

**SEDIMENTAÇÃO E FLUXO VERTICAL DE
NUTRIENTES EM DOIS RESERVATÓRIOS DE
DISTINTOS ESTADOS TRÓFICOS. (RESERVATORIOS
DO BROA E BARRA BONITA - SP)**

Guillermo Chalar Marquisá

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017305

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

Orientador: Prof. Dr. José Galizia Tundisi



São Carlos-SP, Março de 1998

Class.	TE 90 - 0030
Cart.	1488
Tombo	7008219

311 0001305

dt 949464

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

C436s Chalar Marquisá, Guillermo
Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em
dois reservatórios de distintos estados tróficos.
(Reservatórios do Broa e Barra Bonita - SP) /
Guillermo Chalar Marquisá. -- São Carlos, 1998.

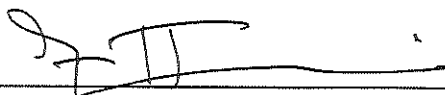
Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Ciências Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. José Galízia Tundisi.

1. Taxas de sedimentação. 2. Fluxos de
nutrientes. 3. Ressuspensão. 4. Sedimentos.
5. Nitrogênio. 6. Fósforo. 7. Fracionamento.
8. Biodisponibilidade. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Licenciado **GUILLERMO CHALAR MARQUISÁ**

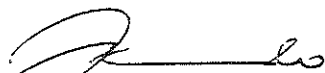
Tese defendida e aprovada em 06-03-1998
pela Comissão Julgadora:



Prof. Titular **JOSÉ GALIZIA TUNDISI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **BOHDAN MATVIENKO SIKAR**
(Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo)



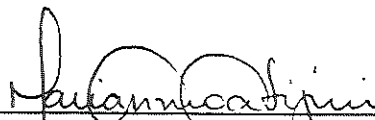
Prof. Titular **JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Associado **LUIZ ANTONIO MARTINELLI**
(Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo)



Prof. Titular **RAOUL HENRY**
(UNESP - Campus de Botucatu)



Profª. Doutora **MARIA DO CARMO CALLJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Galizia Tundisi, agradeço pela orientação e oportunidade da realização deste trabalho e por ter possibilitado uma experiência de vida que ficará em mim guardada para sempre.

À CAPES ao ITAMARATI e ao Programa convênio de Estudantes Estrangeiros pelo auxílio financeiro.

À Faculdade de Ciências, à Comissão Sectorial de Investigação e Ciências (CSIC) e ao Departamento de Limnología da Univeridade da República Oriental do Uruguai, pelo apoio econômico e moral.

À Prof^a. Dr^a Maria do Carmo Calijuri, pelo apoio dado ao trabalho em todo momento.

Aos técnicos do CRHEA Amândio de Menezes Nogueira, Luci Aparecida Queiroz, América, Valdomiro Antônio Filho e Marcelo de Menezes Nogueira, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório.

À bibliotecária do CRHEA, Regina e à secretária da Pós-graduação, Claudete, pela colaboração e boa disposição em todo momento.

A Carlos, técnico do departamento de Química da USP-São Carlos, pelo auxílio nas análises de metais.

Ao Prof. Dr. Antônio Mozetto e Msc Francisco França do Departamento de Biogeoquímica da UFSCar, pelas análises de carbono total

Ao Msc Alfredo Lopes Lage pelas sugestões portuguesas.

A Elisa Madi, pela força nos últimos tempos.

A minha família uruguaia, sempre perto apesar das distâncias Cristina, Hector Carlos, Mónica, Gabriela, Gustavo (Pelo), Estela, Luis, todos meus sobrinhos (grandes e pequenos), também a Elsa, Carolina e Lucía & flia, que com cartas, desenhos, mails e visitas, tanto me alegraram e ajudaram durante estes tempos.

A minha família São Carlense Serginho, Bitar, Alfredo, Adriana, Marquinhos, Anais, Lola, Paula, Luiz, Simone, Saci, Vitor, Abilio, Carmen, Henrique, Brunito, Elisa, Roberta, Franca, Mourão, Bell, Kakuda, Marcelo, Adriana, Peninha, Giovana, Grego, Virginia ao vizinho Carlitos, aos do Vôlei de domingo, que transformaram minha estada num tempo de novas amizades e reafirmação de velhos valores.

