agosto e novembro de 2000 foram obtidas as maiores concentrações de manganês.

Tabela 52: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês nos organismos nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).

GRUPOS	MÉDIA	N	MESES
B	0,0003750	8	1
A	0,0026500	8	2
B	0,0010000	8	3
A	0,0025750	8	4

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Zinco - as concentrações de zinco nos organismos planctônicos, apresentadas na Figura 46, demonstram que nos meses de maio de 2000 ($0,0003 \text{ mg.L}^{-1}$), agosto de 2000 ($0,0008 \text{ mg.L}^{-1}$) e novembro de 2000 ($0,0017 \text{ mg.L}^{-1}$) foram observados os maiores valores na estação 1, com posterior decaimento em direção a estação 4, que apresentou os menores valores de $0,0001$, $0,0006$ e $0,0003 \text{ mg.L}^{-1}$ em maio, agosto e novembro de 2000, respectivamente. Em fevereiro de 2001, ocorreu a maior retenção de zinco nos organismos nas estações 2 ($0,0014 \text{ mg.L}^{-1}$), 3 ($0,0007 \text{ mg.L}^{-1}$) e 4 ($0,0007 \text{ mg.L}^{-1}$), fator este que pode estar relacionado com a maior concentração de zinco obtidas nas amostras de água do reservatório de Salto Grande, em fevereiro de 2001.

Com relação às amplitudes de concentração, nota-se que estas foram tão elevadas quanto para o ferro e o manganês, com uma variação de 82,0% entre os organismos da estação 1 e 4, em novembro de 2000, e de 66,0% em maio de 2000. Nos meses de agosto de 2000 e fevereiro de 2001, esta variação foi de 25,0% e 33,0%, respectivamente.

KAREZ et al. (1994) determinaram concentrações extremamente elevadas em algas bentônicas na Baía de Sepetiba (Rio de Janeiro), sendo que os valores oscilaram entre 0,15 a 0,48 ppm. COELHO & GRECO (1998) determinaram concentrações extremamente elevadas em organismos planctônicos na lagoa da

Pampulha (Belo Horizonte), com valores acima de 100,0 ppm, muito superiores às concentrações obtidas nos organismos planctônicos no reservatório de Salto Grande.

Figura 46: Concentrações de zinco retidas nos organismos planctônicos.

Verifica-se que, para a concentração de zinco, a precipitação e a vazão afluente apresentaram relação, indicando maior aporte de materiais ao sistema e posterior incorporação, sendo que o tempo de residência da água não mostrou relação direta com as estações de coleta e com os meses amostrados.

Na análise estatística (Tabela 53) verificou-se que o mês 1 (maio de 2000) apresentou diferenças significativas em relação aos demais meses, principalmente em função das suas médias mais baixas. Os meses de agosto e novembro de 2000 e fevereiro de 2001 demonstraram não haver diferenças significativas entre suas médias, com valores médios mais elevados de retenção nos organismos.

Tabela 53: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para zinco nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).

GRUPOS	MÉDIA	N	MESES
B	0,0001750	8	1
AB	0,0005250	8	2
A	0,0007000	8	3
A	0,0008250	8	4

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Cobre - de maneira semelhante ao zinco, os valores obtidos para cobre (Figura 47) demonstraram retenções nos organismos, aumentando ao longo do período estudado, com as menores concentrações ocorrendo em maio de 2000 e as maiores em fevereiro de 2001. Verifica-se, também, que nos meses de maio, agosto e novembro de 2000, as maiores retenções foram observadas na estação 1, com valores de 0,0002, 0,0006 e 0,0018 mg.L^{-1} , respectivamente, com posterior decaimento em direção a estação 4. Nota-se que as oscilações demonstradas para zinco nos meses de agosto e novembro também foram encontradas para cobre, com um aumento na estação 4 para o mês de agosto de 2000 e a retenção mais elevada na estação 2 (0,0012 mg.L^{-1}), em fevereiro de 2001.

As maiores amplitudes de concentração encontradas para cobre nos organismos, de maneira semelhante ao zinco, foram encontradas no mês novembro, com 88,0% de variação entre a estação 1 e 4. Nos meses de maio e fevereiro/01, a variação ocorrida foi de 50,0% para ambos os meses, enquanto o mês de agosto apresentou as menores variações nos organismos entre as estações (com 16,0%).

Figura 47: Concentrações de cobre retidas nos organismos planctônicos.

As concentrações de cobre determinadas por KAREZ et al. (1994) em *Padina gymnospora* (alga bentônica), na Baía de Sepetiba (Rio de Janeiro), foram mais elevadas em relação as observadas no reservatório de Salto Grande, oscilando entre 1,5 a 4,5 ppm. Concentrações elevadas também foram determinadas por SAWIDIS

& VOULGAROPOULOS (1986), na Grécia, em algas marinhas *Gracilaria verrucosa*, atingindo valor máximo de $1,20 \text{ mg.L}^{-1}$. Ambos os valores obtidos mostraram-se extremamente elevados em relação aos observados no reservatório de Salto Grande, demonstrando não haver uma elevada retenção de cobre junto aos organismos planctônicos.

Segundo MOORE & RAMAMOORTHY (1984), a toxicidade do cobre em águas doces é maior que em águas salgadas, sendo que a DL 50 (dose letal que afeta 50% dos organismos) para invertebrados é inferior a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, concentração esta bem acima das obtidas no reservatório de Salto Grande.

Avaliando os dados de cobre em conjunto com precipitação, vazão afluyente e tempo de retenção, verifica-se que a precipitação e a vazão afluyente apresentaram uma relação direta com a absorção de cobre, sendo que com tempo de residência da água essa tendência não foi observada.

De maneira semelhante ao zinco, as retenções de cobre apresentaram diferenças significativas em maio de 2000, sendo que os meses 3 e 4 (novembro de 2000 e fevereiro de 2001) puderam ser agrupados em um mesmo conjunto de dados, devido à semelhança de suas médias (Tabela 54).

Tabela 54: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para cobre nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).

GRUPOS	MÉDIA	N	MESES
B	0,0000500	8	1
AB	0,0003500	8	2
A	0,0007500	8	3
A	0,0007250	8	4

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Cádmio - pela Figura 48, verifica-se que a concentração de cádmio nos organismos planctônicos não demonstra um padrão semelhante aos apresentados anteriormente, sendo que somente nos meses de agosto e novembro de 2000 ocorreu um decaimento dos valores da estação 1 em direção a estação 4.

Verifica-se que em maio de 2000 o maior valor foi obtido na estação 3 (com $0,00008 \text{ mg.L}^{-1}$) e o menor na estação 2 (zero). Em agosto de 2000 observou-se situação semelhante, com as maiores concentrações ocorrendo na estação 3 ($0,00013 \text{ mg.L}^{-1}$) e na estação 2 a menor (novamente zero). Em novembro de 2000, observou-se que as concentrações nos organismos nas estações 1, 2 e 4 apresentaram variações

muito pequenas, diferentemente da estação 3, a qual apresentou a concentração igual a zero (similar a estação 2, em maio e agosto de 2000). Nota-se que em fevereiro de 2001 não existem grandes variações entre as retenções nas estações 1, 2 e 3, com valores de 0,00003, 0,00002 e 0,00002 mg.L^{-1} , diferentemente da estação 4 (zero).

Figura 48: Concentrações de cádmio retidas nos organismos planctônicos.

Devido às baixas retenções de cádmio nos organismos, nota-se que a amplitude nas concentrações foram extremamente elevadas, atingindo, entre as estações 1 e 4, 100,0% em fevereiro de 2001 e 50,0% em agosto e novembro de 2000. Em maio de 2000, observou-se um aumento em direção à estação 4, com uma amplitude de 66,0%.

Deve-se observar que somente em alguns meses e estações de coleta a precipitação e a vazão apresentaram correspondência com o conteúdo de cádmio presente. A concentração de cádmio com o aumento da vazão e da precipitação, com exceção de fevereiro de 2001. As estações 3 e 4 apresentaram uma correspondência com o tempo de residência da água, com a maior concentração de cádmio ocorrendo em função do aumento do tempo de residência da água.

As concentrações determinadas por KAREZ et al. (1994), na Baía de Sepetiba (Rio de Janeiro), estiveram compreendidas entre 0,45 e 1,35 ppm, em algas bentônicas da espécie *Padina gymnospora*. COELHO & GRECO (1998) determinaram concentrações que oscilaram entre 0,66 e 1,24 ppm em organismos planctônicos na lagoa da Pampulha (Belo Horizonte), demonstrando que as

concentrações obtidas nos organismos planctônicos do reservatório de Salto Grande são inferiores em relação a ambos sistemas.

A Tabela 55 demonstra que não existem diferenças significativas para a retenção de cádmio nos organismos em relação aos meses amostrados nas diferentes estações de coleta.

Tabela 55: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para cádmio nos organismos nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).

GRUPOS	MÉDIA	N	MESES
A	0,00003000	8	1
A	0,00002500	8	2
A	0,00001000	8	3
A	0,00001000	8	4

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Cromo - a retenção de cromo nos organismos (Figura 49) mostra um comportamento diferente dos metais anteriormente mencionados. Em maio de 2000, as retenções de cromo foram mais elevadas na estação 4 ($0,00011 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo que em agosto de 2000 verificou-se que a concentração de cromo na estação 1 foi igual a zero, aumentando em direção às estações 3 e 4, atingindo o valor máximo de $0,00009 \text{ mg.L}^{-1}$ em ambas estações. Em novembro de 2000, as concentrações não apresentaram amplitudes elevadas, contudo, não se observou um decaimento da estação 1 em direção a estação 4, com os valores aumentando neste sentido, atingindo o máximo de $0,00011 \text{ mg.L}^{-1}$. Em fevereiro de 2001 obteve-se os maiores valores na estação 1 ($0,00005 \text{ mg.L}^{-1}$), com um decaimento das concentrações em direção a estação 4 ($0,00002 \text{ mg.L}^{-1}$), um padrão semelhante aos anteriores.

Verifica-se que o único mês que apresentou um decaimento ao longo das estações de coleta foi o mês de fevereiro/01, sendo que a amplitude entre a estação 1 e 4 foi de 60%. Nos demais meses amostrados, geralmente as estações mais próximas da barragem apresentaram retenções maiores que nas estações próximas ao rio Atibaia (primeiro compartimento).

Figura 49: Concentrações de cromo retidas nos organismos planctônicos.

Em relação à avaliação com outras variáveis, verificou-se que existem poucas correspondências entre a absorção de metais e a precipitação, vazão e tempo de residência da água, sendo que somente nos meses de novembro de 2000 e fevereiro de 2001, ocorreu uma pequena relação entre a precipitação e a retenção de cromo nos organismos.

De forma semelhante ao zinco, cobre e cádmio, as concentrações determinadas por KAREZ et al. (1994) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, foram superiores aos valores encontrados em Salto Grande, com oscilações entre 2,0 e 8,0 ppm.

A Tabela 56 demonstra que não ocorreram variações nas retenções médias, nos diferentes meses amostrados, demonstrando que a sazonalidade não afeta a retenção de cromo pelos organismos.

Tabela 56: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para cromo nos organismos, nos diferentes meses de coleta: 1 (maio), 2 (agosto), 3 (novembro) e 4 (fevereiro/01).

GRUPOS	MÉDIA	N	MESES
A	0,00007600	8	1
A	0,00005000	8	2
A	0,00008800	8	3
A	0,00003000	8	4

N = número de amostras analisadas para cada estação de coleta.

Análise multivariada

Para a análise de agrupamento dos metais nos organismos foram utilizados os

dados de nutrientes totais, dissolvidos, metais na água e variáveis físicas, aplicando-se a mesma metodologia da análise na água. O *Cluster* obtido pode ser observado na Figura 50.

Figura 50: Cluster para os dados de metais nos organismos $R_c=0,89$. Dados de fevereiro de 2001 (DORNFELD, 2002).

Analisando o *Cluster* ao nível de corte de 0,14, pode-se observar a formação de 4 grupos com ordem de afinidade: agosto/00, novembro/00, maio/00 e fevereiro/01.

No mês de agosto, as maiores afinidades ocorreram entre as estações 1 e 2, demonstrando similaridade em 10 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, silicato reativo, condutividade, pH, temperatura, zinco, cobre e cromo. As estações 3 e 4 demonstraram similaridade em 11 das 25 variáveis, sendo elas: nitrogênio orgânico total, fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, silicato reativo, condutividade, pH, temperatura, ferro, zinco.

No mês de novembro, o agrupamento foi observado entre as estações 2 e 4, demonstrando similaridade em 7 das 25 variáveis, sendo elas: pH, oxigênio dissolvido, temperatura, ferro, manganês, cádmio, material em suspensão orgânico, sendo que as estações 1 e 3 também fazem parte deste grupo pelos mesmos fatores.

No mês de maio, observou-se um agrupamento entre as estações 1 e 2, demonstrando similaridade em 8 das 25 variáveis, sendo elas: nitrogênio orgânico total, nitrato, silicato reativo, pH, temperatura, manganês, cádmio e zinco nos organismos. As estações 3 e 4, demonstraram similaridade em 13 das 25 variáveis, sendo elas: nitrogênio orgânico total, amônio, nitrito, condutividade, pH, temperatura, ferro, zinco, cádmio, cobre e (manganês, zinco e cobre nos organismos).

O mês que apresentou maior distância dos demais foi fevereiro/01, que é formado pelas estações 1 e 2, demonstrando similaridade em 6 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, nitrito, pH, zinco, cádmio. As estações 3 e 4 demonstraram similaridade em 9 das 25 variáveis, sendo eles: nitrato, amônio, pH, cromo, material em suspensão (total, orgânico e inorgânico) e (zinco e manganês nos organismos).

Observando a similaridade entre os meses de coleta, com exceção do mês de novembro, a ocorrência de agrupamentos entre as estações do primeiro compartimento (1 e 2) e do segundo compartimento (3 e 4), demonstraram um padrão semelhante ao apresentado pelo *Cluster* na água.

Pelos dados obtidos, notou-se que os valores encontrados em fevereiro de 2001, foram extremamente elevados para a maioria das variáveis analisadas, sendo superiores aos demais meses e também aos valores de fevereiro de 2000. Este pode ter sido o fator responsável pelas diferenças nas similaridades entre os meses de coleta em relação ao *Cluster* da água.

6.4. Avaliação da taxa de sedimentação de metais e material em suspensão no reservatório de Salto Grande

Neste item estão sendo apresentados os resultados obtidos para as taxas de sedimentação de metais e material em suspensão no reservatório de Salto Grande (após 24 horas), durante o período de estudo. Os resultados são apresentados graficamente, efetuando-se análise estatística pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) para avaliar a existência ou não de diferenças significativas entre os meses e estações de coleta.

Deve-se salientar que as diferenças de profundidade entre as câmaras (30 e 70%), nas 4 estações de coleta, não foram inseridas neste trabalho para o cálculo da taxa de sedimentação, sendo os resultados discutidos supondo-se valores constantes em cada estação.

Ferro - as concentrações finais de ferro após 24 horas (Tabela 57) mostram um aumento considerável em relação aos valores iniciais na água, principalmente nos meses de fevereiro, maio e agosto de 2000, quando as concentrações foram, no mínimo, duplicadas, com valor máximo de $2,90 \text{ mg.L}^{-1}$ sendo observado na estação 2-70%, em novembro de 2000. Em geral, as maiores concentrações foram observadas nas estações mais profundas, demonstrando ser estes os locais de maior concentração de ferro na coluna d'água devido a fatores como ressuspensão do material sedimentado.

Tabela 57: Concentrações de ferro determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).

ESTAÇÕES	FEV/00	MAI/00	AGO/00	NOV/00
1 30%	0,004	2,634	0,545	0,667
1 70%	1,538	2,280	0,923	0,396
2 30%	0,825	1,479	0,798	0,830
2 70%	1,277	2,580	0,540	2,902
3 30%	0,600	1,380	0,590	0,578
3 70%	0,685	2,824	0,467	0,401
4 30%	0,036	-	0,511	0,574
4 70%	0,296	1,103	1,917	0,845

Pela análise da Figura 51 observa-se que existe uma tendência para que as maiores taxas de sedimentação de ferro sejam encontradas nas estações mais profundas (70%), preferencialmente nos meses de fevereiro e maio de 2000. Em agosto e novembro de 2000, esta tendência não foi verificada, resultando em variações entre

maiores taxas de sedimentação nas estações superficiais (30%) e profundas (70%).

Por meio dos dados obtidos, verifica-se que em maio de 2000 ocorreram elevadas taxas de sedimentação, com valores sempre acima de 400,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, sendo que nos demais meses os valores estiveram entre 200,0 e 400,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, atingindo o valor máximo de 1450,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ na estação 2 (70%), no mês de novembro de 2000. Estes valores demonstram ocorrer uma elevada deposição de ferro ao no reservatório e no período de transição entre os períodos de chuva e seca, com o aumento do tempo de retenção da água.

Figura 51: Taxas de sedimentação de ferro nas diferentes estações de coleta.

A Tabela 58 demonstra que o mês 2 (maio de 2000) apresentou diferenças significativas em relação a todos os meses de coleta, devido às suas elevadas taxas de sedimentação, sendo que nos demais meses amostrados as variações entre as médias não foram significativas ($p > 0,05$).

As taxas de sedimentação obtidas no presente estudo foram bem mais elevadas quando comparadas com aquelas obtidas no Lago Greifen, na Suíça, no qual a taxa de sedimentação de ferro variou de 6,0 a 20,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (KUHN et al., 1994). BROMAN et al. (1994) determinaram valores, em estuários do arquipélago de Estocolmo, que variaram entre 50,0 e 400,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, sendo estes ainda menores quando comparados

com as taxas de sedimentação obtidas no reservatório de Salto Grande. BORG (1995), analisando cinco lagos suecos, obteve taxas de sedimentação que variaram entre 1.220,0 e 25.800,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, cujo valor mínimo estaria próximo à taxa de sedimentação obtida em maio de 2000 no presente estudo. Mantendo-se as taxas diárias de sedimentação nos diferentes meses amostrados no reservatório de Salto Grande, em aproximadamente noventa dias a taxa de deposição máxima verificada nos lagos suecos poderia ser atingida.

Tabela 58: Teste de Tukey ($p>0,05$) para ferro nas câmaras de sedimentação, nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MEDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-2,3102	-1,3828	-0,4553***
1 - 3	-1,0251	-0,1291	0,7668
1 - 4	-1,1378	-0,2418	0,6541
2 - 1	0,4553	1,3828	2,3102***
2 - 3	0,3262	1,2536	2,1810***
2 - 4	0,2135	1,1409	2,0683***
3 - 1	-0,7668	0,1291	1,0251
3 - 2	-2,1810	-1,2536	-0,3262***
3 - 4	-1,0087	-0,1127	0,7833
4 - 1	-0,6541	0,2418	1,1378
4 - 2	-2,0683	-1,1409	-0,2135***
4 - 3	-0,7833	0,1127	1,0087

Manganês - de forma semelhante ao ferro, as maiores concentrações de manganês após 24 horas (Tabela 59) foram observadas nas câmaras instaladas à 70% da profundidade total, com os valores mais elevados em maio de 2000, variando entre 0,19 e 0,49 mg.L^{-1} , sendo este último o valor máximo também observado no mês de novembro de 2000, na mesma estação de coleta 2 (70%).

Tabela 59: Concentrações de manganês determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L^{-1}).

ESTAÇÕES	FEV/00	MAI/00	AGO/00	NOV/00
1 30%	0,082	0,271	0,078	0,045
1 70%	0,084	0,233	0,162	0,054
2 30%	0,109	0,283	0,208	0,135
2 70%	0,172	0,496	0,190	0,497
3 30%	0,068	0,199	0,113	0,040
3 70%	0,087	0,388	0,131	0,038
4 30%	0,043	-	0,098	0,066
4 70%	0,041	0,434	0,212	0,145

Com relação à sedimentação (Figura 52), observam-se, ao longo do período amostrado, diferenças nas taxas de sedimentação em todos os meses amostrados. Em fevereiro de 2000, ocorreu um aumento das concentrações até o máximo de $85,7 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, na estação 2 (70%), com posterior decaimento dos valores nas estações 3 e 4. Em maio de 2000, assim como para o ferro, verificou-se as maiores taxas de sedimentação, com valores mais pronunciados nas estações de fundo, com valor máximo de $247,87 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, na estação 2 (70%), mas sempre acima de $100,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Em agosto de 2000 verifica-se um aumento no sentido longitudinal do reservatório, atingindo a taxa de sedimentação máxima de $100,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com ligeira queda na estação 4. Em novembro de 2000, observa-se um padrão de deposição semelhante a fevereiro de 2000, com um aumento no sentido da estação 2 até o máximo de $248,59 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, ocorrendo uma redução elevada na estação 3, mas com posterior aumento em direção a estação 4.

Figura 52: Taxas de sedimentação de manganês nas diferentes estações de coleta.

Verifica-se que os valores observados no reservatório de Salto Grande são bem superiores aos encontrados por KUHN et al. (1994), no Lago Greifen, os quais variaram

entre 20,0 e 50,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, e também superiores aos determinados por BROMAN et al. (1994), que estiveram compreendidos entre 5,0 e 10,0 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

De maneira semelhante ao ferro, as taxas de sedimentação de manganês apresentaram diferenças significativas entre o mês 2 (maio de 2000) e os demais meses amostrados, tendo como principal fator de diferença os elevados valores determinados neste mês. Em fevereiro, agosto e novembro de 2000 as médias das taxas de sedimentação apresentaram-se bem mais próximas (Tabela 60).

Devido à elevada quantidade de manganês depositada na estação 2-70%, a análise estatística (Tabela 61) demonstra que somente para este elemento ocorreram diferenças significativas entre as estações de coleta, mais precisamente entre a estação 2 70% (4) e as estações 1-30% (1), 1-70% (2), 3-30% (5) e 4-30% (7), as quais apresentaram concentrações médias inferiores nas câmaras de sedimentação inferiores (na análise estatística).