Agradeço especialmente a Elsita Leoni Velazco pelo apoio, amor e amizade nestes anos, sem a qual não teria acontecido nada.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XI
RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 A ciclagem do fósforo nos lagos e reservatórios.....	2
1.2 O uso das armadilhas de sedimentação nos estudos limnológicos...	7
1.3 Objetivos.....	13
2. ÁREA DE ESTUDO.....	14
3. METODOLOGIAS.....	21
3.1 Local de coleta.....	21
3.2. Coleta de amostras.....	21
3.3. Análises de laboratório.....	24
3.4 Cálculos e análises estatísticas.....	29
4. RESULTADOS.....	31
4.1 Reservatório do Broa.....	31
4.1.1 Caracterização física e química da água.....	31
4.1.2 Taxas de sedimentação estimadas.....	51
4.1.3 Relações entre as taxas de sedimentação dos parâmetros analisados no reservatório do Broa.....	57
4.1.4 Caracterização dos sedimentos do Broa.....	62
4.2. Reservatório de Barra Bonita	69
4.2.1 Caracterização física e química da água.....	69

4.2.2 Taxas de sedimentação estimadas.....	91
4.2.3 Relações entre as taxas de sedimentação dos parâmetros analisados no reservatório de Barra Bonita.....	97
4.2.4 Caracterização dos sedimentos de Barra Bonita.....	102
5. DISCUSSÃO.....	108
5.1 Interrelações entre: sedimentação, ressuspensão e tipo de circulação nos reservatórios estudados.....	118
5.2 Sedimentação histórica acumulada.....	125
6. CONCLUSÕES.....	130
7. BIBLIOGRAFIA	133
ANEXOS.....	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do reservatório do Broa e de Barra Bonita no Estado de São Paulo.....	15
Figura 2. Reservatório do Broa e seus principais afluentes. Local de coleta.....	17
Figura 3. Reservatório de Barra Bonita e seus principais afluentes. Local de coleta.....	17
Figura 4. Forma de instalação das armadilhas de coleta do fluxo sedimentar.....	22
Figura 5. Procedimento para a determinação das diferentes frações de fósforo.....	28
Figura 6. Distribuição da precipitação no reservatório do Broa, ao longo do período de estudo e nas datas de coleta.....	32
Figura 7. Velocidade do vento no reservatório do Broa, ao longo do período de estudo e nas datas de coleta.....	32
Figura 8. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de junho de 1995.....	33
Figura 9. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de outubro de 1995.....	35
Figura 10. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de março de 1996.....	36
Figura 11. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de maio de 1996.....	38
Figura 12. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de setembro de 1996.....	39
Figura 13. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de dezembro de 1996.....	40
Figura 14. Variação da temperatura (A), oxigênio dissolvido (B), condutividade (C) e pH (D), médias das coletas de cada mês na superfície, final da zona eufótica e fundo, no ponto de coleta do reservatório do Broa.....	41

Figura 15. Concentração média de material suspenso total, e porcentagem de matéria inorgânica e orgânica, das coletas de cada mês na superfície, final da zona eufótica e fundo, no reservatório do Broa.....	42
Figura 16. Variação temporal do material suspenso total, inorgânico e orgânico na zona eufótica, no reservatório do Broa.....	43
Figura 17. Variação da concentração de clorofila α na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses estudados, no reservatório do Broa.....	44
Figura 18. Variação do nitrogênio total particulado e sua relação, com o material suspenso inorgânico e orgânico, nos meses de coleta na zona eufótica do reservatório do Broa.....	46
Figura 19. Variação das concentrações médias da zona eufótica de fósforo total, fósforo total dissolvido e fósforo total particulado mostrando as relações entre estes (A e B) e com o nitrogênio total particulado (B), no reservatório do Broa, nos meses estudados.....	48
Figura 20. Variação da concentração de Ca, Mn, Fe e Al, na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses de coleta, no reservatório do Broa.....	49
Figura 21. Taxa de sedimentação total bruta e líquida e suas frações orgânicas e inorgânicas, no reservatório do Broa, nos meses estudados.....	51
Figura 22. Taxa de sedimentação de clorofila α , nos distintos meses de coleta no reservatório do Broa.....	52
Figura 23. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de nitrogênio, no reservatório do Broa, nos meses estudados.....	53
Figura 24. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de fósforo, no reservatório do Broa, nos meses estudados.....	54
Figura 25. Taxa de sedimentação de fósforo total e porcentagens das diferentes frações analisadas no reservatório do Broa, nas datas de coleta.....	55
Figura 26. Taxas de sedimentação de cálcio, ferro, manganês (vezes dez) e alumínio, bruta e líquida nos meses de coleta no reservatório do Broa.....	56
Figura 27. Correlação entre, a taxa de sedimentação líquida de fósforo orgânico, extraído com NaOH (PNR-NaOH) e A: taxa de sedimentação de matéria orgânica (SMO), B: ferro (SFe), C: cálcio (SCa) e D: alumínio (SAI) e a correlação entre a taxa de sedimentação de fósforo orgânico extraído com ditionito e a taxa de sedimentação de clorofila α (E).....	58
Figura 28. Análise de agrupamentos das taxas de sedimentação do reservatório do Broa.....	59
Figura 29. Porcentagem de variância total explicada por cada componente principal, do reservatório do Broa.....	60