Tabela 60: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-0,35268	-0,24389	-0,13511***
1 - 3	-0,16884	-0,06375	0,04134
1 - 4	-0,14722	-0,04212	0,06297
2 - 1	0,13511	0,24389	0,35268***
2 - 3	0,07136	0,18014	0,28893***
2 - 4	0,09299	0,20177	0,31055***
3 - 1	-0,04134	0,06375	0,16884
3 - 2	-0,28893	-0,18014	-0,07136***
3 - 4	-0,08347	0,02163	0,12672
4 - 1	-0,06297	0,04212	0,14722
4 - 2	-0,31055	-0,20177	-0,09299***
4 - 3	-0,12672	-0,02163	0,08347

Tabela 61: Teste de Tukey ($p>0,05$) para manganês nas câmaras de sedimentação nas diferentes estações coleta: 1 (1-30%), 2 (1-70%), 3 (2-30%) e 4 (2-70%), 5 (3-30%), 6 (3-70%), 7 (4-30%) e 8 (4-70%).

ESTAÇÕES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
4 - 1	0,04091	0,21993	0,39894 ***
4 - 2	0,02674	0,20575	0,38476 ***
4 - 3	-0,02381	0,15520	0,33421
4 - 5	0,05494	0,23395	0,41296 ***
4 - 6	-0,00124	0,17778	0,35679
4 - 7	0,07669	0,27005	0,46341 ***
4 - 8	-0,04809	0,13093	0,30994

Zinco - de maneira semelhante ao ferro e ao manganês, a Tabela 62 mostra que os maiores valores de zinco foram observados em maio de 2000, com as maiores concentrações nas estações 2 - 30% (0,055 mg.L⁻¹) e 3 - 30% (0,076 mg.L⁻¹). Nos demais meses, observa-se que os valores nas câmaras de sedimentação não apresentaram grandes variações ao longo das estações de coleta e nem em relação aos valores iniciais (Figura 50).

Tabela 62 : Concentrações de zinco determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L⁻¹)

ESTAÇÕES	FEV/00	MAI/00	AGO/00	NOV/00
1 30%	0,009	0,03	0,014	0,007
1 70%	0,010	0,019	0,021	0,005
2 30%	0,008	0,055	0,020	0,004
2 70%	0,008	0,032	0,012	0,013
3 30%	0,006	0,076	0,017	0,015
3 70%	0,008	0,042	0,013	0,010
4 30%	0,006	-	0,021	0,001
4 70%	0,006	0,06	0,022	0,004

Observa-se, pela Figura 53, que as taxas de sedimentação do zinco no mês de fevereiro de 2000 apresentaram valores bem próximos entre as estações (variações entre 3,0 e 5,0 mg.m⁻².dia⁻¹), mas com um ligeiro aumento nas estações mais profundas (estações 3 e 4).

Figura 53: Taxas de sedimentação de zinco nas diferentes estações de coleta.

O mês de maio de 2000, assim como nos elementos anteriores, apresentou as maiores taxas de sedimentação de zinco, com os valores mais elevados nas estações superficiais (acima de $10,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), atingindo o máximo de $37,98 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ na estação 3 (30%).

Em agosto de 2000 as taxas de sedimentação variaram entre as estações superficiais (30%) e profundas (70%), com os maiores valores sendo observados nas estações 1 (30%) e 1 (70%), com $10,99$ e $10,49 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. As taxas de sedimentação em novembro de 2000 foram menores, com uma tendência ao aumento nas estações 2 (70%) e 3 (30%), atingindo $6,62$ e $7,72 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente, com posterior decréscimo até a estação 4.

BROMAN et al. (1994) determinou valores abaixo de $2,5 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, na maioria dos dados analisados, com máximo de $5,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, valor este inferior aos observados no reservatório de Salto Grande. As taxas de sedimentação encontradas no lago Zürich, por BORG (1995), variaram de $128,0$ a $169,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, sendo que, mantendo-se os fluxos de deposição no reservatório de Salto Grande, em trinta dias as taxas de sedimentação em todas as estações de coleta atingiriam os valores encontrados no lago Zürich, demonstrando as elevadas taxas de sedimentação encontradas no sistema.

De maneira semelhante ao ferro e ao manganês, a Tabela 63 mostra que as taxas

Tabela 63: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para zinco nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÊDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-0,051692	-0,037220	-0,022748***
1 - 3	-0,023869	-0,009888	0,004094
1 - 4	-0,013844	0,000138	0,014119
2 - 1	0,022748	0,037220	0,051692***
2 - 3	0,012860	0,027332	0,041804***
2 - 4	0,022885	0,037357	0,051829***
3 - 1	-0,004094	0,009888	0,023869
3 - 2	-0,041804	-0,027332	-0,012860***
3 - 4	-0,003956	0,010025	0,024006
4 - 1	-0,014119	-0,000138	0,013844
4 - 2	-0,051829	-0,037357	-0,022885***
4 - 3	-0,024006	-0,010025	0,003956

de sedimentação de zinco apresentaram diferenças significativas em relação aos meses de fevereiro, agosto e novembro de 2000, devido às elevadas concentrações desse elemento nas câmaras de sedimentação.

Cádmio - as concentrações de cádmio nas câmaras de sedimentação podem ser observadas na Tabela 64, verificando-se que os valores mais elevados ocorreram em maio e agosto de 2000, com as maiores concentrações sendo detectadas nas estações 3 30% (0,0059 e 0,00539 mg.L⁻¹), respectivamente. Observa-se também que não existem grandes variações entre as estações a 30 e a 70%, demonstrando uma homogeneidade ao longo do sistema.

Tabela 64: Concentrações de cádmio determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L⁻¹).

ESTAÇÕES	FEV/00	MAI/00	AGO/00	NOV/00
1 30%	0,0023	0,0038	0,00423	0,00154
1 70%	0,0029	0,00299	0,00467	0,00219
2 30%	0,0028	0,00543	0,00468	0,0015
2 70%	0,0029	0,00559	0,00534	0,0022
3 30%	0,0031	0,00598	0,00539	0,00177
3 70%	0,0026	0,00468	0,00495	0,00202
4 30%	0,0034		0,00445	0,00199
4 70%	0,0031	0,0056	0,00538	0,0021

Pela Figura 54, observa-se que as taxas de sedimentação em fevereiro de 2000 apresentaram pequenas oscilações entre as estações superficiais e profundas (com amplitude de 1,3 a 1,7 mg.m⁻².dia⁻¹), com valores mais baixos que os obtidos no período seco. Os meses de maio e agosto de 2000 apresentaram padrões de deposição semelhantes, com valores de sedimentação sempre próximos ou superiores a 2,0 mg.m⁻².dia⁻¹, com um aumento nas taxas de sedimentação em direção a estação 3, de modo semelhante ao zinco, com as maiores taxas sendo observadas na estação 3-30% (2,98 e 2,69 mg.m⁻².dia⁻¹, em maio e agosto de 2000, respectivamente), com ligeira redução nas estações 3 (70%) e 4 (30%), seguido de um aumento na estação 4 (70%). Em novembro de 2000 verificou-se as menores taxas de sedimentação de cádmio, com valores próximos a 1,0 mg.m⁻².dia⁻¹, com uma pequena oscilação entre os valores de superfície e fundo, mas com uma tendência a uma maior taxa de sedimentação nas estações profundas (70%).

Quando comparados aos valores máximos de $0,03 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ obtidos por BROMAM et al. (1994), no estuário de Estocolmo (mar Báltico), verifica-se que as taxas de sedimentação encontradas no reservatório de Salto Grande mostram-se extremamente elevadas, o que pode ser comprovado pelas elevadas concentrações desse elemento na água do reservatório. BORG (1995), determinando a taxa de sedimentação em lagos suecos, encontrou valores variando de $0,07$ a $0,82 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, demonstrando que no reservatório de Salto Grande, excetuando-se o mês de novembro de 2000, as taxas de sedimentação diárias em todas as estações de coleta foram mais elevadas que as encontradas nos lagos suecos.

Figura 54: Taxas de sedimentação de cádmio nas diferentes estações de coleta.

A Tabela 65 demonstra que somente entre os meses de maio e agosto de 2000 (que apresentaram as maiores médias ao longo do período amostrado) as taxas de sedimentação de cádmio não apresentaram diferenças significativas, sendo que nas comparações entre os demais meses amostrados, as diferenças foram significativas ($p > 0,05$).

Tabela 65: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cádmio nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÊDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-0,0027357	-0,0019839	-0,0012321***
1 - 3	-0,0027388	-0,0020125	-0,0012862***
1 - 4	0,0002487	0,0009750	0,0017013***
2 - 1	0,0012321	0,0019839	0,0027357***
2 - 3	-0,0007804	-0,0000286	0,0007232
2 - 4	0,0022071	0,0029589	0,0037107***
3 - 1	0,0012862	0,0020125	0,0027388***
3 - 2	-0,0007232	0,0000286	0,0007804
3 - 4	0,0022612	0,0029875	0,0037138***
4 - 1	-0,0017013	-0,0009750	-0,0002487***
4 - 2	-0,0037107	-0,0029589	-0,0022071***
4 - 3	-0,0037138	-0,0029875	-0,0022612***

Cobre - as maiores concentrações de cobre nas câmaras de sedimentação ocorreram em maio de 2000 (Tabela 66), com o maior valor sendo observado na estação 3-30%, com 0,10 mg.L⁻¹. O mês de agosto de 2000 apresentou concentrações um pouco menores que as de maio de 2000, mas sem grandes variações entre as estações a 30 e 70% da profundidade local.

Tabela 66: Concentrações de cobre determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L⁻¹).

ESTAÇÕES	FEV/00	MAI/00	AGO/00	NOV/00
1 30%	0,0088	0,02725	0,01391	0,00792
1 70%	0,0084	0,00932	0,02091	0,0066
2 30%	0,0086	0,06425	0,0199	0,00649
2 70%	0,009	0,03201	0,01346	0,00848
3 30%	0,0085	0,10954	0,01745	0,00765
3 70%	0,0089	0,05009	0,01545	0,00834
4 30%	0,0068	-	0,01808	0,0037
4 70%	0,0072	0,0806	0,0223	0,00662

Os meses de fevereiro e novembro de 2000 foram os que apresentaram as menores concentrações de cobre nas câmaras de sedimentação, com valores sempre inferiores a 0,01 mg.L⁻¹. Nota-se que em nenhum mês foi detectado um padrão de deposição ao longo do reservatório (sentido rio-barragem), estando este elemento distribuído de modo heterogêneo no sistema.

As taxas de sedimentação de cobre (Figura 55) nos meses de fevereiro e novembro de 2000 apresentaram padrões de deposição semelhantes, com valores baixos

e sem grandes oscilações entre as estações de superfície (30%) e fundo (70%), sendo que as taxas de sedimentação máximas, em ambos os meses, não ultrapassaram $5,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Em agosto de 2000 observou-se um aumento nas taxas de sedimentação, com algumas variações entre os valores das estações superficiais e finais, com o máximo de $11,14 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ determinado na estação 4 (70%). O mês de maio de 2000 apresentou, como para os demais elementos, as maiores taxas de sedimentação, com o valor máximo sendo observado na estação 3 (30%), com $54,74 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, seguido de um decréscimo nas estações seguintes.

As taxas de sedimentação obtidas por BROMAN et al. (1984) foram próximas aos valores obtidos nos meses de fevereiro e novembro de 2000 no reservatório de Salto Grande (período chuvoso), com valores máximos da taxa de sedimentação de $2,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Contudo, observa-se no reservatório de Salto Grande que nos meses de maio e agosto de 2000, as taxas de sedimentação mostraram-se com valores superiores (de cinco a dez vezes) aos determinados pelo autor, o que demonstra um elevado fluxo de deposição desse elemento ao longo do sistema. Outros valores que demonstram a elevada sedimentação no reservatório de Salto Grande são os resultados obtidos por BORG (1995), no lago Little Rock (Wisconsin), no qual o autor obteve uma taxa de sedimentação anual de aproximadamente $30,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Figura 55: Taxas de sedimentação de cobre nas diferentes estações de coleta.

Comparado ao presente estudo, em maio de 2000 a taxa de sedimentação diária obtida foi superior em três estações de coleta e nos demais meses verifica-se que, se mantida esta taxa de sedimentação, em cinco dias o valor anual encontrado no lago Little Rock seria atingido.

De maneira semelhante ao ferro, manganês e zinco, as taxas de sedimentação do cobre apresentaram diferenças significativas entre o mês de maio e os demais meses, o que foi comprovado pela análise estatística (Tabela 67), a qual demonstra as elevadas concentrações de cobre nas câmaras de sedimentação, sendo que os meses de fevereiro, agosto e novembro de 2000, apresentaram médias mais próximas entre si.

Tabela 67: Teste de Tukey ($p>0,05$) para cobre nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

Meses	Limite Inferior	Dif. entre médias	Limite superior
1 - 2	-0,068703	-0,045025	-0,021347***
1 - 3	-0,032300	-0,009425	0,013450
1 - 4	-0,021575	0,001300	0,024175
2 - 1	0,021347	0,045025	0,068703***
2 - 3	0,011922	0,035600	0,059278***
2 - 4	0,022647	0,046325	0,070003***
3 - 1	-0,013450	0,009425	0,032300
3 - 2	-0,059278	-0,035600	-0,011922***
3 - 4	-0,012150	0,010725	0,033600
4 - 1	-0,024175	-0,001300	0,021575
4 - 2	-0,070003	-0,046325	-0,022647***
4 - 3	-0,033600	-0,010725	0,012150

Cromo - as maiores concentrações de cromo (Tabela 68) foram obtidas em agosto e maio de 2000, com os maiores valores nas estações 1-30% (0,047 mg.L⁻¹) e 2-70% (0,0435 mg.L⁻¹), respectivamente.

Tabela 68: Concentrações de cromo determinadas nas câmaras de sedimentação (mg.L⁻¹).

ESTAÇÕES	FEV/00	MAI/00	AGO/00	NOV/00
1 30%	0,0088	0,03448	0,04709	0,00935
1 70%	0,0013	0,01998	0,03933	0,00377
2 30%	0,0107	0,03549	0,0397	0,01209
2 70%	0,0177	0,0435	0,02134	0,00997
3 30%	0,0222	0,03551	0,04654	0,00736
3 70%	0,0132	0,03452	0,03263	0,01664
4 30%	0,0102		0,0303	0,00623
4 70%	0,0199	0,0338	0,0375	0,00913

Nos meses de fevereiro e novembro de 2000 ocorreram as menores taxas de sedimentação para o cromo, com valores iguais ou inferiores a $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$. Nota-se, ao longo do reservatório, que não existe uma tendência para deposição nas câmaras de sedimentação instaladas a 30 e 70% da profundidade.

Pela análise da Figura 56 observa-se que em fevereiro de 2000 ocorreu um padrão de deposição semelhante ao zinco e cádmio em maio de 2000, ou seja, um aumento da taxa de sedimentação no sentido longitudinal do reservatório (sentido rio–barragem), com valor máximo de $11,09 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, sendo observado um decaimento nas estações seguintes. Os meses de agosto e maio de 2000 apresentaram novamente as maiores taxas de sedimentação, nas estações 1 (30%) e 2 (70%), com valores de 23,53 e $21,73 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente, sem um padrão de deposição preferencial entre as estações superficiais e profundas. Em novembro de 2000 as taxas de sedimentação foram mais elevadas que fevereiro de 2000, mas com taxas cerca de 60% menores que maio e agosto de 2000, mantendo-se, na maioria das estações, abaixo de $5,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com exceção da taxa de sedimentação máxima de $8,31 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ verificada na estação 3 (70%).

Observa-se ainda que as maiores taxas de sedimentação no reservatório de Salto Grande ocorreram no mês de agosto de 2000, nas estações 1 (30%) e 3 (30%), com valores de 23,53 e $23,52 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente, sendo que nos meses de fevereiro e novembro de 2000, as taxas de sedimentação máximas foram menores cerca de 50%, não ultrapassando os $11,09 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os valores encontrados no reservatório de Salto Grande mostram-se extremamente elevados quando comparados aos obtidos por BROMAM et al. (1994), o qual obteve taxas de sedimentação de cromo compreendidas entre 0,1 e $0,8 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em zona estuariana do mar Báltico.

Figura 56: Taxas de sedimentação de cromo nas diferentes estações de coleta.

Pela Tabela 69 verifica-se que não existem diferenças significativas entre os meses de maio e agosto de 2000 e entre fevereiro e novembro de 2000, fato este comprovado pelas concentrações das câmaras de sedimentação (Tabela 68), demonstrando haver, com relação às taxas de sedimentação de cromo, uma tendência ao agrupamento dos meses com características predominantes, ou seja, período seco e período chuvoso.

Tabela 69: Teste de Tukey para cromo ($p > 0,05$) nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF, ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-0,030370	-0,020900	-0,011430***
1 - 3	-0,032936	-0,023787	-0,014639***
1 - 4	-0,005474	0,003675	0,012824
2 - 1	0,011430	0,020900	0,030370***
2 - 3	-0,012358	-0,002887	0,006583
2 - 4	0,015105	0,024575	0,034045***
3 - 1	0,014639	0,023787	0,032936***
3 - 2	-0,006583	0,002887	0,012358
3 - 4	0,018314	0,027463	0,036611***
4 - 1	-0,012824	-0,003675	0,005474
4 - 2	-0,034045	-0,024575	-0,015105***
4 - 3	-0,036611	-0,027463	-0,018314***

Material em suspensão – a Figura 57 demonstra que as maiores taxas de sedimentação de material em suspensão, em todos os meses amostrados, ocorreram nas estações mais profundas (70% da profundidade local), como observado em fevereiro de 2000, na estação 1-70% ($5,31 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e em novembro de 2000, na estação 3-70% ($4,14 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), demonstrando uma concentração maior de material em suspensão nas camadas mais profundas do reservatório ou o efeito da ressuspensão por processos físicos ou biológicos. Devido às pequenas vazões ocorridas durante praticamente todo ano, influenciando na menor entrada de material alóctone no sistema, verificou-se que o padrão de sedimentação encontrado no reservatório de Salto Grande no ano de 2000 foi diferente do padrão encontrado por LEITE (1998), quando cerca de 87% do material em suspensão ficou retido no primeiro compartimento (estações 1 e 2), o que pode ser observado somente no mês de fevereiro de 2000.

Os valores obtidos nas câmaras de sedimentação demonstram, assim como os valores iniciais, que as maiores concentrações de material em suspensão após 24 horas encontram-se no mês de fevereiro de 2000, na estação 1S (30%) e 1F (70%), atingindo $100,00 \text{ mg.L}^{-1}$ e $106,00 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, tendo, como oposto, as menores concentrações ocorrendo em agosto de 2000 ($15,6 \text{ mg.L}^{-1}$ na estação 3-70%). Devido às florações algais frequentes nos meses de agosto e novembro de 2000, verifica-se, nas concentrações finais, uma elevada concentração da fração orgânica, apresentando $28,00 \text{ mg.L}^{-1}$, em novembro de 2000, na estação 3-70%, contribuindo com até 50% do total de material em suspensão total.

Figura 57: Taxas de sedimentação de material em suspensão nos diferentes meses e estações.

Pela análise da Tabela 70 verifica-se que existem diferenças significativas somente entre os meses de fevereiro e agosto de 2000, sendo estes os meses mais característicos do período chuvoso e seco, respectivamente, não ocorrendo diferenças significativas para os demais meses amostrados.

Tabela 70: Teste de Tukey ($p > 0,05$) para material em suspensão nas câmaras de sedimentação nos diferentes meses de coleta: 1 (fevereiro), 2 (maio), 3 (agosto) e 4 (novembro).

MESES	LIMITE INFERIOR	DIF. ENTRE MÉDIAS	LIMITE SUPERIOR
1 - 2	-17,592	9,909	37,411
1 - 3	8,300	34,869	61,43***
1 - 4	-4,574	21,995	48,564
2 - 1	-37,411	-9,909	17,592
2 - 3	-2,542	24,960	52,461
2 - 4	-15,416	12,086	39,587
3 - 1	-61,438	-34,869	-8,300***
3 - 2	-52,461	-24,960	2,542
3 - 4	-39,443	-12,874	13,695
4 - 1	-48,564	-21,995	4,574
4 - 2	-39,587	-12,086	15,416
4 - 3	-13,695	12,874	39,443

Análise multivariada

Para a análise de agrupamento dos resultados obtidos nas câmaras de sedimentação e outras variáveis ambientais, foram utilizados os mesmos procedimentos para a análise na água. O resultado do *Cluster* obtido é apresentado na Figura 58.

Analisando-se o *Cluster*, ao nível de corte de 0,20, observa-se, de maneira semelhante ao cluster na água, a formação de quatro grupos com ordem de afinidade em fevereiro, novembro, agosto e maio.

Em fevereiro, considerando as 8 estações de coleta [4 na superfície (30%) e 4 no fundo (70%)], observou-se que as estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 2-30% e 3-70%, demonstrando similaridade em 17 das 25 variáveis utilizadas para a análise, sendo elas: nitrogênio orgânico total, fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, ácidos húmicos, condutividade, pH, temperatura, zinco, cádmio, cobre, cromo, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência.

As estações 3-30% e 4-70% demonstraram similaridade em 16 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, ácidos húmicos, condutividade, pH, temperatura, zinco, cádmio, cromo, material em suspensão orgânico, precipitação,

vazão afluyente, vazão defluente e tempo de residência. A estação 430% une-se ao grupo citado pelas mesmas variáveis..

Figura 58: Cluster para os dados de câmaras de sedimentação. $R_c=0,93$. (30%)=estações superficiais após 24 horas, (70%)=estações de fundo após 24 horas.

As estações 1-70% e 2-70% demonstraram similaridade em 12 das 25 variáveis, sendo elas: nitrato, amônio, nitrito, silicato reativo, pH, temperatura, cádmio, cobre, precipitação, vazão afluyente, vazão defluente e tempo de residência. A estação 1-30% apresentou similaridade com as estações anteriores, porém apresentando a maior distância em relação a elas.

No mês de novembro considerando as 8 estações de coleta [4 na superfície (30%) e 4 no fundo (70%)], observou-se que as estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 1-30% e 2-30% , demonstrando similaridade em 10 das 25 variáveis, sendo elas: nitrato, silicato reativo, condutividade, pH, temperatura, cádmio,

precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. A estação 1-70% agrupou-se posteriormente a estas estações em função das mesmas variáveis.

As estações 4-30% e 4-70% demonstraram similaridade em 10 das 25 variáveis, sendo elas: nitrato, silicato reativo, pH, condutividade, temperatura, cádmio, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. As estações 3-30%, 2-70% e 3-70% apresentaram as maiores distâncias em relação às demais estações, dessa forma, agrupando-se no final da de novembro árvore.

No mês de agosto, considerando as 8 estações de coleta [4 na superfície (30%) e 4 no fundo (70%)], observou-se que as estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 3-30% e 3-70%, demonstrando uma similaridade em 12 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, condutividade, zinco, manganês, cádmio, material em suspensão inorgânico, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. Da mesma forma, as estações 4-30% e 2-70% apresentaram similaridade em relação as variáveis descritas para as estações 3-30% e 3-70%.

As estações 1-30% e 1-70% demonstraram similaridades em 11 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, amônio, nitrito, condutividade, cádmio, material em suspensão total, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. Apresentando as maiores distâncias em relação às estações anteriores, 2-30% e 4-70% agrupando-se somente no final desta árvore referente ao mês de agosto.

Em maio, considerando as 7 estações de coleta [4 na superfície (30%) e 3 no fundo (70%)], observou-se que as estações que apresentaram a menor distância euclidiana foram 1-70% e 2-70%, que demonstraram similaridade em 13 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, nitrato, nitrito, ácidos húmicos, condutividade, temperatura, ferro, manganês, cádmio, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência.

Também em maio, as estações 2-30% e 3-70% demonstraram similaridades em 9 das 25 variáveis, sendo elas: nitrato, ácidos húmicos, cádmio, cromo, material em suspensão orgânico, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência.

Entre as estações 1-30% e 3-30% observaram-se similaridades em 7 das 25 variáveis, sendo elas: fósforo total, silicato reativo, cromo, precipitação, vazão afluente, vazão defluente e tempo de residência. A estação mais distante das demais foi a estação

4-70%, apresentada no final do mês.

De maneira semelhante ao *Cluster* da água, pode-se observar, nos meses amostrados, que as maiores similaridades ocorreram entre as estações 3 e 4, provavelmente por estarem estas estações mais próximas à barragem. Por sua vez as estações 1 e 2, na maioria das vezes, apresentou-se mais distante das estações 3 e 4, provavelmente por estarem mais próximas à entrada do reservatório. Isto demonstra que para as variáveis analisadas dentro do sistema, existem dois compartimentos com características diferenciadas, estando o primeiro ligado à entrada do reservatório e o segundo a região mais próxima à barragem.

A tendência às estações se agruparem em relação aos dois compartimentos do reservatório (entrada e barragem) apresentou diferenças em relação ao *Cluster* da água, pois nos meses de fevereiro e agosto observa-se uma tendência às menores distâncias em relação as estações 3 e 4 (próximas à barragem), seguidas das estações 1 e 2 (entrada do reservatório). De maneira inversa, nos meses de novembro e maio, observa-se que as menores distâncias estão relacionadas com as estações 1 e 2, seguidas das estações 3 e 4. Embora ocorra esta inversão em relação às distâncias, conclui-se que existe uma tendência nas câmaras de sedimentação para o agrupamento entre os compartimentos (estações 1, 2 e 3, 4).

6.5. Datação do sedimento pelo método do ^{210}Pb atmosférico visando a análise das relações entre a concentração de metais totais e a cronologia do sedimento.

Nesta análise procurou-se determinar a datação do sedimento pelo método do ^{210}Pb atmosférico, cujo maior objetivo foi verificar uma possível relação com as concentrações de metais obtidos nos perfis do sedimento do reservatório de Salto Grande, avaliando-se, para tal fim, os perfis de sedimento da estação 4.

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 59, verificando-se a relação entre as camadas amostradas no perfil e o ano correspondente, finalizando com a camada 45-50 cm, no ano de 1979, o que caracteriza uma deposição em um período de aproximadamente 25 anos. Desse modo, as relações entre as concentrações de metais presentes entre as camadas de 0 e 50 cm no sedimento, podem ser feitas utilizando-se como base a cronologia obtida.

Figura 59: Cronologia do sedimento na estação 4.

CAZOTTI (2002), determinando a cronologia do reservatório de Barra Bonita, observou resultados similares aos do reservatório de Salto Grande, com o ano de 1979 relacionados à camada de 45-50cm do perfil de sedimentos, demonstrando comportamentos semelhantes em reservatórios eutrofizados de uma mesma bacia hidrográfica.

Analizando os resultados da cronologia de sedimento com os dos metais, verifica-se, pelos perfis das concentrações de ferro total no sedimento, uma

homogeneidade entre a camada de 0 até 50 cm, demonstrando as altas concentrações desse elemento nos solos brasileiros. Somente na estação 2, em agosto de 2000, ocorreu um aumento na camada de 15-20 cm, o que não foi observado nos demais meses, o que pode estar relacionado a problemas de amostragens ou de análise do material. Dessa forma, pela datação do sedimento não se observa, para ferro total, nenhum período preferencial para a deposição no reservatório de Salto Grande.

De maneira semelhante ao ferro, as concentrações de manganês não apresentaram grandes oscilações ao longo do perfil do sedimento, demonstrando uma homogeneidade de deposição ao longo dos últimos 20 anos, sem uma tendência ao aumento durante o período determinado pela cronologia. PAETZEL et al. (1994), estudando concentrações de manganês no mar Báltico, observou um decréscimo dos valores ao longo do perfil estudado com variações de 800,0 a 300,0 ppm na estação A e de 498,0 a 289,0 ppm na estação B, sendo estas concentrações datadas entre os anos de 1991 e 1825, demonstrando o aumento das concentrações de manganês ao longo dos anos.

Avaliando os resultados obtidos para zinco total verifica-se que a estação 1 apresentou as maiores concentrações no perfil do sedimento, sendo estas obtidas nas camadas mais superficiais (0-15 cm), com posterior decaimento. Relacionando estes dados com a cronologia do sedimento, observa-se que essa maior deposição na estação 1 pode ter ocorrido entre os anos de 1995 e 2000, o que estaria mais relacionado ao elevado grau de movimentação do sedimento nesta área do reservatório (entrada do rio Atibaia), embora outros fatores também possam ser considerados, como o maior aporte de zinco ao sistema nestes anos (atividades industriais, por exemplo), o que precisaria ser mais bem avaliado. Também se pode observar que as maiores concentrações de zinco na água ocorreram nos meses de maio e agosto de 2000 (com maior ênfase na estação 1), mas que as maiores taxas de sedimentação foram determinadas nas estações 2, 3 e 4, nos mesmos meses citados.

Pelos dados de zinco total no sedimento, observou-se que a estação 4 apresentou diminuição nas concentrações superficiais, principalmente nos meses de maio e agosto de 2000. PAETZEL et al. (1994) determinou taxas de sedimentação crescente para zinco no mar Báltico, enquanto suas concentrações no sedimento superficial diminuíram, tendo como uma possível explicação efeitos de diluição ou sua liberação para a coluna d'água. CALMANO et al. (1994), que desenvolveu

experimentos em laboratório com sedimentos contaminados, mantendo condições óxicas e pH em torno de 7,5, concluiu que nestas condições, desde o início ao término do experimento, ocorreu a liberação de zinco do sedimento para a água, atingindo concentrações finais de $85,6 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Avaliando-se os perfis de pH e de oxigênio dissolvido, observou-se que as condições em algumas estações, mais principalmente na estação 4, nos meses de maio e agosto de 2000, foram semelhantes às do experimento citado, podendo, desse modo, estar ocorrendo uma possível liberação de zinco para a coluna d'água.

Em relação aos perfis de cobre nas amostras de sedimento, verifica-se que a estação 1 apresentou resultados de cobre mais homogêneos entre as camadas. Entretanto, as estações 2 e principalmente as estações 3 e 4 apresentaram um aumento das concentrações ao longo do perfil. A estação 2, nos meses de fevereiro e novembro de 2000, demonstrou essa tendência a partir da camada de 20 cm (fevereiro/2000) e 35 cm (novembro/2000), ocorrendo um aumento das concentrações de cobre entre os anos de 1985 e 1990. Nas estações 3 e 4, observou-se um aumento nas concentrações de cobre até a camada de 30 cm, nos meses de fevereiro, maio e novembro de 2000, com posterior decréscimo até o final do perfil amostrado. Notou-se, desse modo, que o período onde ocorreu o maior aumento de cobre (camada de 15 a 30 cm) está relacionado aos anos de 1985 a 1995, sendo que o sedimento destas estações apresentou-se mais estáveis, por estarem mais próximos à barragem, o que torna os dados mais confiáveis quanto ao aumento de cobre.

Uma hipótese para a maior deposição de cobre durante estes anos pode estar relacionada à aplicação de substâncias inibidoras da proliferação de algas ou macrófitas aquáticas, como algicidas ou herbicidas, principalmente onde o problema é mais grave, como nas estações 3 e 4, as quais representam áreas com maior biomassa de macrófitas. O controle de plantas aquáticas com produtos químicos, apesar dos amplos impactos já descritos (como a contaminação da água, sedimento e efeito em outros organismos, ainda tem sido uma constante, conforme apresentado por diversos autores no “Workshop Controle de Plantas Aquáticas”, ocorrido em Brasília, entre 03 e 04 de junho de 1998 (BRASIL, 1998). Outra hipótese, segundo PAETZEL et al. (1994), seria os efeitos de diluição das camadas mais superficiais do sedimento ou mesmo a liberação desse elemento para a coluna d'água.

Os resultados obtidos para a distribuição de cádmio no perfil do sedimento demonstram que há uma tendência a semelhança das concentrações iniciais e finais, caracterizando uma maior homogeneidade de deposição em todas as estações de coleta (com exceção da estação 4, em agosto de 2000), durante o período em que a datação foi realizada. Dessa forma, notou-se que durante os últimos 20 anos o reservatório de Salto Grande apresentou uma deposição relativamente constante de cádmio, sendo que o reconhecimento de períodos de maior aporte desse elemento para o sistema não pode ser detectado nos primeiros 50 cm de sedimento.

Pelos resultados obtidos ainda verifica-se que somente na estação 4 (fevereiro de 2000) e estação 3 (maio de 2000), ocorreu um ligeiro decréscimo nas concentrações superficiais do sedimento, mostrando uma correspondência com as concentrações de cádmio na água nos mesmos locais. CALMANO et al. (1994), observou em laboratório que somente 4,99% do cádmio do sedimento foram liberados para a coluna d'água, disponibilizando $1,40\mu\text{g.L}^{-1}$ desse elemento a solução aquosa.

Para cromo verifica-se uma diminuição nas concentrações ao longo do perfil do sedimento, sendo mais pronunciada nos meses de maio, agosto e novembro de 2000, demonstrando que as deposições desse elemento são elevadas, notadamente pelas altas concentrações de cromo na água durante o período estudado. Dessa forma, a datação do sedimento durante os últimos 20 anos não possibilitou determinar os períodos de maior deposição de cromo, embora seus valores sejam extremamente elevados, sendo classificado como altamente impactado, segundo THOMAS (1987).

KUHN et al. (1987), estudando sedimentos do Lago Greifen (Suíça), não observou evidências para a disponibilização de cromo do sedimento para a coluna d'água, sendo que é esperado que o Cr^{+++} fique retido nos sedimentos sobre condições anóxicas e em condições óxicas seja oxidado por óxidos de manganês.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE MANEJO

A partir dos resultados obtidos no presente estudo e considerando as informações previamente adquiridas informalmente e disponibilizadas em teses, dissertações e publicações foi possível avaliar as condições ambientais do reservatório de Salto Grande em relação à distribuição de metais em diferentes compartimentos, incluindo água, sedimento, material sedimentável e comunidades, as quais incluíram o plâncton, bentos, peixes e macrófitas aquáticas, considerando-se as informações geradas para amostras coletadas nas estações 1 e 4, uma vez que a maioria dos estudos incluiu uma das estações. Com todas as informações geradas também foi possível apresentar algumas propostas de manejo visando à melhoria da qualidade ambiental do reservatório de Salto Grande.

7.1. Distribuição e avaliação dos metais no reservatório de Salto Grande

As Tabelas 71 e 72 apresentam uma síntese dos diversos resultados obtidos nas análises de metais, incluindo água, sedimento, material sedimentável, plâncton, bentos, macrófitas e peixes, nas estações de coleta 1 (entrada do reservatório) e 4 (barragem), nos meses de maio e novembro de 2000. Os valores em negrito representam situações que não atenderam a resolução vigente ou que caracterizam alta degradação do sedimento. Para os resultados obtidos nas amostras de água utilizou-se como parâmetro de comparação à resolução CONAMA 20/86, para águas classe 2, enquanto que para a avaliação da degradação do sedimento utilizou-se a classificação apresentada por THOMAS (1987), já mencionada em capítulos anteriores.

Analisando os resultados de metais obtidos verifica-se que as concentrações de ferro, manganês, cobre e cádmio na água estão acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86, em ambas as estações de coleta (estações 1 e 4) e meses amostrados (maio e novembro de 2000), demonstrando que tanto no período seco como no período chuvoso podem ocorrer concentrações elevadas destes metais ao longo de todo o sistema (no sentido rio Atibaia – barragem), contribuindo para a contaminação da águas e, conseqüentemente, com efeitos às comunidades bióticas. Em relação ao sedimento, este se caracteriza como poluído pela classificação de THOMAS (1987) em função da concentração de todos os metais totais avaliados e

somente para cádmio quando se considera a fração potencialmente biodisponível.

Tabela 71: Concentrações de metais (ppm) obtidas na água, sedimento (total e biodisponível), material sedimentável (mat.sed.) e comunidades (plâncton, macrófitas, bentos e peixes), na estação 1, do reservatório de Salto Grande.

	Fe		Mn		Zn		Cu		Cr		Cd	
	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.
Água	0.54	0.51	0,05	0.15	0,05	0,009	0.02	0,004	0,01	0,003	0.004	0.002
Plâncton	0,08	0,017	0,002	0,004	0,0008	0,0009	0,0006	0,0006	0	0,0001	0	0
*** <i>E. crassipes</i>	39646		17439		945		247		272		20	
*** <i>P. stratiotes</i>	39656		21250		1414		280		254		22	
*** <i>B. arrecta</i>	22977		3419		939		158		350		19	
*Saguiru	88,0		0		75,0		4,75		0		0	
**Bentos	-	1923	-	283	-	0	-	17	-	1	-	0
Sed. Biod.	6554	5730	321	325	93	49	35	38	6,5	7,8	3,4	6.5
Sed. Total	61906	47825	623	502	178	174	73	70	75	16	2	2
Mat. Sed.	2,4	0,52	0,25	0,048	0,024	0,006	0,018	0,007	0,027	0,006	0,003	0,002

* Saguiru –peixe (*Pseudocurimata* sp.), segundo TONISSI (1999), ** Ordem Oligochaeta, segundo, DORNFELD (2002) e *** Macrófitas aquáticas, segundo FARIA (2002).

Tabela 72: Concentrações de metais (ppm) obtidas na água, sedimento (total e biodisponível), material sedimentável (mat.sed.) e comunidades, na estação 4 (barragem), do reservatório de Salto Grande.

	Fe		Mn		Zn		Cu		Cr		Cd	
	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.
Água	0,23	1.83	0,06	0.69	0,035	0,008	0.022	0,006	0,022	0,007	0.005	0.002
Plâncton	0,026	0,01	0,005	0,001	0,0006	0,0007	0,0005	0,0003	0,0001	0	0	0
** <i>E. crassipes</i>	10706		16699		655		49		<10		0	
** <i>P. stratiotes</i>	16868		1570		435		44		16		0	
** <i>B. arrecta</i>	584		92		75		<5		<10		0	
* Piava	164,2		9		70		3,4		0		0	
Mat.Sed.	1,10	0,70	0,43	0,1	0,06	0,002	0,08	0,005	0,03	0,007	0,005	0,002
Sed. Bio	6551	4910	187	250	47	50	108	119	6,8	8	5	6
Sed. Total	55128	44997	437	417	106	60	190	189	26	27	3,5	4

* Piava – peixe (*Leoporinus* sp.), segundo TONISSI (1999) e **Macrófitas aquáticas, segundo MORAES (1998).

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente (1994), os ramos industriais de alimentos, têxtil, químico, papel e tinturaria são os que mais poluem os corpos d'água da bacia do Piracicaba, representando 79,8% da carga total, tendo os índices de redução: 40,0% (para indústrias de alimentos), 67,0% (têxtil), 68,0% (bebidas), 46,4% (aguardente) e 15,4% (tinturaria), estando todas abaixo dos 80,0% previstos

na legislação. Como uma projeção da carga poluidora urbana e industrial na sub-bacia do rio Atibaia para o ano de 2010, tem-se:

Tabela 73: Previsão das cargas (kg DBO.dia⁻¹) poluidoras para o ano de 2010.

Industrial		Urbana		Todos os setores	
Total	Residual	Total	Residual	Total	Residual
169.032,0	31.636,0	38238,0	36.211,0	207.270,0	67.847,0

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente (1994)

Observa-se, dessa forma, que embora estes dados sejam relativos à DBO, existe ainda uma carga residual industrial e urbana que podem estar contribuindo para as concentrações elevadas de metais em alguns meses no reservatório Salto Grande.

Com relação à retenção de metais nos organismos planctônicos, a Tabela 74 mostra os fatores de concentração obtidos, verificando-se que não ocorreram fatores de concentração acima de 1,0, o que implicaria em um acúmulo de metais no interior dos organismos. Mesmo assim, observa-se que os maiores fatores de concentração foram observados para ferro e manganês no mês de maio de 2000, sendo que para zinco, cobre e cromo ocorreu em novembro de 2000, principalmente na estação 1, a qual representa a área de maior aporte de materiais (entrada do rio Atibaia).

Tabela 74: Fatores de concentração de metais para organismos planctônicos no reservatório de Salto Grande.

	Fe		Mn		Zn		Cu		Cr		Cd	
	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.	Mai.	Nov.
Estação 1	0,14	0,03	0,04	0,026	0,016	0,1	0,03	0,15	0	0,03	0	0
Estação 4	0,11	0,005	0,08	0,001	0,017	0,087	0,02	0,05	0,004	0	0	0

Quanto a bioacumulação e biomagnificação dos metais em invertebrados, MOORE & RAMAMOORTHY (1984) descrevem que o cromo é rapidamente transferido através do alimento para os invertebrados, entretanto, não há indicação de bioacumulação em qualquer espécie. O cobre em águas doces não é acumulado em níveis tróficos superiores e o zinco é transferido para os invertebrados de águas doces, porém, sua acumulação não ocorre na maioria das espécies. Embora o cádmio

seja transferido para os invertebrados aquáticos através do alimento e água, os fatores de concentração são baixos quando comparados aos organo-metais.

Verifica-se que esse comportamento pode ser estendido para os peixes, os quais apresentaram concentrações mais elevadas de ferro, manganês e zinco em tecidos musculares. Para o cobre observou-se uma concentração muito baixa e para cromo e cádmio os valores foram nulos, demonstrando uma relação com os valores observados para os organismos planctônicos.

Segundo MOORE & RAMAMOORTHY (1984) o cobre é usualmente mais tóxico para peixes de água doce do que qualquer outro metal, com exceção do mercúrio, sendo que sua DL_{50} (dose letal) varia de 0,017 a 1,0 $mg.L^{-1}$ em determinadas condições como, por exemplo, da ocorrência do aumento da dureza na água. Em relação aos seres humanos, o limite de cobre para alimentos é de 30,0 $mg.kg^{-1}$ (NAVAS-PEREIRA, 1985) e a toxicidade aguda decorrente da ingestão de cobre não é freqüente em seres humanos. Relatos de exposição aguda estão relacionados ao uso de sulfato de cobre em doses de 0,4 a 100 mg Cu (PEDROZO & LIMA, 2001). As concentrações de cobre encontradas nas duas espécies de peixes no reservatório de Salto Grande foram inferiores aos exigidos pela legislação para alimentação humana.

A DL_{50} (dose letal) do zinco para peixes varia de 0,5 a 5,0 $mg.L^{-1}$, sendo que para “*goldfish*” é de até 100,0 $mg.L^{-1}$ e para a truta arco-íris é de apenas 5,0 $mg.L^{-1}$, o que mostra as diferenças de sensibilidade das espécies e os riscos associados à padronização de uma única espécie como indicadora do estresse ambiental. Para seres humanos, o limite de zinco estabelecido para alimentos é de 100,0 $mg.kg^{-1}$ (NAVAS-PEREIRA et al., 1985), sendo que são raros os casos de toxicidade pela ingestão de zinco, observando-se, dessa forma, que também as concentrações de zinco em peixes no reservatório de Salto Grande estão em conformidade com os padrões para alimentação.

Com relação ao manganês, MARTINS & LIMA (2001) relatam que, apesar de ser um elemento essencial, os dados existentes são insuficientes para estabelecer um valor para ingestão diária mas, como uma dose de referência em alimentos, tem-se o valor de 0,14 $mg.kg^{-1}.dia^{-1}$ ou 10,0 mg para um indivíduo adulto de 70 kg. De acordo com estes limites, as concentrações obtidas em peixes no reservatório de Salto Grande estão dentro da faixa estabelecida.

Sendo o ferro um elemento essencial, sua necessidade diária para adultos varia de 10,0 a 50,0 mg.dia⁻¹ e, segundo o PMTDI (*Provisional Maximun Tolerable Daily Intake*), a ingestão diária de ferro referente à exposição por todas as fontes, exceto para os sais de ferro usados como agentes de coagulação, deve ser de 0,8 mg.kg⁻¹, o que demonstra que os valores de metais em peixes do reservatório de Salto Grande estão dentro dos padrões recomendados para ingestão diária. No entanto, estudos mais detalhados devem ser conduzidos para outros metais, incluindo outras espécies (herbívoras, carnívoras e detritívoras), como aquelas mais utilizadas como fonte alimentar pela população ribeirinha ou pelos frequentadores da represa nos fins de semana e feriados. Tal medida é necessária tendo em vista os riscos de exposição dos usuários frente ao alimento contaminado, uma vez que as análises existentes ainda não são suficientes para incentivar uma liberação (ou não) da pesca direcionada a alimentação.

A análise de metais para organismos bentônicos do gênero *Oligochaeta*, demonstrou uma concentração elevada para ferro e manganês e uma menor concentração para cobre e cromo, atingindo os seguintes fatores de concentração: 0,33 para Fe; 0,87 para Mn; 0,44 para Cu e 0,12 para Cr, verificando-se que no mês de novembro de 2000 não ocorreu fator de concentração superior a 1, para nenhum dos metais analisados. No entanto, DORNFELD (2002) obteve fatores de concentração superiores a 1,0 em novembro de 2000, na estação 3 (a mesma do presente estudo), no reservatório de Salto Grande, cujos fatores de concentração para o gênero *Chironomidae* foram: 238,0 para cádmio; 287,0 para cobre e 224,0 para zinco, demonstrando uma elevada retenção de metais por esses organismos. Tal fato pode ser avaliado como uma consequência da concentração de metais no sedimento, uma vez que estes gêneros fazem parte da comunidade bentônica, passando parte do seu ciclo de vida no sedimento. Por outro lado, os organismos bentônicos também parte da dieta alimentar de espécies pertencentes a outros níveis tróficos, incluindo os peixes e aves, verificando-se, desta forma, uma rota básica de exposição via cadeia alimentar.

Pela concentração de metais nas câmaras de sedimentação verifica-se que em maio de 2000 (período seco), na estação 1 e 4, ocorreu uma maior deposição de metais do que em novembro de 2000 (período chuvoso), demonstrando que mesmo com uma menor vazão de entrada, a contribuição dos metais para o sistema foi

elevada. Esta situação pode ser observada pelas elevadas concentrações de metais no sedimento, no qual, pela classificação de THOMAS (1987), para a maioria dos metais analisados nas duas estações de coleta e ambos os meses, o sedimento encontra-se poluído ou altamente poluído. Isto se deve ao fato de que, durante vários anos, o reservatório de Salto Grande recebeu o lançamento contínuo de esgotos domésticos e industriais de toda a bacia hidrográfica do rio Atibaia, sem um período preferencial de deposição (como demonstrado pela datação do sedimento), além da contribuição por fontes difusas, como aquelas provenientes das atividades agropastoris.

ADAMS (1995)¹ apud MELETTI (1997) menciona que os sedimentos são, ao mesmo tempo, um sumidouro e uma “fonte” de agentes tóxicos em ambientes naturais. As concentrações de metais potencialmente biodisponíveis demonstraram que esta “fonte” de elementos pode ser observada no reservatório de Salto Grande, com as seguintes porcentagens de metais potencialmente biodisponíveis em relação totais: ferro com 11,0%; manganês variando de 40,0 a 60,0%; zinco entre 30,0 e 80%; cobre com 50,0%; cromo variando de 8,0 a 48,0% e cádmio com 100,0%. Deve-se notar que as porcentagens de metais potencialmente biodisponíveis apresentaram-se maiores nas concentrações menos elevadas, como para cobre, cromo, zinco e cádmio, os quais são metais com maior toxicidade ao sistema.

O elevado conteúdo de metais também foi observado para as macrófitas aquáticas (MORAES, 1998 e FARIA, 2002), indicando a capacidade de retenção de metais e, ao mesmo tempo, a fonte potencial dos mesmos ao sistema (retorno) após decomposição. Os resultados demonstram que as maiores concentrações de metais foram obtidas principalmente para *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes*, espécies que normalmente apresentam elevada biomassa no reservatório (235 e 1.068 g/m²) e estoque de nutrientes (10,39 e 41,65 g/m² de nitrogênio e 26,56 e 109,79 µg/m² de fósforo) e de metais (ferro: 9,32 e 41,15 g/m²; manganês: 4,99 e 18,10 g/m²; zinco: 0,33 e 0,98 g/m², entre outros, respectivamente para *P. stratiotes* e *E. crassipes*.), como mencionado pelos autores.

⁴ADAMS, W.J (1995) Aquatic Toxicology Testing Methods. In: HOFFMAN, D.J.; RATTNER, B.A; BURTON, G.A; CAIRNS, J. eds. *Handbook of Ecotoxicology*. Boca Raton, Lewis Publishers.

7.2. Propostas para manejo do reservatório de Salto Grande

Como medida para a recuperação deste sistema, o tratamento de esgotos, domésticos e industriais, de todos os municípios e industriais da bacia hidrográfica do rio Atibaia seria o início do processo para que as outras medidas, que serão mencionadas a seguir, obtenham os resultados esperados.

Conforme mencionado por CARVALHO (1994), os reservatórios funcionam como uma bacia coletora de sedimentos, bem como de inúmeras substâncias (tóxicas ou não) associadas a estes. Segundo RIOS (1999), a eficiência de retenção do reservatório de Salto Grande é 88,0% para material em suspensão total, sendo de 76,0% para fósforo total e 71,0% para ferro total, demonstrando, dessa forma, que o reservatório está funcionando como um grande sistema de tratamento ou retenção de efluentes produzidos pela bacia hidrográfica do rio Atibaia, contribuindo para a melhoria da qualidade do rio Piracicaba, embora isto represente prejuízos ambientais (muitos dos quais irreversíveis) e, conseqüentemente, econômicos e sociais à região onde está inserido.

Neste contexto, verifica-se uma redução dos danos ambientais quando se avalia a bacia do rio Piracicaba, da qual a sub-bacia do rio Atibaia é parte integrante. Ou seja, ao invés de um rio de grande extensão seriamente impactado, tem-se um reservatório de 17,0 km de comprimento e uma área de 13,52 km² que serve para reduzir os impactos à jusante, retendo nutrientes, metais e outras substâncias que inserem modificações na estrutura e funcionamento do ecossistema, envolvendo, sob esta ótica, a degradação da qualidade da água e sedimento, a perda de espécies, os riscos associados à saúde humana e a desvalorização da paisagem, repercutindo negativamente na economia da região, além dos aspectos sociais envolvidos.

Por outro lado, considerando-se as funções de um ecossistema, reconhece-se como de igual importância a função de informação, ou seja, a utilização do reservatório para a geração de novos conhecimentos que poderiam ser gerados a partir de estudos envolvendo água, sedimento, comunidades bióticas e processos, entre estes, o da eutrofização, contaminação e análise da degradação. Embora sejam reconhecidos os impactos negativos da ação antropogênica nos recursos naturais e, no caso, artificiais (por se tratar de reservatório), a sucessão de eventos com efeitos no funcionamento dos ecossistemas ainda podem ser considerados insuficientes

quando se procura aplicar os conhecimentos advindos das pesquisas básicas em medidas, ecotecnológicas ou não, que visem a recuperação, manejo e preservação dos ecossistemas aquáticos.

Exemplos deste descompasso entre geração de conhecimentos e apresentação de propostas são bem evidentes em diversos sistemas, os quais encontram-se impactados (represa da Pampulha, em Minas Gerais; reservatório da Billings e Guarapiranga, em São Paulo e os diversos reservatórios do sistema Tietê) ou tendendo a degradação (como o reservatório do Lobo, São Paulo, por exemplo), além dos inúmeros rios e lagos urbanos. Reconhece-se, no entanto, que as medidas deveriam ser preventivas e não curativa e que a adoção destas medidas depende da estrutura política e administrativa de cada região, dos rumos tomados pelos governantes (municipais, estaduais e federais) e da participação da própria sociedade civil, a qual deveria ser mais atuante nas questões ambientais como base da sustentabilidade dos recursos naturais.

O reservatório de Salto Grande é um típico exemplo da geração de conhecimentos científicos vinculados a diferentes instituições de ensino e pesquisa do país. Os inúmeros trabalhos desenvolvidos datam da década de 70, período em que o reservatório era considerado um pólo turístico da região do interior de São Paulo e, já nesta fase, os principais problemas, como o aporte de efluentes urbanos e industriais e a fragmentação da paisagem nativa, estavam sendo detectados. Após 30 anos de conhecimento gerado, envolvendo água, sedimento, comunidades aquáticas (plâncton, bentos, peixes e macrófitas), disponibilizando resultados das análises quali e quantitativa, além de alguns processos avaliados, pouco foi feito para reverter o quadro atual, caso tal situação fosse plenamente viável, reconhecendo-se somente ações isoladas de associações de moradores, alguns líderes políticos e a universidade.

Verifica-se, portanto, que a raiz do problema não está na falta de conhecimento sobre o ecossistema impactado e nem nas possíveis medidas que poderiam ser adotadas, as quais ainda permanecem restritas às suas fontes de origem (dissertações e teses). STRAŠKRABA (1996), por exemplo, descreveu alguns métodos ecotecnológicos para fontes de poluição difusas, mas que poderiam ser aplicadas ao reservatório de Salto Grande, incluindo o manejo da bacia hidrográfica (áreas alagadas e pré-reservatórios) e o manejo interno do reservatório (biomanipulação, regulação hidráulica). A inserção da bacia hidrográfica como

unidade de planejamento já está incluída na legislação, embora ainda não tenha sido adotada, na prática, como elemento básico de estudo ambiental.

Os estudos desenvolvidos por LOPES-FERREIRA (2000), com o objetivo de estudar o efeito do “mini-pantanal” criado na porção superior do reservatório de Salto Grande pelo acúmulo de sedimentos, juntamente com macrófitas aquáticas, é um outro exemplo da pesquisa aplicada ao gerenciamento ambiental. A autora sugeriu um modelo de áreas alagadas construídas para que as concentrações de nutrientes e metais fossem retiradas da água do rio Atibaia antes que atingissem o reservatório, propriamente dito. Dessa forma, seriam utilizadas as espécies de macrófitas já existentes no sistema, sendo que estas deveriam ser retiradas das áreas alagadas antes que atingissem o estado de senescência, evitando que os nutrientes e metais absorvidos retornassem ao sistema (medida ecotecnológica).

MORAES (1998) e FARIA (2002), por outro lado, demonstraram que as macrófitas aquáticas retiram elevadas quantidades de metais do sistema, tornando-as essenciais para serem utilizadas na retirada de elevadas concentrações de ferro, manganês, zinco e principalmente de cobre, cromo e cádmio.

Em relação à disposição final das macrófitas, FARIA (op cit) desenvolveu em seu estudo a hipótese da utilização das macrófitas aquáticas retiradas do reservatório de Salto Grande na confecção de tijolos de Adobe (secos ao sol), os quais poderiam ser usados na construção civil. O solo das proximidades do reservatório foi utilizado como base para confecção os tijolos, mas outros tipos de solo poderiam ser utilizados, desde que apresentassem as características físicas necessárias para sua utilização (maior teor de silte e argila). Uma ampla discussão sobre o assunto foi apresentada pelo autor, incluindo não somente os aspectos relacionados à retirada das macrófitas do reservatório mas também a redução dos custos de energia, a preservação da vegetação (reflorestamento ou não) e o resgate cultural de uma técnica antiga de construção milenar: a construção em adobe.

Outro importante aspecto a ser considerado relaciona-se a contaminação do sedimento e as dificuldades operacionais de sua remoção e posterior armazenamento, ou ainda os riscos ambientais que poderiam ocorrer mediante a ressuspensão do material sedimentado. Segundo JACKSON (1991), a remoção de sedimentos é utilizada para reduzir a liberação de metais e fósforo para a coluna d’água, reduzindo, dessa forma, a concentração de substâncias no sistema, mas tendo como

desvantagens o alto custo e a possível liberação desses elementos tóxicos para a coluna d'água durante sua dragagem.

Nesse sentido, redireciona-se novamente a pesquisa para a possibilidade de utilização do sedimento de Salto Grande na confecção de tijolos de Adobe, pois este apresentou, na maioria das estações de coleta, uma elevada contribuição de silte + argila, atingindo cerca de 60,0% da fração total do sedimento, mostrando características apropriadas para a confecção dos tijolos. Dessa forma, os dois maiores compartimentos retentores de metais (sedimento e macrófitas) poderiam ser retirados do reservatório com o objetivo de “aprisionar” esses elementos em edificações apropriadas para usos em vários anos. Ressalta-se, no entanto, que maiores estudos precisam ser conduzidos ainda sobre a remoção dos sedimentos, uma vez que as características do material alternativo (tijolo de adobe usando macrófitas) já foram avaliadas de forma intensiva, seguindo as normas estabelecidas na área da construção civil.

A construção de pré-reservatórios poderia ser uma estratégia para a diminuição dos custos de dragagem dos sedimentos, uma vez que o material que fosse depositado deveria ser retirado para evitar o extravasamento do mesmo, facilitando a manipulação do sedimento e seu redirecionamento para o local da confecção dos tijolos. Segundo PÜTZ & BENNDORF (1998), os pré-reservatórios devem apresentar um tempo de retenção ótimo para deposição do material, não devendo ultrapassar os 3 metros de profundidade média, sendo esta uma ferramenta para a melhoria da qualidade de água, mas que não podem substituir ações contemplando a bacia hidrográfica.

O processo de regulação hidráulica também poderia ser utilizado para a melhoria da qualidade da água do hipolímnio, mas poderia ocasionar problemas a jusante da barragem, pois estaria eliminando uma água com baixa concentração de oxigênio e com elevadas concentrações de nutrientes e substâncias tóxicas da interface com o sedimento.

Como um protocolo de ações a serem desenvolvidas para o manejo da qualidade da água de lagos e reservatórios, STRAŠKRABA (1996) enumerou:

- Considerar os lagos e reservatórios como sistemas dinâmicos
- Manter estruturas naturais (margens, florestas e a heterogeneidade da paisagem);

- Manter a biodiversidade;
- Considerar o corpo d'água sensível às descargas pontuais;
- Preferir opções de manejo baseadas em interações mútuas entre componentes bióticos e suas relações com os abióticos;
- Respeitar a sustentabilidade do desenvolvimento;
- Manejar o lago e o reservatório como um componente da bacia hidrográfica;
- Avaliar efeitos a longo-prazo para tomadas de decisão;
- Avaliar os efeitos no ambiente global no manejo de opções;
- Enfrentar os conflitos de usos;
- Manejar os ecossistemas lagos e reservatórios como um conjunto de subsistemas interconectados;
- Determinar a capacidade de assimilação para vários poluentes e não excedê-los.

8. CONCLUSÕES

- 1) A distribuição de metais dentro dos compartimentos do reservatório de Salto Grande deu-se da seguinte forma:

Água – as concentrações de Ferro e Manganês apresentaram os maiores valores no mês de novembro nas estações 2 e 4, ultrapassando os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 20/86, para águas de Classe 2, que é de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ para Ferro e $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para Manganês. Os elementos Zinco, Cobre e Cromo apresentaram as maiores concentrações nos meses de maio e agosto, onde para zinco os maiores valores foram observados na estação 1 e para Cobre e Cromo na estação 2, sendo que somente os valores de Zinco ficaram abaixo dos limites da resolução CONAMA 20/86 para águas Classe 2. Para Cádmio, as maiores concentrações foram observadas na estação 4, em fevereiro de 2000, mas em todas as estações de coleta e meses amostrados, os valores foram superiores aos $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ recomendados pela resolução CONAMA 20/86 para águas Classe 2.

Sedimento – para Ferro, Manganês e Cromo, as maiores concentrações médias foram observadas na estação 2, o elemento Zinco apresentou a maior concentração na estação 1, sendo que Cobre e Cádmio apresentaram as maiores concentrações nas estações 3 e 4. Não foram observadas grandes variações entre os meses amostrados, sendo que o sedimento apresentou a seguinte classificação quando ao grau de poluição: Ferro [altamente poluído ($>25.000,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e acima do valor do folhelho geológico mundial de $47.500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$]; Manganês [moderadamente poluído (de $300,0$ a $500,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), mas dentro do valor do folhelho geológico mundial de $850,0 \text{ mg.kg}^{-1}$]; Zinco [moderadamente poluído (de $90,0$ a $200,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e acima do valor do folhelho geológico mundial de $95,0 \text{ mg.kg}^{-1}$]; Cobre [altamente poluído ($> 50,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e acima do valor do folhelho geológico mundial de $45,0 \text{ mg.kg}^{-1}$]; Cromo [altamente poluído ($>70,0 \text{ mg.kg}^{-1}$)] e Cádmio [varia de moderada a altamente poluído (de $2,0$ a $6,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e encontra-se acima do valor do folhelho geológico mundial de $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$].

Taxa de sedimentação – para os elementos Manganês, Zinco, Cádmio e Cobre, o mês de maior deposição foi maio, sendo que para Zinco ($37,98 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), Cobre ($2,98 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e Cádmio ($54,74 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), a estação de coleta

com maior taxa de sedimentação foi a 3 (30%) e para Manganês ($247,7 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) foi a estação 2 (70%). O Ferro também apresentou elevadas taxas de sedimentação em maio, mas o valor máximo de $1.450,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foi determinado em novembro, na estação 2 (70%). O Cromo apresentou valores elevados de sedimentação em maio e agosto, sendo que o valor máximo de $23,53 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foi atingido na estação 1 (30%), em agosto.

Organismos Planctônicos – no mês de agosto, as maiores retenções de metais no plâncton foram observadas para Ferro ($0,081 \text{ mg.L}^{-1}$), Manganês ($0,0054 \text{ mg.L}^{-1}$) e Cádmio ($0,00013 \text{ mg.L}^{-1}$), nas estações 1, 4 e 3, respectivamente. Zinco e Cobre apresentaram as maiores retenções em novembro, com os valores de $0,0017 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,0018 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, ambos na estação 1. Os organismos planctônicos retiveram valores bem próximos de Cromo em maio, agosto e novembro, mas as maiores retenções ($0,00011 \text{ mg.L}^{-1}$) foram observadas na estação 4, em maio.

- 2) Com exceção do Zinco, os demais elementos apresentaram as maiores concentrações médias no sedimento nas estações de coleta com as maiores taxas de sedimentação, sendo este fato observado para Ferro e Manganês (estação 2), Cobre e Cádmio (estações 3 e 4) e Cromo (estações 1 e 2).
- 3) Dos seis elementos estudados, a seqüência da biodisponibilidade para biota aquática (plâncton) foi: Ferro e Manganês, seguido por Zinco e Cobre, finalizando com Cromo e Cádmio. Embora os valores retidos não sejam elevados, feve-se ressaltar que a seqüência dos valores encontrados na comunidade planctônica apresentou relação direta com os valores de metais encontrados na água, demonstrando que os organismos planctônicos estiveram suscetíveis às concentrações desses elementos em Salto Grande.
- 4) Relacionando as concentrações de metais nos perfis de sedimento com a datação pelo Pb^{210} , não observou-se, para os elementos Ferro, Manganês, Zinco, Cádmio e Cromo, um aumento nas concentrações nas camadas mais profundas, não sendo possível determinar períodos de maior entrada e deposição no sedimento de Salto Grande nos últimos 20 anos. Para o elemento Cobre, notou-se um aumento ao longo do perfil nas concentrações das camadas de 25 a 35 cm, principalmente nas estações 3 e 4, sugerindo uma entrada e deposição desse elemento entre os anos de 1985 a 1990.

9. BIBLIOGRAFIA

- ABNT (1968) *Análise Granulométrica de Solos* (Método Brasileiro).
- ANDERSEN, J. M. (1976) An ignition method for determination of total phosphorous in lake sediments. *Water research*. v.10. p.329-313.
- APHA (1995) *Standard Methods for examination water and wastewater*. Eds. EATON, A. D. et al. 19th edition.
- ATLAS NACIONAL DO BRASIL (1992) *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Rio de Janeiro. 2^a edição.
- AZEVEDO, H.L.; MONKEN, H.R. ; MELO, V. P. (1988) Study of heavy metal pollution in the tributary rivers of the Jacarepagua Lagoon, Rio de Janeiro State, Brazil, through sediment analysis. In: SEELINGER, U. et al. (eds) *Metals in Coastal Environments of Latin America*. Springer-Verlag. p.21-29.
- BARROS, M.C. P. (1991) *Utilização de técnicas analíticas para caracterização do ácido húmico da ilha de Cananéia (São Paulo) e sua interação com metais*. São Carlos 110p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- BLOESCH, J. (1994) A review of methods used to measure sediment resuspension. *Hydrobiologia*, v. 284, p.13-18.
- BORG, H. (1995) Trace elements in Lakes. In: *Trace elements in natural waters*. SALBU, B.; STEINNES, E. (eds.) CRC Press. p.177-202.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. (1998) In: *Workshop – Controle de Plantas Aquáticas, Brasília*. Resumos. 58p.
- BROMAN, D.; LUNDBERGH, I.; NÄF, C. (1994) Spatial and seasonal variation of major and trace elements in settling particulate matter in a estuarine-like archipelago area in the northern Baltic proper. *Environmental Pollution*. v.85. p. 243-257.
- BRAYNER, F. M. M. (1998) *Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 103p.

- CALIJURI, M.C. (1999) *A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)*. São Carlos – Tese de Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 211p.
- CALMANO, W. ; FÖRSTNER, U.; HONG, J.(1994) Mobilization and scavenging of heavy metals following resuspension of anoxic sediments from the Elbe River. In: *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*. American Chemical Society. p.299-321.
- CALMANO, W. (1996) Metals in sediments: Remobilization and environment hazards. In: *Development and Progress in Sediment Quality Assessment: Rationale, Challenges, Techniques & Strategies*. Eds. MUNAWAR, M ; DAVE, G. p. 1-13.
- CAMPBELL, P .G. C. ; TESSIER, A. (1991) Biological availability of metals in sediments: analytical approaches. In: *Heavy Metals in the Environment*. Ed. VERNET, J.P. Elsevier. p.161-174.
- CARMOUZE, J. P. (1994) *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. Editora FAPESP. 253p.
- CARVALHO, M.A.J. (1979) *A represa de Americana, São Paulo: aspectos físico-químicos e a variação das populações de Copepoda cyclopoida de vida livre*. São Paulo. Tese (Doutorado) Instituto Biológico – Universidade de São Paulo. 80p.
- CARVALHO. N.O. (1994) *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro. CPRM. 372p.
- CAZOTTI, R.I. (2002) *Datação de sedimentos lacustres com ^{210}Pb : Metodologia e aplicações nas barragens do Rio Tietê*. São Carlos. Tese (Doutorado) Departamento de Química – Universidade Federal de São Carlos.
- CETESB (1995) *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo*. 269p.
- CHEN, J.S.; CHEN, C.Q.; WANG, F.Y. (1991) Geographical tendency of geochemical characteristics and binding capacity of suspended matter from the five main rivers of east China for heavy metals. In: *Heavy metals in the environment*. Ed. VERNET, J.P. Elsevier. p. 125-135.

- COELHO, M. A. (1993) *Análise do processo de assoreamento do Reservatório de Americana* - SP. Rio Claro. 69p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- COELHO, R.M.P. & GRECO, M.K.B. (1998) Teores e metais pesados em organismos zooplancônicos e na macrófita aquática Eichhornia crassipes no reservatório da Pampulha, Belo Horizonte, MG. *Ciência e Tecnologia*. p. 64-69.
- COSTA, J.B. & ESPÍNDOLA, E. L. G. (2000) Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento de tributários do reservatório de Barra Bonita (Médio Tietê Superior – SP). In: *Ecotoxicologia – Perspectivas para o Século XXI*. Eds. ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. p. 75-94.
- COSTA, J. B. (2001) *Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento de tributários do reservatório de Barra Bonita (médio Tietê Superior – SP)*. São Carlos 281p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- D'ITRI, F.M. (1990) The biomethylation and cycling of selected metals and metalloids in aquatic sediments. In: *Sediments: chemistry and toxicity of in-place pollutants*. BAUDO, R.; GIESY, P.; MUNTAU, H. (eds.) p. 163-214.
- DORNFELD, C.B. (2002) *Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)*. São Carlos. 197p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- EDMONDSON, W. T. ; WINBERG, G. G. (1972) *A manual of methods for assessment of secondary productivity in fresh waters*. Oxford, Blackwell Scientific Publications. (IBP, 17).
- ESTEVES, F. A. (1981) Análises preliminares sobre o teor e a distribuição de metais em sedimento de represas do Estado de São Paulo. In: *II Seminário Regional de Ecologia*. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos. Anais. p.323-342.
- ESTEVES, F. A. (1988) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro. Interciência, FINEP. 575p.
- FALCO, P.B. (2001) *Distribuição espacial e temporal da comunidade fitoplancônica e das variáveis ecológicas no reservatório de Salto Grande (Americana-SP), em duas épocas do ano*. São Carlos. 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

- FARIA, O. B. (2002) *Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso na represa de Salto Grande (Americana – SP)*. São Carlos. 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- FONSECA, A . L. (1997) *Avaliação da qualidade da água na bacia do Rio Piracicaba - SP através de testes de toxicidade em invertebrados*. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- FÖRSTNER, U. (1976) Metal concentrations in freshwater sediments – natural background and cultural effects. In: GOLTERMAN, H. L (ed.) *Interactions between sediments and freshwater*. Proceedings of international Symposium held at Amsterdam. Netherlands. p.94-100.
- FÖRSTNER, U. (1983) Metal concentrations in River, Lake and Ocean Waters. In: *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag. p.71-106.
- FÖRSTNER, U. ; WITTMANN, G. T. H. (1983) *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag. 486p.
- FRACÁCIO, R. (2001) *Utilização de bioensaios ecotoxicológicos com Danio rerio (Cypriniformes, Cyprinidae) e análises limnológicas para avaliação ambiental dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP)*. São Carlos. 233p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- GIANESSELLA-GALVÃO, S.M.F. (1981) *Produção primária e suas relações com alguns fatores físico-químicos em reservatórios do Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo. 147p.
- GIBBS, R. J. (1993) Metals of the bottom muds in Townsville Harbor, Australia. In: *Environmental Pollution*. v.81. p .297-300.
- GOBBO, C. (1991) *Aspectos geográficos e geomorfológicos: municípios de Nova Odessa, Americana e Santa Bárbara D'Oeste - SP*. /Monografia/.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. (1978) *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2 ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. (IBP, 8).
- HAYES, W.J. ; BUCKNEY, R. T. (1998) Chemical characteristics of sediments and interstitial waters in some small Hawkesbury Sandstone freshwater streams of the Sydney area. In: *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. v.3 p. 165-178.

- HONG, J.; CALMANO, W; FORSTNER, U. (1995) Interstitial waters. In: *Trace elements in natural waters*. SALBU, B; STEINNES, E. (eds.) p. 117-150.
- JACKSON, J. (1991) Heavy metals and other inorganic toxic substances. In: *Guidelines of Lake Management*. Ed. MATSUI, S. Japan. ILEC. p.65-80.
- KAREZ, C.S.; MAGALHÃES, V.F; PFEIFFER, W.C.; AMADO-FILHO, G.M. (1994) Trace metal accumulation by algae in Spetiba Bay, Brazil. *Environmental Pollution*. v 83.p. 351-356.
- KRUG, F.J. (1996) I Workshop on methods of sample decomposition. Pré-tratamento de amostras. CENA – USP.
- KOROLEFF, F. (1976) Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. ed. *Methods of seawater analysis*. Verlag. Chemie. Weinheim. p. 117-181.
- LEITE, M. A. (1998) *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no Reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema*. São Carlos 178p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- LEITE, M.A.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (2002) Análise do processo de eutrofização entre os Reservatórios de Salto Grande (22° 44’S e 47° 15’W) e do Lobo (22° 10’S e 47° 57’W). *Recursos Hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado* – Série: Ciências da Engenharia Ambiental – PPG SEA – CRHEA – SHS –EESC – USP. Rima. vol.1 p.107-116.
- LEPP, N. W. (1981) *Effect of heavy metal pollution on plants*. Aplied Science Publishers.
- LIMA, N.R.W. (1990) Análises dos níveis de metais pesados no sistema hídrico da Estação Ecológica do Jataí. *Acta Limnologica Brasiliensia*. v. III. p. 1001-1021.
- LIMA, I.V.; PEDROZO, M.F.M (2001) Ecotoxicologia do ferro e seus compostos. Série: *Cadernos de Referência Ambiental* v.4. Núcleo de estudos avançados do meio ambiente. Centro de recursos ambientais. 111p.
- LITHNER, G. ; BROMAN, D; NÄF, C.; BORG, H.; JOHANSSON, A.M.; KÄRRHAGE, P.; LARSSON, M.B. (1996) Metals in settling particles and surficial sediments of the Swedish Baltic coast 1988-1989. In: *Development and Progress in Sediment Quality Assessment: Rationale, Challenges, Techiques & Strategies*. Eds. MUNAWAR, M ; DAVE, G. p. 27-46.

- LIU, W. ; WANG, Z.; WEN, X.; TANG, H. (1999) The application of preliminary sediment quality criteria to metal contamination in the Le Na River. In: *Environmental Pollution*. v.105. p. 355-366.
- LIVENS, F.R. (1991) Chemical reactions of metals with humic material. In: *Environmental Pollution*. v 70. p. 183-208.
- LOPES-FERREIRA, C.M.; CALIJURI, M.C.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (1998) The role of a natural system in improving the quality of the Atibaia River's water (State of São Paulo). *Proceedings - 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. p. 176-185.
- LOPES-FERREIRA, C.M. (2000) *Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para a melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana – SP)*. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 147p.
- MACIAS-ZAMORA, J. V.; VILLAESCUSA-CELAYA, A.; MUÑOZ-BARBOSA, A. (1999). Trace metals in sediment cores from the Campeche shelf, Gulf of Mexico. In: *Environmental Pollution*. v.104. p. 69-77.
- MACKERETH, F. J. H., HERON, J.; TALLING, J.S. (1978) *Water analysis: some revised methods for limnologists*. (Freshwater Biological Association Scientific Publication., n. 36). Kendall. Titus Wilson.
- MARTINS, I.; LIMA, I.V. (2001) Ecotoxicologia do manganês e seus compostos. Série: *Cadernos de Referência Ambiental* v.7. Núcleo de estudos avançados do meio ambiente. Centro de recursos ambientais. 121p.
- MASUTTI, M.B.(2000) Biodisponibilidade e Bioconcentração de Metais-traço no Manguezal do Itacorubi (Florianópolis – SC). In: *Ecotoxicologia – Perspectivas para o Século XXI*. Eds. ESPÍNDOLA, E. L .G. et al. p. 207-220.
- MELETTI, P.C. (1987) *Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Piracicaba através de testes de toxicidade aguda com peixes*. São Carlos 148p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- MINOTI, R.T. (1999) Variação anual da produção primária e estrutura da comunidade fitoplânctônica no reservatório de Salto Grande (Americana – SP). São Carlos 142p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

- MOORE, J. W. ; RAMAMOORTHY, S. (1984) *Heavy metals in natural waters*. Springer-Verlag. p. 205-261.
- NÄF, C.; AXELMAN, J.; BROMAN, D. (1996) Organic contaminants in sediments of the Baltic Sea: Distribution, behaviour and fate. In: *Development and Progress in Sediment Quality Assessment: Rationale, Challenges, Techiques & Strategies*. Eds. MUNAWAR, M ; DAVE, G. p. 15-25.
- NAVAS-PEREIRA, D.; PÁDUA, H.B.; EYSINK, G.G.J.; PIVA-BERTOLETTI, S.A. (1985) Níveis de contaminação por metais pesados e pesticidas na água, sedimento e peixes da represa de Barra Bonita. In: *13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Maceió.
- NOVOTNY, V. (1995) Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In: *Heavy metals: problems and solutions*. Eds. SALOMONS, W. ; FÖRSTNER, U. ; MADER, P. Springer. p.33-52
- OLIVEIRA-NETO, A. L. ; BOTTA-PASCHOAL, C. M. R. (2000) Sensibilidade do Cladocera Lacustre Planctônico Ceriodaphnia silvestrii (Família Daphnidae) aos metais cádmio, cromo e chumbo. In: *Ecotoxicologia – Perspectivas para o Século XXI*. Eds. ESPÍNDOLA, E. L.G. et al. p. 537-544.
- PAETZEL, M.; SCHRADER,H.; BJERKLI, K. (1994) Do decreased trace metal concentrations in surficial Skagerrak sediments over the last 15-30 years indicated decreased pollution? – In: *Environmental Pollution* v.84 p.213-226.
- PATELLA, E. (1998) *Caracterização biogeoquímica dos estoques de metais pesados contaminantes e nutrientes de testemunhos de sedimentos do reservatório da Guarapiranga da RMSP*. 65p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- PEDROZO, M.F.M.; LIMA. I. V. (2001) Ecotoxicologia do cobre e seus compostos. Série: *Cadernos de Referência Ambiental* v.2. Núcleo de estudos avançados do meio ambiente. Centro de recursos ambientais. 127p.
- PIRACENA (1996) A bacia hidrográfica como unidade de estudo – Estrutura e Processos. In: *Anais do II Workshop do Projeto PiraCena*. 193p.
- PHIPPS, D.A. (1981) Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems. In: *Effect of heavy metal pollution on plants*. Ed. LEPP, N. W. Aplied Science Publishers. p. 1-54.

- PRUDENTE, M. S. ; ICHIHASHI, H. ; TATSUKAWA, R. (1994). Heavy metal concentrations in sediments from Manila Bay, Philippines and inflowing rivers. *Environmental Pollution*. v.86. p.83-88.
- PÜTZ, K. ; BENNDORF, J. (1998) The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs. In: *Water and Science Technology*. v.37. p. 317-324.
- RASPOR, B.; NÜRNBERG, H.W.; VALENTA, P. ; BRANICA, M. (1984) Significance of dissolved humic substances for heavy metal speciation in natural waters. In: *Complexation of trace metals in natural waters*. KRAMER, C.J.M DUINKER, J.C. (eds.) p. 317-327.
- RIOS, L. (1999) *Distribuição espaço-temporal e balanço de massa do fósforo na Represa de Salto Grande – Americana (SP)*. São Carlos. 159p.Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- RODGHER, S. (2001) *Estudos ecotoxicológicos e limnológicos nos reservatórios em cascata do médio e baixo rio Tietê: uma análise espacial e temporal*. São Carlos. 213p.Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
- ROSS, H. B. ; VERMETTE, S. T. (1995) Precipitation. In: *Trace elements in natural waters*. SALBU, B; STEINNES, E. (eds.) p. 99-116.
- SALÁNKI, J ; LICSKÓ, I. (1991) Heavy metals in lake Balaton. In: *Guidelines of Lake Management*. Ed. MATSUI, S. Japan. ILEC. p.81-87.
- SALOMONS, W. ; FÖRSTNER, U. (1984) *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag. 349p.
- SALOMONS, W.; KERDIJK, H.; VAN PAGEE, H.; KLOMP, R.; SCHREUR (1988) Behaviour and impact assessment of heavy metals in estuarine and coastal zones. In: SEELINGER, U. et al. (eds) *Metals in Coastal Environments of Latin America*. Springer-Verlag. p.157-198.
- SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. (1980) IGC. *Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo..*
- SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo* (1981).
- SÃO PAULO (1981) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo. v.I Escala 1:500.000.

- SÃO PAULO . Secretaria de obras e do meio ambiente. (1982) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo* -Universidade Estadual Paulista
- SÃO PAULO (1997) *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas de Ribeirão Preto. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. São Paulo. v.I Escala 1:500.000.
- SAWIDIS, T. & VOULGAROPOULOS (1986) Seasonal bioaccumulation of iron, cobalt and copper in marine algae from Thermaikos Gulf of the Northern Aegean Sea, Greece. *Marine Environmental Research*. v.19.p. 39-47.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (1994) *Bacia do rio Piracicaba: Estabelecimento de metas e reenquadramento dos corpos d'água*.81p.
- SILVÉRIO, P. F. (1999) *Partição, biodisponibilidade e toxicidade de metais pesados a organismos bentônicos em sedimentos*. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - Universidade Federal de São Carlos. 78p.
- STRAŠKRABA, M. (1996) Ecotechnological methods for managing non-point source pollution in the watersheds, lakes and reservoirs. In: *Water and Science Technology*. v. 33 (4-5).p. 73-80.
- STRAŠKRABA, M. (1996) Lake and reservoir management. In: *Verh. Internat. Verein. Limnol.* v.26. p.193-209.
- TEIXEIRA, C., TUNDISI, J.G., KUTNER, M.B. (1965) Plankton studies in a mangrove environmental. II: The standing-stock and some ecological factors. *Bol. Inst. Oceanogr.*, v.24, p.23-41.
- THOMAS, R.L. (1987) A protocol for the selection of process-oriented remedial options to control in situ sediment contaminants . *Hydrobiologia*. v149. p.247-258
- TIMMERMANS, K.R. (1993) Accumulation and effects of trace metals in freshwater invertebrates .In: *Ecotoxicology of metals in invertebrates*. Eds. DALLINGER, R. ; RAINBOW, P.S. Lewis Publishers. p.133-148.
- TKALIN, A. V. ; PRESLEY, B. J. ; P. N. BOOTHE (1996) Spatial and temporal variations of trace metals in bottom sediments of Peter the Great Bay, The sea of Japan. *Environmental Polluitor*. v.92. p.73-78.
- TONISSI, F. B. (1999) *Avaliação ecotoxicológica do Reservatório de Salto Grande, Americana (SP), como subsídio para a análise da qualidade ambiental do*

- sistema*. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J. G. (1969) *Produção primária, “standing-stock” e fracionamento de fitoplâncton na região Lagunar de Cananéia*. São Paulo. 131p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- TUREKIAN, K.K.; WEDEPOHL, K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.* v.72. p.175-192
- WHITAKER, V.A. (1993) *A área alagada da represa do Lobo (Itirapina-SP) – Os processos ecológicos associados ao potencial de desnitrificação dos sedimentos*. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 137p.
- WETZEL, R.G. (1983) *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbekian. Lisboa. 912p.
- WETZEL, R.G. ; LIKENS, G.E. (1991) *Limnological analysis*. 2 ed. New York, Springer Verlag. 391p.
- YU, K T.; LAM, M.H.; YEN, Y.; LEUNG, A. P.K. (2000) Behavior of trace metals in the sediment pore waters of intertidal mudflats of a tropical wetland. In: *Environmental Toxicology and Chemistry*. SETAC-PRESS. V.19. p.535-542.
- ZANATA, L.H. (1999) *Heterogeneidade ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana - SP) com ênfase na distribuição das populações de cladocera*. São Carlos. 218p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- ZANATA, L.H.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (2002) Longitudinal process in Salto Grande Reservoir (Americana, SP, Brazil) and its influence in the formation of compartment system. In: *Brazilian Journal of Biology*. v.62(2). p.347-361.

ANEXOS

Concentrações de Nitrogênio Orgânico Total e Fósforo Total na água e câmaras de sedimentação.
N (mg.L^{-1}) e P ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

	fev/00		mai/00		ago/00		nov/00	
	N	P	N	P	N	P	N	P
1S	8,49	111,56	1,87	112,95	1,86	127,72	9,11	168,76
1F	7,61	129,09	0,56	151,4	3,29	120,27	8,61	215,84
2S	7,37	230,48	1,40	264,23	4,28	157,15	10,2	199,64
2F	7,37	245,87	1,35	337,72	2,37	116,68	10,33	182,23
3S	5,46	88,62	1,63	104,55	1,27	108,82	7,59	126,92
3F	6,30	92,45	2,33	98,23	1,31	79,39	6,55	117,4
4S	5,65	122,45	1,91	196,14	1,45	95,7	6,39	119,3
4F	7,42	174,87	1,63	267,23	1,15	66,75	5,97	107,07
1 30%	7,61	86,9	2,47	64,05	8,6	353,98	11,3	387,48
1 70%	9,15	77,73	2,99	52,65	6,41	378,76	11,45	422,97
2 30%	6,95	116,63	1,87	120,3	10,85	213,53	9,91	349,15
2 70%	5,88	152,53	2,57	140,6	2,78	243,94	11,86	545,53
3 30%	4,81	72,06	1,68	46,93	4,12	142,68	7,32	188,66
3 70%	6,77	89,22	1,63	54,08	2,4	165,4	8,07	332,03
4 30%	10,87	107,46	-	-	2,45	142,2	9,85	200,06
4 70%	4,34	115,77	1,54	124,1	2,06	183,86	10,54	222,49

Concentrações de Fosfato Total Dissolvido e Fósforo Inorgânico na água e câmaras de sedimentação. ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

	fev/00		mai/00		ago/00		nov/00	
	PTD	P inorg.	PTD	P inorg.	PTD	P inorg.	PTD	P inorg.
1S	65,89	39,97	23,05	8,06	37,76	14,14	117,92	83,89
1F	79,67	47,01	29,89	14,87	48,71	25,15	133,78	104,96
2S	61,07	37,5	15,46	6,47	42,54	16,54	81,77	47,33
2F	62,54	37,77	17,85	4,08	57,62	34,28	105,07	73,77
3S	40,45	20,66	14,2	3,23	26,89	6,28	42,17	12,23
3F	42,52	41,41	12,94	3,07	23,5	4,5	49,51	21,22
4S	33,12	18,14	13,3	3,3	24,7	5,82	33,67	5,94
4F	29,95	17,15	13,23	3,31	24,85	7,97	35,5	5,28
1 30%	56,8	33,47	79,34	48,09	103,35	65,85	137,13	102,35
1 70%	58,83	33,83	26,09	9,15	104,03	65,77	158,87	121,33
2 30%	51,48	29,17	15,61	4,42	59,65	34,65	112,25	75,75
2 70%	54,79	30,63	19,57	5,44	66,3	38,42	173,72	137,96
3 30%	43,04	19,32	75,3	49,12	34,91	11,24	56,84	26,73
3 70%	45,06	21,37	42,23	18,2	45,54	16,7	67,77	33,42
4 30%	38,47	20,12	-	-	39,42	13,04	40	7,1
4 70%	30,77	14,45	20,8	8,15	36,43	10,51	53,52	15,06

Concentrações de Nitrito, nitrato e amônio na água e câmaras de sedimentação ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

	fev/00		
	NO ₃	NH ₄	NO ₂
1S	655,34	61,03	168,47
1F	654,58	60,11	171,64
2S	602,74	61,59	146,12
2F	550,45	71,58	124,29
3S	521,48	35,46	106,28
3F	584,69	38,73	111,11
4S	535,97	23,3	91,55
4F	563,28	24,99	96,13
1 30%	612,29	52,3	201,75
1 70%	624,28	51,74	207,73
2 30%	612,87	53,27	179,77
2 70%	583,98	55,99	209,82
3 30%	526,05	33,62	135,08
3 70%	558,39	36,47	156,26
4 30%	498,67	24,91	110,35
4 70%	518,76	18,42	128,84

	mai/00		
	NO ₃	NH ₄	NO ₂
1S	1240,8	216,38	42,77
1F	1255,2	241,46	54,75
2S	1298,3	186,02	28,22
2F	1257,7	180,62	36,66
3S	1122,3	77,95	7,08
3F	1098,8	77,18	12,25
4S	1063,4	67,72	7,02
4F	1063,4	73,24	12,68
1 30%	1391,5	320,36	89,4
1 70%	1295,2	205,95	97,68
2 30%	1125,3	83,72	47,3
2 70%	1043,2	116,5	79,28
3 30%	1278,4	436,04	8,14
3 70%	1119,6	214,51	6,78
4 70%	1142,3	116,13	36,32

	ago/00		
	NO ₃	NH ₄	NO ₂
1S	1080,8	128,09	737,48
1F	1028	119,52	910,04
2S	1081,3	131,12	697,75
2F	1051,6	77,14	860,78
3S	998,66	73,65	155,25
3F	1057,6	80,74	226,18
4S	1013,9	81,28	188,84
4F	1011,6	100,66	278,98
1 30%	1031,5	159,04	1128,7
1 70%	966,6	150,65	1075
2 30%	1088,7	88,51	785,18
2 70%	1136,3	96,6	746,67
3 30%	1071,9	91,17	246,42
3 70%	1057,4	105,08	433,99
4 30%	926,32	88,71	215,53
4 70%	1001,5	105,52	211,06

	nov/00		
	NO ₃	NH ₄	NO ₂
1S	718,41	143,83	1342,4
1F	682,56	141,82	1448,2
2S	832	172,53	749,31
2F	799,73	168,25	1089,6
3S	670,16	148,26	288,77
3F	695,74	151,1	472,18
4S	646,01	137,67	226,25
4F	656,89	137,71	226,36
1 30%	891,48	224,3	1296,2
1 70%	785,72	224,31	1355,2
2 30%	868,76	240,62	1002,2
2 70%	518,96	146,07	1425,3
3 30%	735,3	197,32	425,75
3 70%	809,33	292,29	444,61
4 30%	644,73	159,19	252,51
4 70%	647,53	177,15	385,38

Concentrações de Silicato e ácido húmico na água e câmaras de sedimentação (mg.L⁻¹)

fev/00		
	SiO ₂	AcH
1S	5,86	4,92
1F	6,47	5,24
2S	7,92	4,96
2F	6,51	4,72
3S	7,12	3,88
3F	8,39	4,35
4S	9,05	4,01
4F	8,88	4,2
1 30%	7,3	4,2
1 70%	6,87	3,9
2 30%	8,09	4,34
2 70%	6,82	4,3
3 30%	7,49	4,04
3 70%	9,32	4,53
4 30%	7,18	4,61
4 70%	7,31	3,99

mai/00		
	SiO ₂	AcH
1S	5,04	2,56
1F	5,32	2,61
2S	5,24	2,31
2F	5,14	2,29
3S	5,17	2,07
3F	5,63	2,08
4S	6,08	1,99
4F	5,26	2,17
1 30%	6,27	2,72
1 70%	5,05	2,68
2 30%	5,64	2,28
2 70%	6,99	2,42
3 30%	6,25	2,2
3 70%	6,19	2,14
4 70%	5,95	2,2

ago/00		
	SiO ₂	AcH.
1S	2,97	7,89
1F	3,36	2,71
2S	3,31	4,26
2F	3,51	4,97
3S	2,92	2,21
3F	2,69	2,82
4S	2,78	3,11
4F	3,02	2,77
1 30%	3,6	4,82
1 70%	3,83	4,56
2 30%	3,5	2,97
2 70%	3,61	4,22
3 30%	3,09	4,01
3 70%	3,33	4,26
4 30%	3,01	2,7
4 70%	2,78	4,23

nov/00		
	SiO ₂	
1S	5,43	
1F	5,31	
2S	5,7	
2F	5,27	
3S	4,85	
3F	4,75	
4S	5,09	
4F	4,74	
1 30%	4,81	
1 70%	4,72	
2 30%	5,3	
2 70%	4,63	
3 30%	4,66	
3 70%	4,31	
4 30%	4,43	
4 70%	4,28	

Valores de pH iniciais e finais nos meses de Fevereiro e Maio de 2000

fev/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	6,47	6,18	6,2	6,26	6,1	6,06	6,17	6,67
0,5	6,4	6,12	6,15	6,19	6,05	6,06	6,16	6,7
1	6,34	6,09	6,12	6,19	6,04	6,08	6,13	6,68
1,5	6,29	6,08	6,09	6,18	6,02	6,05	6,12	6,65
2	6,27	6,05	6,09	6,16	6	6,05	6,08	6,55
2,5	6,25	6,03	6,08	6,13	5,96	6,03	6,06	6,45
3	6,18	6,01	6,05	6,11	5,95	6	6,05	6,38
3,5	6,16	5,99	6,03	6,08	5,94	6	6,03	6,32
4	6,11	5,96	6	6,08	5,93	5,97	6,01	6,22
4,5	6,07	5,94	6,01	6,04	5,91	5,95	6,01	6,14
5	6,03	5,93	5,99	6,04	5,89	5,93	5,99	6,11
5,5	6,03	5,9	5,99	6,02	5,87	5,97	5,96	6,1
6		5,89	5,98	6,01		5,91	5,95	6,08
7		5,89	5,96	5,97		5,89	5,93	6,04
8		5,84	5,92	5,94		5,87	5,89	6
9		5,82	5,91	5,93		5,83	5,86	5,99
10		5,82		5,91		5,79		5,96

mai/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	6,93	7,06	6,51	6,35	6,72	8,24	6,99	6,96
0,5	6,96	7,04	6,68	6,58	6,82	7,93	6,99	6,92
1	6,84	6,9	6,56	6,5	6,82	7,73	6,89	6,84
1,5	6,72	6,8	6,43	6,35	6,72	7,33	6,61	6,73
2	6,62	6,72	6,34	6,26	6,62	6,89	6,46	6,48
2,5	6,59	6,67	6,24	6,18	6,55	6,65	6,4	6,34
3	6,55	6,63	6,2	6,12	6,5	6,56	6,32	6,16
3,5	6,44	6,59	6,16	6,09	6,47	6,45	6,25	6,09
4	6,41	6,56	6,13	6,06	6,45	6,39	6,22	6,06
4,5	6,38	6,53	6,1	6,05	6,43	6,34	6,18	6,04
5	6,36	6,48	6,07	6,04	6,4	6,29	6,17	6,02
5,5	6,35	6,42	6,04	6,03	6,38	6,28	6,18	6,01
6	6,33	6,25	6,01	6,02	6,35	6,27	6,17	5,99
7		6,12	5,96	6		6,27	6,16	5,98
8		6,06	5,94	5,98		6,27	6,14	5,97
9		6,07	5,93	5,97		6,27	6,1	5,97
10		6,06	5,96	5,95		6,15	6,03	5,97

Valores de pH nos meses de Agosto e Novembro de 2000

ago/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	7,06	8,23	7,61	7,3	7,22	7,87	7,35	7,03
0,5	7,17	8,17	7,51	7,1	7,27	7,58	7,3	7,01
1	7,2	8,01	7,45	7,02	7,08	7,31	7,19	7
1,5	7,27	7,51	7,27	6,96	7,05	7,23	7,08	6,95
2	7,17	7,29	7,04	6,91	7	7,15	7,06	6,9
2,5	7,1	7,15	6,97	6,92	6,95	7,12	7,02	6,9
3	7,02	7,1	6,94	6,92	6,94	7,15	7,03	6,85
3,5	6,95	7,05	6,98	6,86	6,92	7,21	7,03	6,81
4	6,91	6,9	6,88	6,83	6,82	7,15	7,03	6,81
4,5	6,89	6,86	6,87	6,84	6,75	7,07	7,01	6,81
5	6,89	6,83	6,87	6,8	6,74	7,01	6,99	6,81
6	6,88	6,82	6,86	6,76	6,73	6,91	6,96	6,81
7		6,79	6,86	6,72	6,72	6,83	6,91	6,81
8		6,78	6,82	6,71		6,74	6,84	6,81
9		6,73	6,74	6,69		6,71	6,81	6,81
10		6,72		6,69		6,68	6,78	6,8
11		6,71		6,69		6,66		

nov/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	7,32	8,37	8,45	8,26	7,28	9,15	8,56	9,42
0,5	7,29	8,45	8,39	8,19	7,31	9,25	8,53	8,98
1	7,36	8,43	8,34	7,92	7,39	8,39	8,19	8,4
1,5	7,31	8,26	7,97	7,69	7,36	7,95	7,92	8,05
2	7,17	8,09	7,77	7,72	7,27	7,86	7,77	7,86
2,5	7,08	8,08	7,67	7,67	7,24	7,69	7,72	7,71
3	7,1	7,89	7,62	7,67	7,21	7,52	7,67	7,7
3,5	7,08	7,45	7,56	7,61	7,17	7,43	7,61	7,67
4	7,04	7,35	7,5	7,55	7,14	7,36	7,66	7,69
4,5	7,09	7,32	7,44	7,55	7,09	7,33	7,55	7,66
5	7,04	7,3	7,41	7,54	7,06	7,31	7,51	7,68
5,5	7,02	7,29	7,41	7,64	7,01	7,3	7,54	7,77
6		7,27	7,4	7,57		7,3	7,52	7,71
7		7,26	7,16	7,56		7,18	7,47	7,59
8		7,22		7,61		7,07		7,45
9		7,05		7,52		7,03		7,37
10		6,91		7,46		6,97		7,27

Valores de condutividade iniciais e finais ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) nos meses de Fevereiro e Maio de 2000								
	fev/00							
	Início				Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	113	120	116	110	114	119	116	112
0,5	113	120	116	111	114	119	116	112
1	114	119	116	111	114	119	116	112
1,5	114	120	116	111	114	119	116	112
2	114	120	116	111	114	119	116	112
2,5	114	120	116	113	114	119	116	112
3	113	120	116	113	114	119	116	112
3,5	113	120	116	113	114	119	116	112
4	113	121	116	113	113	119	117	113
4,5	113	121	116	113	114	119	117	114
5	113	121	117	113	114	119	117	114
5,5	113	120	117	113	114	119	117	114
6		120	117	113		119	118	114
7		120	117	113		120	118	114
8		121	117	113		119	118	114
9		121	118	113		119		114
10		118		114		118		114

	mai/00							
	Início				Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	45	41	34	32	46	42	36	34
0,5	46	42	35	31	46	42	36	35
1	47	42	35	32	46	42	36	35
1,5	48	41	35	32	46	41	35	35
2	48	41	35	32	47	43	35	35
2,5	48	41	34	32	46	43	35	35
3	49	41	34	32	46	43	35	35
3,5	55	41	33	32	46	43	35	35
4	56	41	33	32	46	42	35	35
4,5	55	41	33	32	46	42	35	35
5	54	41	33	32	46	43	35	35
5,5	53	43	33	32	46	43	35	35
6	53	43	34	32	47	44	35	35
7		43	35	33		45	35	35
8		43	35	33		45	35	35
9		45	36	33		45	35	35
10		44	39	40		58	34	35

Valores de condutividade iniciais e finais ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) nos meses de Agosto e Novembro de 2000

ago/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	380	381	369	368	437	377	370	369
0,5	379	381	369	368	419	377	370	369
1	380	380	369	368	392	377	370	369
1,5	380	381	368	368	389	377	370	370
2	381	381	368	368	389	378	370	370
2,5	381	380	369	368	388	378	370	370
3	383	380	369	369	388	378	370	370
3,5	384	376	369	369	385	378	371	370
4	381	378	370	369	384	379	371	370
4,5	381	379	371	369	384	379	371	370
5	381	379	371	369	384	380	371	370
6	383	379	371	370	384	383	372	371
7	384	378	371	370	384	382	372	371
8		379	370	370		379	373	372
9		379	373	370		378	373	372
10		380		370		380	387	372
11		382		371		382		

nov/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	389	394	376	356	544	325	367	362
0,5	389	392	366	357	472	395	364	358
1	389	394	366	358	424	397	365	359
1,5	387	394	374	358	398	397	366	360
2	389	394	374	358	396	397	370	361
2,5	388	395	373	358	397	396	371	361
3	389	396	373	360	405	397	372	362
3,5	389	394	372	360	400	396	373	362
4	389	394	370	361	394	398	374	362
4,5	387	394	369	362	392	399	375	363
5	388	394	370	363	392	401	376	362
5,5	388	395	374	363	390	401	378	361
6		395	375	363		400	378	359
7		395	376	363		391	375	360
8		388		363		382		362
9		359		363		364		364
10		343		366		358		361

Valores de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) iniciais finais nos meses de Maio e Agosto de 2000

mai/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	4,7	7,1	5,2	4,5	3	8,1	5,8	3,1
0,5	4,6	6,1	4,86	4,3	2,7	7,3	5,7	2,9
1	4,2	5,3	4,3	3,9	2,6	6,7	4,9	2,7
1,5	3,2	5,2	4,2	3,7	2,6	5,3	3,4	2,6
2	2,9	5,1	3,8	3,4	2,5	3,6	3	2,4
2,5	2,9	5	3,3	3	2,5	3,1	2,9	2,2
3	2,8	4,9	3,1	2,8	2,4	2,9	2,9	1,8
3,5	0,6	4,9	3	2,6	2,4	2,9	2,9	1,5
4	0,3	4,8	2,9	2,5	2,3	2,8	2,9	1,4
4,5	0,5	4,6	2,9	2,5	2,3	2,6	2,8	1,3
5	0,6	4,5	2,6	2,5	2,3	2,5	3	1,3
5,5	0,7	3,2	2,4	2,6	2,2	2,4	3,3	1,2
6	0,8	2,1	2,2	2,6	2	2,3	3,3	1,1
7		0,5	1,1	2,5		2,3	3,3	1,1
8		0,3	0,9	2,3		2,4	3,1	1,1
9		0,3	0,8	2,3		2,5	2,3	1,2
10		0,2	0,4	0,6		1,6	2	1,9

ago/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	7,15	11,34	9,73	7	2,5	7,46	8,29	5,68
0,5	7,52	11,07	9,67	6,65	2,48	7,4	7,86	5,85
1	7,32	9,47	9,15	6,33	2,49	7,33	7,11	5,5
1,5	6,88	7,87	7,43	6,11	2,45	6,99	6,71	5,56
2	5,93	6,92	6,43	5,96	2,41	7,01	6,24	5,05
2,5	4,97	6,39	6,1	5,61	2,38	6,8	6,22	4,33
3	3,73	6,48	5,77	5,4	2,35	6,77	5,9	4,32
3,5	2,69	4,91	5,65	5,05	2,04	6,77	5,84	4,26
4	2,36	3,4	5,8	4,73	1,54	6,48	5,76	4,23
4,5	2,24	3,21	5,71	4,71	1,41	6,32	5,81	4,02
5	2,22	3,07	5,44	4,55	1,39	5,68	5,79	3,85
6	1,75	2,81	5,46	4,12	1,16	3,22	5,01	3,76
7	1,59	2,53	5,46	3,89	1,09	2,61	4,62	3,71
8	1,02	2,31	3,84	3,48		1,67	3,28	3,51
9		1,38	2,35	3,02		1,09	3,14	3,42
10		1,07		2,91		0,45	1,98	3,03
11		0,8		2,82		0,11		

Valores de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) iniciais finais no mês de Novembro de 2000

	ago/00				Final			
	Início							
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	3,38	8,8	8,69	8,03	2,57	11,45	9,15	13,59
0,5	4,21	8,69	8,45	7,78	4,06	10,89	8,27	9,25
1	4,07	8,66	7,59	6,5	4,21	7,7	7,32	7,69
1,5	2,68	8,13	7,1	5,99	3,82	6,54	6,87	6,97
2	2,07	7,99	6,83	5,94	3,7	6,38	6,31	6,31
2,5	1,57	7,68	6,21	5,77	2,98	5,33	6,1	6,28
3	1,54	6,57	5,98	5,75	2,55	4,76	5,92	6,14
3,5	1,35	4,41	5,73	5,53	5,44	4,25	5,91	6,25
4	1,12	4,04	5,44	5,31	1,18	3,87	5,98	5,61
4,5	0,83	4,07	5,05	5,3	0,53	3,65	6,05	5,83
5	0,87	3,91	5,09	5,35	0,08	3,86	5,91	5,82
5,5	0,7	3,83	5,2	5,8	0,02	3,87	5,99	5,46
6		3,75	4,99	5,82		3,25	6,02	5,22
7		3,61	4,69	5,99		0,79	5,01	4,66
8		3,6		5,85		0,08		4,16
9		2,45		5,53		0,02		3,18
10		0,01		4,95		0,01		1,07

Visibilidade do disco de Secchi (m)

fev/00	P1 ini.	P1 final	P2 ini.	P2 final	P3 ini.	P3 final	P4 ini.	P4 final
	0,40	0,45	0,75	0,85	0,85	0,90	0,95	0,80

mai/00	P1 ini.	P1 final	P4 ini.
	0,65	0,8	0,8

ago/00	P1 ini.	P1 final	P2 ini.	P2 final	P3 ini.	P3 final	P4 ini.	P4 final
	1,20	0,65	0,80	0,65	0,90	0,70	1,10	1,15

nov/00	P1 ini.	P1 final	P2 ini.	P2 final	P3 ini.	P3 final	P4 ini.	P4 final
	1,28	0,58	0,85	0,25	1,00	0,85	1,08	0,45

Valores de temperatura da água (°C) iniciais e finais nos meses de Fevereiro e Maio de 2000

fev/00								
Início		Final						
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	25,9	26,2	26,3	26,5	25,8	26,4	26,5	27,3
0,5	25,7	26,2	26,3	26,5	25,6	26,4	26,4	27,1
1	25,4	26	26,2	26,4	25,5	26,3	26,4	27
1,5	25,4	25,8	26,1	26,4	25,5	26,2	26,1	26,7
2	25,4	25,7	26,1	26,4	25,4	26,1	26	26,6
2,5	25,3	25,7	26	26,2	25,3	25,9	26	26,5
3	25,3	25,7	26	26,2	25,3	25,8	26	26,5
3,5	25,3	25,2	26	26,2	25,3	25,8	25,9	26,5
4	25,3	25,7	26	26,1	25,3	25,8	25,9	26,2
4,5	25,3	25,6	26	26,1	25,3	25,7	25,9	26,2
5	25,3	25,6	26	26,1	25,3	25,7	25,9	26,1
5,5	25,3	25,6	26	26,1	25,3	25,6	25,9	26,1
6		25,6	25,9	26,1		25,6	25,6	26,1
7		25,5	26	26,1		25,6	25,9	26,1
8		25,5	25,9	26		25,6	25,8	26,1
9		25,5	25,9	26		25,5	25,8	26,1
10		25,4		26		25,5		26

mai/00								
Início		Final						
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	24,4	25	25,6	25,8	23,4	24,7	24,4	24,9
0,5	24,2	24,8	24,7	25	23,4	24,5	24,4	24,8
1	24,1	24,6	24,5	24,5	23,4	24,4	24,3	24,7
1,5	24	24,3	24,3	24,3	23,4	24,4	24	24,5
2	24	24,1	24,2	24,2	23,3	24,4	24	24,2
2,5	24	24,1	24,2	24,1	23,3	24,3	23,9	24,1
3	24	24	24,2	24,1	23,2	24,3	23,9	24
3,5	23,9	24	24,2	24,1	23,1	24,3	23,9	23,9
4	23,8	24	24,2	24	23,1	24,3	23,9	23,9
4,5	23,8	24	24,1	24	23	24,3	23,8	23,9
5	23,7	23,9	24,1	24	22,9	24,3	23,8	23,9
5,5	23,7	23,9	24,1	24	22,9	24,3	23,8	23,9
6	23,6	23,9	24,1	24	22,8	24,3	23,8	23,9
7		23,9	24	24		24,2	23,8	23,9
8		23,9	24	24		24,1	23,8	23,9
9		23,9	24	23,9		24	23,7	23,8
10		23,9	24	23,9		24	23,7	23,8
11				23,9				23,8

Valores de temperatura da água (°C) iniciais e finais nos meses de Agosto e Novembro 2000

ago/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	19,7	20,3	19,9	20	21,2	20,1	19,5	19,2
0,5	19,5	20,3	19,9	19,7	20,1	19,5	19,3	19,2
1	19,4	19,8	19,8	19,5	19,3	19,4	19,2	19,2
1,5	19,2	19,6	19,4	19,4	19,3	19,3	19,1	19,2
2	19	19,4	19,2	19,3	19,1	19,3	19,1	19,1
2,5	19	19,2	19,1	19,2	19,1	19,2	19,1	19,1
3	18,8	19,2	19,1	19,1	19,1	19,2	19,1	19,1
3,5	18,6	18,8	19,1	19,1	18,7	19,2	19,1	19
4	18,5	18,6	19	19,1	18,6	19,2	19,1	19
4,5	18,5	18,6	19	19	18,5	19,2	19,1	19
5	18,5	18,6	19	19	18,5	19,1	19,1	19
6	18,4	18,5	18,9	18,9	18,4	18,8	18,8	18,8
7	18,4	18,4	18,9	18,9	18,4	18,6	18,7	18,8
8	18,3	18,4	18,4	18,9		18,3	18,4	18,7
9		18,1	18,3	18,6		18,1	18,4	18,6
10		18,1		18,4		18	18,2	18,6
11		18		18,4		18		

nov/00								
Início					Final			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0	26,3	27,1	26	26,3	27,6	26,8	26,3	28,7
0,5	25,7	27,1	26	26	25,8	26,6	25,7	27
1	25,1	26,3	25,7	25,8	25	25,5	25,5	26,3
1,5	24,7	25,8	25,5	25,7	24,8	25,4	25,5	26,2
2	24,6	25,8	25,4	25,7	24,8	24,5	25,4	26,1
2,5	24,5	25,7	25,4	25,6	24,7	25,3	25,4	26
3	24,4	25,2	25,3	25,6	24,7	25,2	25,4	26
3,5	24,4	25,1	25,3	25,6	24,6	25,1	25,4	26
4	24,3	25	25,3	25,6	24,5	25	25,4	26
4,5	24,3	25	25,3	25,6	24,4	25	25,4	25
5	24,3	25	25,2	25,5	24,3	24,9	25,4	25
5,5	24,3	25	25,2	25,5	24,2	24,9	25,4	25
6		25	25,2	25,5		24,8	25,4	25,7
7		24,9	25,1	25,5		24,5	25,3	25
8		24,9		25,5		24,3		25,5
9		24,4		25,4		23,7		25,3
10		23,6		25,3		23,2		25

Vazão, tempo de residência e Precipitação

Modificado de DORNFELD (2002)

	Prec. (mm)	Tr	Vazão Afluente ($m^3.s^{-1}$)	Vazão Defluente ($m^3.s^{-1}$)
fev/00	166,4	20	58,37	59,54
mai/00	3,2	179	7,44	6,85
ago/00	75,4	128	10,02	9,58
nov/00	315,2	46	26,11	26,19
fev/01	146,7	21	58,1	58,27

Material em Suspensão na água (mg.L⁻¹)

fev/00			
Estações			
	Total	Inorg.	Org.
1S	21,04	16,86	4,18
1F	21,35	16,75	4,60
2S	8,56	5,99	2,58
2F	11,43	8,39	3,04
3S	8,19	3,66	4,53
3F	7,11	3,65	3,46
4S	9,40	2,76	6,64
4F	7,01	3,54	3,47
1 30%	100,35	82,63	17,73
1 70%	106,20	88,03	18,18
2 30%	42,48	34,70	7,77
2 70%	70,23	57,38	12,85
3 30%	45,70	34,23	11,48
3 70%	41,75	31,20	10,55
4 30%	25,56	18,35	7,21
4 70%	37,94	27,86	10,08

mai/00			
Estações			
	Total	Inorg.	Org.
1S	19,87	5,53	14,33
1F	16,10	6,02	10,08
2S	15,27	4,28	10,98
2F	11,15	2,75	8,40
3S	8,10	2,43	5,67
3F	6,07	2,05	4,02
4S	5,02	1,22	3,80
4F	5,02	1,52	3,50
1 30%	42,65	29,43	13,23
1 70%	66,25	46,13	20,13
2 30%	53,43	34,18	19,25
2 70%	60,73	36,33	24,40
3 30%	36,80	23,13	13,68
3 70%	57,23	37,43	19,80
4 70%	24,98	15,50	9,48

ago/00			
Estações			
	Total	Inorg.	Org.
1S	11,08	2,48	8,6
1F	8,13	2,18	5,95
2S	5,18	1,88	8,3
2F	2,23	1,58	3,91
3S	9,05	0,965	8,08
3F	6,79	1,18	5,61
4S	7,09	0,63	6,46
4F	4,03	0,55	3,48
1 30%	28,65	13,43	15,22
1 70%	28,57	12,73	15,84
2 30%	21,35	10,69	10,66
2 70%	23,15	11,78	11,37
3 30%	17,47	7,18	10,29
3 70%	15,6	7,2	8,4
4 30%	16,45	4,76	11,69
4 70%	40,02	26,44	13,58

nov/00			
Estações			
	Total	Inorg.	Org.
1S	8,34	1,83	6,51
1F	6,38	1,88	4,50
2S	17,88	1,81	16,06
2F	10,64	2,56	8,08
3S	14,10	1,69	12,41
3F	12,99	4,05	8,94
4S	12,16	1,41	10,75
4F	12,99	1,10	11,89
1 30%	28,13	14,10	14,03
1 70%	32,58	17,43	15,15
2 30%	32,95	15,80	17,15
2 70%	41,70	25,40	16,30
3 30%	22,78	7,25	15,53
3 70%	82,90	54,85	28,05
4 30%	26,13	5,95	20,18
4 70%	27,08	8,30	18,78

Valores de taxa de sedimentação do material em suspensão (mg.cm⁻².dia⁻¹)

	Fev.	Mai.	Ago.	Nov.
1 30%	5,01	2,13	1,43	1,41
1 70%	5,31	3,31	1,43	1,63
2 30%	2,12	2,67	1,07	1,65
2 70%	3,51	3,03	1,16	2,08
3 30%	2,28	1,84	0,87	1,14
3 70%	2,09	2,86	0,78	4,14
4 30%	1,28		0,82	1,31
4 70%	1,90	1,25	2,00	1,35

Valores iniciais e nas câmaras de sedimentação de metais na água (mg.L⁻¹)

	Fe				Zn			
	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00
1S	0,006	0,389	0,296	0,39881	0,0066	0,068	0,03	0,01185
1F	0,5564	0,699	0,44488	0,63536	0,0072	0,04	0,01822	0,00626
2S	0,327	0,245	0,303	1,63713	0,00585	0,021	0,02	0,01081
2F	0,3535	0,302	0,264	1,83113	0,00475	0,027	0,019	0,01302
3S	0,2115	0,252	0,143	0,95493	0,0067	0,039	0,015	0,01226
3F	0,2	0,262	0,2	0,29834	0,00565	0,027	0,018	0,00451
4S	0,163	0,176	0,163	1,36084	0,00525	0,038	0,021	0,00683
4F	0,1905	0,288	0,143	2,31543	0,00525	0,032	0,022	0,00913
1 30%	0,0035	2,634	0,545	0,66716	0,0088	0,03	0,0142	0,00709
1 70%	1,5375	2,28	0,923	0,39633	0,01005	0,019	0,021	0,005
2 30%	0,825	1,479	0,798	0,82991	0,00795	0,055	0,02	0,00373
2 70%	1,277	2,58	0,54	2,90229	0,00825	0,032	0,012	0,01326
3 30%	0,5995	1,38	0,59	0,57761	0,0063	0,076	0,017	0,01546
3 70%	0,6845	2,824	0,467	0,40069	0,0078	0,042	0,013	0,0099
4 30%	0,0355		0,511	0,57387	0,006		0,021	0,00115
4 70%	0,2955	1,103	1,917	0,84476	0,00575	0,06	0,022	0,00427

	Mn				Cr			
	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00
1S	0,0205	0,028	0,04	0,142	0,00126	0,00872	0,03821	0,00241
1F	0,0215	0,07	0,03802	0,171	0,00442	0,01548	0,01042	0,00368
2S	0,022	0,031	0,041	0,609	0,0014	0,02868	0,03363	0,00679
2F	0,0455	0,058	0,063	0,840	0,0052	0,02451	0,05123	0,01025
3S	0,0105	0,037	0,023	0,088	0,0014	0,03055	0,02523	0,00996
3F	0,0115	0,051	0,033	0,107	0,0068	0,03694	0,04359	0,011
4S	0,006	0,051	0,034	0,444	0,0102	0,02631	0,04576	0,00451
4F	0,007	0,075	0,041	0,947	0,0102	0,0191	0,04172	0,00905
1 30%	0,0815	0,271	0,078	0,045	0,0088	0,03448	0,04709	0,00935
1 70%	0,0835	0,233	0,162	0,054	0,0013	0,01998	0,03933	0,00377
2 30%	0,1085	0,283	0,208	0,135	0,0107	0,03549	0,0397	0,01209
2 70%	0,1715	0,496	0,19	0,497	0,0177	0,0435	0,02134	0,00997
3 30%	0,0675	0,199	0,113	0,040	0,0222	0,03551	0,04654	0,00736
3 70%	0,0865	0,388	0,131	0,038	0,0132	0,03452	0,03263	0,01664
4 30%	0,0425		0,098	0,066	0,0102		0,0303	0,00623
4 70%	0,0405	0,434	0,212	0,145	0,0199	0,0338	0,0375	0,00913

	Cd				Cu			
	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00
1S	0,00175	0,0031	0,0057	0,00192	0,0021	0,0207	0,02087	0,00368
1F	0,0065	0,0035	0,002	0,00225	0,00863	0,0227	0,0155	0,00425
2S	0,0091	0,00428	0,0048	0,00256	0,0075	0,01617	0,01968	0,00299
2F	0,0022	0,00379	0,00597	0,00206	0,0152	0,02297	0,0184	0,00655
3S	0,00278	0,00377	0,00496	0,00185	0,0098	0,02195	0,01479	0,00359
3F	0,00242	0,00553	0,00486	0,00175	0,0089	0,02004	0,01891	0,00551
4S	0,01865	0,00478	0,00544	0,00194	0,01	0,02288	0,02045	0,01015
4F	0,0023	0,00419	0,00628	0,00227	0,0112	0,02113	0,0172	0,00319
1 30%	0,0023	0,0038	0,00423	0,00154	0,0088	0,02725	0,01391	0,00792
1 70%	0,0029	0,00299	0,00467	0,00219	0,0084	0,00932	0,02091	0,0066
2 30%	0,0028	0,00543	0,00468	0,0015	0,0086	0,06425	0,0199	0,00649
2 70%	0,0029	0,00559	0,00534	0,0022	0,009	0,03201	0,01346	0,00848
3 30%	0,0031	0,00598	0,00539	0,00177	0,0085	0,10954	0,01745	0,00765
3 70%	0,0026	0,00468	0,00495	0,00202	0,0089	0,05009	0,01545	0,00834
4 30%	0,0034		0,00445	0,00199	0,0068		0,01808	0,0037
4 70%	0,0031	0,0056	0,00538	0,0021	0,0072	0,0806	0,0223	0,00662

Taxa de Sedimentação dos metais nas câmaras após 24 horas ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)

	Fe				Zn			
	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00
1 30%	1,749	1316,329	272,361	333,410	4,398	14,992	10,994	3,543
1 70%	768,358	1139,419	461,265	198,064	5,022	9,495	7,096	2,499
2 30%	412,290	739,123	398,797	414,744	3,973	27,486	10,495	1,864
2 70%	638,175	1289,343	269,862	1450,406	4,123	15,992	9,995	6,627
3 30%	299,597	689,648	294,850	288,658	3,148	37,981	5,997	7,726
3 70%	342,076	1411,281	233,381	200,243	3,898	20,989	8,496	4,947
4 30%	17,741		255,370	286,789	2,998		6,497	0,575
4 70%	147,675	551,219	958,012	422,165	2,874	29,985	10,495	2,134

	Mn				Cr			
	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00
1 30%	40,729	135,431	16,492	22,394	4,398	17,231	23,533	4,673
1 70%	41,729	116,441	16,991	26,736	0,650	9,985	19,655	1,884
2 30%	54,222	141,428	20,490	67,321	5,347	17,736	19,840	6,042
2 70%	85,706	247,874	38,980	248,598	8,845	21,739	10,665	4,982
3 30%	33,733	99,449	80,959	19,835	11,094	17,746	23,258	3,678
3 70%	43,228	193,901	103,947	19,210	6,597	17,251	16,307	8,316
4 30%	21,239		94,952	32,798	5,097		15,142	3,113
4 70%	20,240	216,889	56,471	72,368	9,945	16,891	18,740	4,563

	Cd				Cu			
	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00	fev/00	mai/00	ago/00	nov/00
1 30%	1,149	1,899	2,114	0,770	4,398	13,618	6,951	3,958
1 70%	1,449	1,494	2,334	1,094	4,198	4,658	10,450	3,298
2 30%	1,399	2,714	2,339	0,750	4,298	32,109	9,945	3,243
2 70%	1,449	2,794	2,669	1,099	4,498	15,997	6,727	4,238
3 30%	1,549	2,988	2,694	0,885	4,248	54,742	8,721	3,823
3 70%	1,299	2,339	2,474	1,009	4,448	25,032	7,721	4,168
4 30%	1,699		2,224	0,994	3,398		9,035	1,849
4 70%	1,549	2,799	2,689	1,049	3,598	40,279	11,144	3,308

Concentrações de metais nos organismos planctônicos (mg.L ⁻¹)								
	Fe				Mn			
	mai/00	ago/00	nov/00	fev/01	mai/00	ago/00	nov/00	fev/01
1S	0,389	0,296	0,39881	2,31	0,028	0,04	0,142	0,074
1F	0,699	0,44488	0,63536	5,22	0,07	0,03802	0,171	0,11
2S	0,245	0,303	1,63713	3,24	0,031	0,041	0,609	0,05
2F	0,302	0,264	1,83113	7,12	0,058	0,063	0,840	0,1
3S	0,252	0,143	0,95493	2,27	0,037	0,023	0,088	0,03
3F	0,262	0,2	0,29834	3,34	0,051	0,033	0,107	0,08
4S	0,176	0,163	1,36084	2,23	0,051	0,034	0,444	0,07
4F	0,288	0,143	2,31543	1,78	0,075	0,041	0,947	0,09

	Cd				Cr			
	mai/00	ago/00	nov/00	fev/01	mai/00	ago/00	nov/00	fev/01
1S	0,0031	0,0057	0,00192	0	0,00872	0,03821	0,00241	0,015
1F	0,0035	0,002	0,00225	0,0023	0,01548	0,01042	0,00368	0,008
2S	0,00428	0,0048	0,00256	0	0,02868	0,03363	0,00679	0,015
2F	0,00379	0,00597	0,00206	0,0024	0,02451	0,05123	0,01025	0,017
3S	0,00377	0,00496	0,00185	0	0,03055	0,02523	0,00996	0,014
3F	0,00553	0,00486	0,00175	0,0026	0,03694	0,04359	0,011	0,012
4S	0,00478	0,00544	0,00194	0	0,02631	0,04576	0,00451	0,014
4F	0,00419	0,00628	0,00227	0	0,0191	0,04172	0,00905	0,013

	Zn				Cu			
	mai/00	ago/00	nov/00	fev/01	mai/00	ago/00	nov/00	fev/01
1S	0,068	0,03	0,01185	0,027	0,0207	0,02087	0,00368	0,0047
1F	0,04	0,01822	0,00626	0,026	0,0227	0,0155	0,00425	0,008
2S	0,021	0,02	0,01081	0,019	0,01617	0,01968	0,00299	0,0069
2F	0,027	0,019	0,01302	0,025	0,02297	0,0184	0,00655	0,011
3S	0,039	0,015	0,01226	0,013	0,02195	0,01479	0,00359	0,0064
3F	0,027	0,018	0,00451	0,014	0,02004	0,01891	0,00551	0,0063
4S	0,038	0,021	0,00683	0,022	0,02288	0,02045	0,01015	0,0067
4F	0,032	0,022	0,00913	0,01	0,02113	0,0172	0,00319	0,0056

Concentrações de metais na água intersticial em maio de 2000.								
Fe (mg.L ⁻¹)					Mn (mg.L ⁻¹)			
Prof. (cm)	E 1	E 2	E 3	E 4	E 1	E 2	E 3	E 4
0	0,0051	1,825	7,3245	2,9455	0,1665	0,5781	0,2419	0,1728
5	0,5859	6,5594	0,4003	0,3046	0,3256	0,8336	0,0971	0,1497
10	0,013	0,168	1,0987	0,5485	0,01765	0,1854	0,2211	0,1452
15	1,5503	0,2604	1,4073	0,109	0,1985	0,601	0,1434	0,0455
20	5,2988	14,5	0,2604	0,037	0,4735	0,3982	0,0144	0,0105
25	0,82	0,1396	0,1808	0,0606	0,285	0,01276	0,046	0,025
30	0,0059	0,8864	0,8117	0,0253	0,0566	0,063	0,0102	0,0066
35	0,1147	0,4131	0,0822	0,053	0,1947	0,0686	0,2364	0,0954
40			0,4512					

Zn (mg.L ⁻¹)					Cr (µg.L ⁻¹)			
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 1	E 2	E 3	E 4
0	0,0108	0,0097	0,0029	0,0069	2,548	19,526	9,080	12,599
5	0,0011	0,0195	0,008	0,0017	3,574	3,187	1,419	2,926
10	0,0087	0,0049	0,002	0,0035	8,260	11,265	3,316	4,295
15	0,0076	0,0075	0,0016	0,0016	7,488	6,595	3,664	5,496
20	0,0061	0,0032	0,0032	0,00086	8,711	5,501	2,127	2,363
25	0	0,0025	0,0009	0,0155	4,702	9,102	3,518	9,127
30	0	0	0,0018	0,001631	9,514	3,810	4,707	0,990
35	0	0	0,0017	0,003029		3,612	9,054	3,492

Cd (µg.L ⁻¹)					Cu (µg.L ⁻¹)			
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 1	E 2	E 3	E 4
0	0,0244	0,012	0,0024	0,0042	0,3863	0,7743	0,7216	0,8536
5	0,0129	0,0076	0,002	0,0065	1,561	0,6123	0,3645	1,1429
10	0,017	0,0048	0,0163	0,0036	1,1643	0,7548	0,493	0,977
15	0,0086	0,003	0,0022	0,00032	1,3265	1,1731	0,5837	0,8514
20	0,0221	0,0046	0,0046	0,0034	1,5085	0,7683	1,6634	1,2448
25	0,0059	0,0556	0,001	0,0051	2,1374	1,6522	0,7174	0,8377
30	0,0111	0,0252	0,007	0,0063	0,7098	0,6753	0,8714	0,6639
35	0,0133	0,0062	0,0066	0	0	0,8205	0,8031	0,3533

Concentrações de metais na água intersticial em agosto de 2000.								
Fe (mg.L ⁻¹)				Mn (mg.L ⁻¹)				
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 1	E 2	E 3	E 4
0	0,1983	0,1227	0,1728	0,2158	0,1058	0,058	0,2434	0,068
5	0,1179	0,4841	0,2794	0,4603	0,1072	0,0636	0,0354	0,0353
10	0,8728	0,2648	0,1429	0,0196	0,5678	0,2123	0,124	0,062
15	0,1822	0,1675	0,3163	0,0457	0,0612	0,0602	0,122	0,0256
20	0,0586	0,62	0,16	0,049	0,0212	0,0809	0,2089	0,0079
25	0,0315	0,1006	1,0678	0,1588	0,0146	0,114	0,0901	0,0126
30	0,048	0,2111	1,6721	0,0117	0,0102	0,0345	0,0948	0,0081
35	0,056	0,1455	0,0358	0,1021	0,0093	0,0172	0,0145	0,0054
40	0,0157	0,0183	0,037	0,0294	0,007	0,0083	0,0054	0,027
45				0,0127				0,0045

Zn (mg.L ⁻¹)				Cd (µg.L ⁻¹)				
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 1	E 2	E 3	E 4
0	0,0024	0,00094	0,0081	0,0004	0,0675	0,0046	0,0036	0,0025
5	0,0041	0,00036	0,00035	0,00027	0,008	0,0211	0,0057	0,0023
10	0,0042	0,0099	0,0011	0,0005	0,0048	0,0057	0,0044	0,0032
15	0,00054	0,00061	0,0021	0,0023	0,0051	0,0024	0,0026	0,0023
20	0,0014	0,0004	0,0014	0,00061	0,0057	0,0031	0,0041	0,0028
25	0,0007	0,00032	0,0017	0,0004	0,0842	0,0053	0,0027	0,0011
30	0,00043	0,00052	0,00055	0,00045	0,0014	0,008	0,0036	0,0025
35	0,00043	0,0002	0,00059	0,0005	0,0032	0,0093	0,0019	0,0035
40	0,00058	0,0004	0,0003	0,0004	0,0098	0,0022	0,006	0,0034
45				0,0004				0,0014

Cr (µg.L ⁻¹)				
	E 1	E 2	E 3	E 4
0	12,3	6,3	9,3	8,6
5	12,4	5,9	13,4	5
10	12,2	9,5	6,7	7,4
15	10,7	3,9	18,5	11,5
20	7	8,7	8,2	30,1
25	13,2	6,4	7,9	15,8
30	32	7,7	5,7	8,5
35	6	25,1	14,9	22,5
40	12,3	7,8	4,5	16,8
45				15,2

Fósforo no sedimento ($\mu\text{g.g}^{-1}$)								
fev/00					mai/00			
Prof. (cm)	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0-5	683,57	741,02	630,06	619,36	628,25	572,85	628,49	662,69
5-10	599,02	702,22	567,16	554,56	627,25	616,70	644,84	572,14
10-15	624,92	858,22	510,56	563,06	667,20	534,30	609,84	598,84
15-20	710,22	778,02	498,11	532,16	603,65	572,15	561,09	632,99
20-25	635,77	695,07	541,21	531,51	535,80	465,45	566,29	551,69
25-30	648,52	695,02	565,61	521,91	442,40	498,15	615,99	546,99
30-35	757,02	578,52	530,01	499,81	456,70	336,51	555,19	512,64
35-40	675,37	518,92	469,84	481,48	409,23	414,44	520,74	493,88
40-45	551,57				460,85	461,20		481,19

ago/00					nov/00			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
	648,47	653,75	644,24	586,11	719,82	740,96	502,60	650,58
0-5	664,32	764,74	596,68	575,54	719,82	703,96	571,31	608,30
5-10	532,20	754,17	538,54	538,54	719,82	740,96	555,45	539,60
10-15	748,88	637,90	543,83	543,83	698,68	783,24	618,87	587,16
15-20	648,47	770,02	533,26	506,83	672,25	756,81	629,44	550,17
20-25	743,60	759,45	496,26	512,12	688,11	762,10	523,74	523,74
25-30	664,32	690,75	501,55	501,55	656,40	651,11	518,46	529,03
30-35	627,33	611,47	321,86	480,41	614,12	682,82	539,60	513,17
35-40	553,34	711,89		427,56	614,12	656,40	518,46	486,75
40-45				422,27				460,32

Nitrogênio orgânico total no sedimento (%)								
fev/00					mai/00			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0-5	0,210	0,233	0,000	0,015	0,003	0,061	0,129	0,158
5-10	0,015	0,217	0,075	0,093	0,061	0,065	0,129	0,102
10-15	0,212	0,276	0,072	0,074	0,067	0,054	0,011	0,151
15-20	0,230	0,208	0,058	0,038	0,056	0,003	0,101	0,133
20-25	0,190	0,237	0,128	0,098	0,058	0,042	0,105	0,094
25-30	0,210	0,250	0,077	0,004	0,062	0,001	0,124	0,099
30-35	0,211	0,034	0,057	0,070	0,060	0,049	0,060	0,094
35-40	0,201	0,182	0,050	0,000	0,060	0,057	0,097	0,107
40-45	0,166				0,053	0,056		0,053

ago/00					nov/00			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
0-5	0,001	0,102	0,178	0,176	0,143	0,128	0,153	0,198
5-10	0,112	0,126	0,153	0,197	0,124	0,124	0,152	0,213
10-15	0,123	0,124	0,146	0,166	0,120	0,130	0,155	0,192
15-20	0,140	0,105	0,147	0,124	0,112	0,014	0,143	0,169
20-25	0,114	0,133	0,007	0,131	0,093	0,125	0,153	0,159
25-30	0,123	0,143	0,110	0,208	0,091	0,146	0,109	0,207
30-35	0,014	0,119	0,171	0,161	0,095	0,125	0,115	0,066
35-40	0,093	0,112	0,000	0,141	0,079	0,101	0,171	0,149
40-45	0,020	0,114	0,052	0,133	0,082	0,099	0,123	0,125

Concentrações de metais totais (mg.kg ⁻¹) nos perfis de sedimento do Reservatório de Salto Grande																				
Mn		fev/00				mai/00				ago/00				nov/00						
Prof	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4				
0	528,0	758,0	421,0	449,0	590,0	682,0	390,0	485,0	452,0	823,0	500,0	420,0	525,0	804,6	465,0	503,0				
5	691,0	852,0	406,0	389,0	560,0	654,0	470,0	591,0	448,0	841,0	436,0	446,0	496,0	773,0	394,0	434,0				
10	577,0	776,0	352,0	376,0	543,0	642,0	419,0	476,0	518,0	878,0	388,0	438,0	514,0	862,0	378,0	394,0				
15	550,0	803,0	389,0	344,0	637,0	658,0	534,0	415,0	721,0	715,0	384,0	508,0	543,0	793,0	348,0	378,0				
20	382,5	800,0	421,0	325,0	584,0	666,0	467,0	380,0	602,2	1070,0	360,0	515,0	513,0	739,0	340,0	420,0				
25	681,0	764,0	312,0	344,0	641,0	583,0	372,0	365,0	545,0	936,0	354,0	394,0	521,0	840,0	320,0	452,0				
30	640,0	731,0	287,0	303,0	740,0	715,0	330,0	375,0	567,0	940,0	355,0	404,0	475,0	664,0	297,0	437,0				
35	625,0	767,0	445,0	358,0	650,0	625,0	482,0	358,0	642,0	858,0	345,0	365,0	447,0	691,0	317,0	353,0				
40	622,0				669,0	468,0		494,0	653,0	756,0	194,0	334,0	489,0	801,0	290,0	334,0				
Média	588,5	781,4	379,1	361,0	623,8	632,6	433,0	437,7	572,0	868,6	368,4	424,9	502,6	774,2	357,4	411,7				
Fe																				
Prof	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4				
0	59600,0	62050,0	58980,0	55990,0	56090,0	64140,0	60590,0	60290,0	48220,0	54770,0	50520,0	49960,0	47020,0	52570,0	47370,0	39870,0				
5	57050,0	59650,0	59580,0	57290,0	58190,0	61740,0	59340,0	57890,0	46070,0	63920,0	49220,0	52420,0	47220,0	48720,0	43220,0	46070,0				
10	56000,0	61000,0	67080,0	55140,0	63740,0	59240,0	63440,0	54690,0	60570,0	61370,0	49320,0	58220,0	49470,0	50370,0	51520,0	44370,0				
15	53450,0	63880,0	58230,0	60440,0	62890,0	68840,0	59040,0	58690,0	55970,0	57270,0	50620,0	246270,0	47870,0	47270,0	43970,0	44770,0				
20	52000,0	63030,0	60830,0	53290,0	75790,0	66940,0	63040,0	68290,0	56370,0	58820,0	49970,0	60720,0	48320,0	48420,0	47670,0	45420,0				
25	81550,0	69780,0	55630,0	57390,0	57490,0	64190,0	80890,0	49890,0	55970,0	55420,0	53370,0	50670,0	46520,0	66970,0	44520,0	47920,0				
30	64750,0	72430,0	65080,0	48940,0	56740,0	65590,0	57890,0	49190,0	55570,0	74320,0	48270,0	51020,0	48320,0	46920,0	39820,0	48870,0				
35	76400,0	57930,0	49430,0	54790,0	66590,0	56290,0	50190,0	44840,0	62420,0	54370,0	58170,0	44870,0	51670,0	51120,0	43920,0	46170,0				
40	65950,0				59640,0	57940,0		52390,0	50370,0	47520,0	15670,0	39970,0	44020,0	51420,0	41620,0	41520,0				
Média	62972,2	63718,8	59355,0	55408,8	61906,7	62767,8	61802,5	55128,9	54614,4	58642,2	47236,7	72680,0	47825,6	51531,1	45292,2	44997,8				
Zn																				
Prof	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4				
0	198,0	114,0	109,7	96,0	261,0	117,0	90,0	105,0	277,0	167,0	150,0	112,0	270,0	127,0	119,0	84,0				
5	170,0	116,0	115,0	109,0	238,0	118,0	107,0	90,0	308,0	182,0	142,0	111,0	248,0	110,0	103,0	76,0				
10	155,0	115,0	118,0	116,0	205,0	119,0	117,0	98,0	350,0	154,0	135,0	134,0	195,0	112,0	107,0	67,0				
15	166,0	118,0	120,0	108,0	159,0	116,0	109,0	84,0	237,0	135,0	137,0	138,0	156,0	106,0	100,0	63,0				
20	124,0	116,0	128,0	103,0	149,0	117,0	115,0	76,0	210,0	146,0	144,0	135,0	147,0	101,0	110,0	62,0				
25	144,0	125,0	116,0	113,0	152,0	141,0	119,0	106,0	184,0	147,0	151,0	138,0	143,0	118,0	108,0	55,0				
30	143,0	118,0	100,0	87,0	150,0	115,0	107,0	140,0	168,0	150,0	173,0	132,0	139,0	97,0	102,0	63,0				
35	139,0	113,0	97,0	100,0	142,0	116,0	83,0	125,0	177,0	144,0	156,0	109,0	136,0	99,0	119,0	43,0				
40	126,0				148,0	114,0		134,0	180,0	126,0	52,0	110,0	133,0	104,0	98,0	27,0				
Média	151,7	116,9	113,0	104,0	178,2	119,2	105,9	106,4	232,3	150,1	137,8	124,3	174,1	108,2	107,3	60,0				

Concentrações de metais totais (mg.kg ⁻¹) nos perfis de sedimento do Reservatório de Salto Grande																			
Cu		fev/00				mai/00				ago/00				nov/00					
Prof.		E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4		
0		68,0	58,4	103,5	90,0	86,0	64,0	102,7	285,0	61,0	53,0	62,0	73,1	79,0	55,0	67,0	86,0		
5		64,0	59,0	204,0	170,0	83,0	69,0	190,0	197,0	74,0	63,0	69,0	120,0	82,0	52,0	67,0	68,0		
10		64,0	64,0	264,0	255,0	74,0	72,0	278,0	250,0	80,0	58,0	94,0	246,0	70,0	55,0	97,0	94,0		
15		66,0	71,0	276,0	201,0	69,0	93,0	225,0	298,0	67,0	48,0	134,0	236,0	64,0	51,0	131,0	188,0		
20		58,0	93,0	316,0	249,0	65,0	15,4	245,0	260,0	65,0	53,0	234,0	193,0	66,0	48,0	235,0	234,0		
25		40,0	168,0	328,0	305,0	69,0	30,7	303,0	183,0	63,0	55,0	241,0	289,0	68,0	72,0	267,0	217,0		
30		65,0	190,0	262,0	213,0	72,0	21,4	293,0	133,0	63,0	52,0	352,0	293,0	63,0	64,0	215,0	280,0		
35		68,0	197,0	165,0	127,0	71,0	22,5	170,0	81,0	65,0	50,0	277,0	253,0	63,0	73,0	350,0	294,0		
40		60,0	0,0	0,0	0,0	68,0	26,0		26,0	64,0	52,0	40,0	186,0	82,0	108,0	243,0	246,0		
Média		61,4	100,0	213,2	178,9	73,0	46,0	225,8	190,3	66,9	53,8	167,0	209,9	70,8	64,2	185,8	189,7		
Cr																			
Prof.		E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4		
0		106,0	100,0	100,0	87,0	78,0	76,0	50,0	26,0	133,0	127,0	88,0	59,0	22,0	88,0	96,0	17,0		
5		107,0	102,0	115,0	94,0	98,0	34,0	49,0	36,0	150,0	98,0	75,0	66,0	15,0	103,0	80,0	42,0		
10		98,0	102,0	110,0	87,0	87,0	58,0	57,0	34,0	148,0	130,0	85,0	56,0	43,0	93,0	70,0	0,0		
15		103,0	117,0	121,0	88,0	66,0	70,0	45,0	21,0	144,0	105,0	87,0	47,0	15,0	92,0	84,0	0,0		
20		94,0	120,0	123,0	78,0	75,0	70,0	50,0	47,0	152,0	137,0	87,0	64,0	10,0	86,0	59,0	50,0		
25		103,0	113,0	125,0	79,0	69,0	77,0	39,0	14,0	122,0	124,0	79,0	58,0	27,0	115,0	36,0	50,0		
30		100,0	118,0	122,0	81,0	71,0	62,0	56,0	43,0	138,0	64,0	9,1	70,0	4,0	67,0	46,0	34,0		
35		111,0	117,0	86,0	80,0	64,0	57,0	27,0	12,0	130,0	97,0	39,0	25,0	4,0	77,0	33,0	26,0		
40		103,0				72,0	68,0		4,2	141,0	90,0	88,0	34,0	7,8	83,0	45,0	27,0		
Média		102,8	111,1	112,8	84,3	75,6	63,6	46,6	26,4	139,8	108,0	70,8	53,2	16,4	89,3	61,0	27,3		
Cd																			
Prof.		E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4		
0		1,2	0,3	1,4	0,1	2,5	3,1	1,3	2,0	1,7	10,0	10,0	11,0	2,3	5,2	2,8	2,7		
5		1,2	0,4	1,3	1,8	3,5	2,2	1,7	4,0	0,6	6,9	10,0	10,0	0,7	2,9	4,2	2,9		
10		0,0	0,0	0,5	1,4	1,6	0,4	2,7	2,8	2,1	10,0	8,4	9,7	2,3	2,4	2,4	4,2		
15		1,1	0,8	1,1	2,4	1,0	2,7	1,9	2,9	4,0	9,7	9,9	11,0	2,2	3,4	1,3	5,2		
20		1,2	0,0	3,1	1,5	2,5	3,1	1,4	3,0	2,3	10,0	8,2	1,1	1,8	2,5	3,4	4,9		
25		0,9	0,0	0,0	3,1	2,3	2,7	3,5	5,4	3,9	8,9	9,8	0,2	0,8	2,7	3,6	3,7		
30		0,5	0,3	2,1	2,2	1,1	2,4	2,6	4,2	2,7	4,0	10,0	1,7	4,7	3,6	3,4	5,7		
35		1,1	0,7	0,4	2,1	1,8	0,6	4,0	4,9	3,1	9,5	9,4	0,0	1,7	2,2	4,6	4,0		
40		1,1				1,4	2,9		2,1	9,3	10,0	10,0	2,6	1,3	3,3	2,5	5,4		
Média		0,9	0,3	1,2	1,8	2,0	2,2	2,4	3,5	3,3	8,8	9,5	5,3	2,0	3,1	3,1	4,3		

Concentrações de metais biodisponíveis (mg.kg ⁻¹) nos perfis de sedimento do Reservatório de Salto Grande																
Mn	fev/00				mai/00				ago/00				nov/00			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
0	430,0	575,0	300,0	380,0	365,0	495,0	285,0	270,0	300,0	545,0	375,0	320,0	420,0	535,0	350,0	170,0
5	500,0	620,0	300,0	255,0	320,0	475,0	305,0	240,0	280,0	575,0	315,0	360,0	350,0	525,0	290,0	345,0
10	440,0	635,0	190,0	280,0	345,0	360,0	240,0	270,0	350,0	570,0	270,0	305,0	350,0	665,0	280,0	335,0
15	395,0	495,0	225,0	225,0	390,0	360,0	250,0	220,0	490,0	370,0	270,0	300,0	361,0	535,0	235,0	290,0
20	360,0	520,0	310,0	285,0	310,0	325,0	225,0	165,0	375,0	560,0	250,0	250,0	360,0	530,0	240,0	260,0
25	480,0	515,0	210,0	225,0	395,0	345,0	150,0	150,0	350,0	480,0	235,0	265,0	310,0	570,0	225,0	235,0
30	360,0	510,0	140,0	160,0	50,0	310,0	130,0	145,0	335,0	425,0	240,0	240,0	290,0	405,0	200,0	270,0
35	335,0	415,0	205,0	150,0	360,0	250,0	160,0	115,0	385,0	480,0	215,0	190,0	255,0	405,0	185,0	225,0
40	265,0				355,0	165,0		115,0	475,0	490,0	95,0	175,0	235,0	405,0	185,0	200,0
Média	396,1	535,6	235,0	245,0	321,1	342,8	218,1	187,8	371,1	499,4	251,7	267,2	325,7	508,3	250,6	258,9
Fe																
Prof	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
0	5040,0	6770,0	6820,0	7000,0	5990,0	7100,0	6270,0	6670,0	5180,0	5880,0	6610,0	4920,0	6650,0	5025,0	5400,0	4180,0
5	5580,0	6820,0	6720,0	5580,0	5970,0	7260,0	6610,0	7190,0	3820,0	6670,0	6070,0	5090,0	6110,0	5100,0	4880,0	4470,0
10	5040,0	5880,0	6390,0	5710,0	6780,0	4710,0	6700,0	6310,0	4720,0	7430,0	5550,0	6400,0	6570,0	5750,0	5500,0	4200,0
15	4800,0	7220,0	7016,0	5080,0	6570,0	6090,0	6770,0	7730,0	6890,0	6300,0	5340,0	7150,0	7130,0	6020,0	5200,0	4710,0
20	5640,0	7710,0	5600,0	6150,0	7440,0	6450,0	5640,0	6480,0	5870,0	7600,0	5610,0	5820,0	6900,0	5740,0	4930,0	4820,0
25	6380,0	8070,0	6050,0	7870,0	6060,0	5730,0	5980,0	7570,0	5750,0	6480,0	5730,0	6770,0	4790,0	5390,0	5990,0	4460,0
30	6030,0	8500,0	6300,0	7120,0	6280,0	5620,0	7060,0	6030,0	5020,0	7660,0	6080,0	8530,0	5030,0	5360,0	4740,0	4620,0
35	5630,0	7230,0	6610,0	7010,0	7500,0	5590,0	6780,0	4910,0	6040,0	6740,0	6110,0	7680,0	4240,0	5560,0	5810,0	6210,0
40	4840,0				6400,0	6180,0	0,0	6070,0	6330,0	7580,0	2680,0	6660,0	4150,0	5150,0	5050,0	6520,0
Média	5442,2	7275,0	6438,3	6440,0	6554,4	6081,1	6476,3	6551,1	5513,3	6926,7	5531,1	6557,8	5730,0	5455,0	5277,8	4910,0
Zn																
Prof	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
0	136,0	45,0	50,0	48,0	166,0	49,0	40,0	61,0	141,0	61,0	64,0	41,0	58,0	48,0	44,0	38,0
5	75,0	47,0	55,0	44,0	148,0	49,0	47,0	43,0	160,0	70,0	60,0	44,0	50,0	66,0	44,0	54,0
10	7,0	51,0	48,0	52,0	122,0	41,0	56,0	65,0	171,0	62,0	54,0	169,0	52,0	54,0	44,0	51,0
15	78,0	43,0	58,0	49,0	79,0	48,0	46,0	58,0	132,0	42,0	55,0	130,0	46,0	56,0	48,0	53,0
20	52,0	42,0	66,0	71,0	70,0	46,0	54,0	41,0	85,0	51,0	57,0	93,0	48,0	50,0	53,0	74,0
25	60,0	52,0	62,0	58,0	70,0	63,0	60,0	37,0	77,0	50,0	60,0	78,0	56,0	60,0	51,0	61,0
30	58,0	50,0	45,0	42,0	64,0	50,0	48,0	30,0	63,0	46,0	88,0	67,0	44,0	58,0	71,0	49,0
35	57,0	47,0	41,0	40,0	61,0	45,0	44,0	38,0	67,0	50,0	70,0	64,0	43,0	56,0	65,0	42,0
40	48,0				64,0	51,0		51,0	80,0	53,0	31,0	61,0	46,0	71,0	50,0	33,0
Média	63,4	47,1	53,1	50,5	93,8	49,1	49,4	47,1	108,4	53,9	59,9	83,0	49,2	57,7	52,2	50,6

Concentrações de metais biodisponíveis (mg.kg ⁻¹) nos perfis de sedimento do Reservatório de Salto Grande																	
Cu		fev/00				mai/00				ago/00				nov/00			
Prof.	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
0	35,2	22,0	51,0	42,0	46,0	24,0	49,0	186,0	40,0	27,0	36,0	39,0	46,0	27,0	34,0	46,0	
5	26,0	22,0	123,0	86,0	43,0	29,0	109,0	115,0	45,0	30,0	37,0	71,0	48,0	26,0	37,0	37,0	
10	27,0	25,0	142,0	149,0	38,0	28,0	163,0	153,0	45,0	31,0	60,0	146,0	40,0	28,0	58,0	57,0	
15	29,0	27,0	170,0	117,0	31,0	44,0	128,0	164,0	37,0	22,0	77,0	154,0	37,0	25,0	74,0	117,0	
20	26,0	43,0	172,0	175,0	32,0	84,0	143,0	137,0	30,0	27,0	144,0	143,0	37,0	25,0	151,0	158,0	
25	32,0	91,0	207,0	201,0	32,0	173,0	177,0	104,0	32,0	26,0	163,0	195,0	33,0	35,0	178,0	130,0	
30	27,0	116,0	153,0	134,0	32,0	132,0	163,0	64,0	31,0	22,0	247,0	195,0	31,0	35,0	152,0	181,0	
35	27,0	125,0	113,0	75,0	31,0	122,0	117,0	40,0	33,0	25,0	171,0	172,0	32,0	38,0	221,0	191,0	
40	23,0				32,0	158,0		15,0	40,0	31,0	39,0	118,0	42,0	67,0	156,0	156,0	
Média	28,0	58,9	141,4	122,4	35,2	88,2	131,1	108,7	37,0	26,8	108,2	137,0	38,4	34,0	117,9	119,2	
Cr																	
Prof.	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
0	4,0	3,7	6,4	4,2	7,1	7,5	8,4	9,8	7,5	9,0	7,5	8,4	10,0	5,1	6,1	4,8	
5	5,0	5,8	8,2	4,6	7,7	5,6	9,4	7,2	8,1	7,7	6,8	8,2	10,0	7,2	7,8	6,3	
10	5,0	4,7	6,9	4,7	6,0	7,7	10,0	11,0	8,0	6,3	6,8	11,0	10,0	7,0	7,4	6,8	
15	5,0	6,1	9,7	7,4	6,7	10,0	10,0	16,0	6,0	6,6	10,0	10,0	8,3	7,3	10,0	8,2	
20	5,0	7,9	8,6	11,2	6,8	9,0	11,0	9,7	7,0	6,9	10,0	10,0	6,5	8,0	11,0	7,0	
25	5,0	7,6	10,0	9,6	5,3	10,0	15,0	4,8	6,2	7,0	14,0	14,0	6,0	6,1	10,0	8,3	
30	4,0	8,5	9,1	4,1	5,5	8,7	9,0	3,0	6,9	6,8	16,0	19,0	6,2	8,1	15,0	10,0	
35	4,7	9,6	4,2	7,5	6,4	11,0	9,0	4,7	7,6	7,3	4,8	10,0	6,5	10,0	13,0	13,0	
40	4,7				7,2	5,8		6,8	6,0	6,4	6,0	6,7	6,5	10,0	6,0	8,1	
Média	4,7	6,7	7,9	6,7	6,5	8,4	10,2	8,1	7,0	7,1	9,1	10,8	7,8	7,6	9,6	8,1	
Cd																	
Prof.	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
0	4,0	1,0	1,8	1,9	3,1	3,4	4,6	5,2	5,1	4,7	5,4	5,3	6,3	6,2	10,0	4,4	
5	1,6	2,0	3,5	2,0	2,6	3,9	4,3	5,1	5,0	5,2	5,8	4,4	6,8	6,2	6,8	6,7	
10	0,4	1,3	2,7	2,1	2,9	3,7	4,8	4,9	5,2	4,3	5,2	6,1	6,3	6,1	6,5	5,3	
15	1,0	1,9	2,2	3,3	3,3	4,2	4,2	5,6	4,6	5,4	5,4	6,3	6,6	6,7	6,7	5,7	
20	1,5	0,9	3,4	3,1	3,7	4,0	5,5	4,5	5,2	3,7	5,2	6,4	6,9	7,2	7,0	5,8	
25	1,4	2,4	3,6	3,4	3,8	3,6	5,6	4,9	4,9	4,0	6,1	6,6	6,5	6,6	6,4	5,5	
30	0,2	1,7	2,5	3,0	3,5	4,0	5,3	5,1	5,1	3,1	5,9	6,9	6,1	8,1	6,2	6,6	
35	0,0	2,7	2,2	3,8	3,6	4,1	4,9	4,8	5,0	4,1	6,4	6,4	6,8	6,5	7,1	7,5	
40	1,6				3,8	4,4		4,6	5,0	3,9	5,6	6,7	6,2	7,3	5,7	7,2	
Média	1,3	1,7	2,7	2,8	3,4	3,9	4,9	5,0	5,0	4,3	5,7	6,1	6,5	6,8	6,9	6,1	