Figura 30. Correlação das variáveis originais com os dois primeiros componentes principais, no reservatório do Broa.....	61
Figura 31. Correlação das observações (meses de coleta), com os dois primeiros componentes do reservatório do Broa.....	62
Figura 32. Variação vertical da matéria inorgânica, orgânica e água nos sedimentos do reservatório do Broa nos diferentes meses no ponto de coleta.....	64
Figura 33. Variação vertical do fósforo total e nitrogênio total, nos sedimentos do reservatório do Broa nos diferentes meses no ponto de coleta.....	66
Figura 34. Variação vertical do ferro, alumínio e manganês nos sedimentos do reservatório do Broa em março e setembro de 1996, no ponto de coleta.....	67
Figura 35. Fósforo total e porcentagens das diferentes frações analisadas no sedimento superficial do reservatório de Broa, no ponto de coleta, em março e setembro de 1996.	68
Figura 36. Variação da vazão total vertida (A) e do tempo de retenção (B), no reservatório de Barra Bonita ao longo do período de estudo e nas datas de coleta.....	70
Figura 37. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de junho de 1995.....	71
Figura 38. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de outubro de 1995.....	73
Figura 39. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de março de 1996.....	75
Figura 40. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de junho de 1996.....	77
Figura 41. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de setembro de 1996.....	79
Figura 42. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de dezembro de 1996.....	81
Figura 43. Variação da temperatura (A), oxigênio dissolvido (B), condutividade (C) e pH (D), médias das coletas de cada mês, na superfície, final da zona eufótica e fundo, no reservatório do Barra Bonita.....	82
Figura 44. Concentração média de material suspenso total e porcentagem de matéria inorgânica e orgânica, das coletas de cada mês, na superfície, final da zona eufótica e fundo, no reservatório de Barra Bonita.....	83
Figura 45. Variação temporal do material suspenso total, inorgânico e orgânico na zona eufótica, no reservatório de Barra Bonita.....	84
Figura 46. Variação da concentração de clorofila <i>a</i> na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses estudados, no reservatório de Barra Bonita.....	85

Figura 47. Variação do nitrogênio total particulado e sua relação com o material suspenso orgânico, nos meses de coleta na zona eufótica do reservatório do Barra Bonita.....	87
Figura 48. Variação das concentrações de fósforo total, fósforo total dissolvido e fósforo total particulado no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados.....	88
Figura 49. Variação da concentração de Ca, Mn, Fe e Al, na superfície, final da Zeuf. e no fundo, no reservatório de Barra Bonita.....	90
Figura 50. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de nitrogênio, no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados.	91
Figura 51. Taxa de sedimentação de clorofila <i>a</i> , nos distintos meses de coleta no reservatório de Barra Bonita.....	92
Figura 52. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de nitrogênio, no reservatório de Barra Bonita.....	93
Figura 53. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de fósforo, no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados.....	94
Figura 54. Taxa de sedimentação de fósforo total e porcentagens das diferentes frações analisadas no reservatório de Barra Bonita, nas datas de coleta	95
Figura 55. Taxas de sedimentação de cálcio, ferro, manganês (vezes dez) e alumínio, bruta e líquida nos meses de coleta no reservatório do Broa.....	96
Figura 56. Correlações entre, a taxa de sedimentação líquida de fósforo orgânico, extraído com NaOH (PNR-NaOH) e A: taxa de sedimentação de clorofila <i>a</i> , B: sedimentação de nitrogênio e as correlações entre a taxa de sedimentação de fósforo complexado ao ferro extraído com ditionito (PR-BD), C: taxa de sedimentação de ferro e D: sedimentação de cálcio.....	98
Figura 57. Análise de agrupamentos das taxas de sedimentação no reservatório de Barra Bonita.....	99
Figura 58. Porcentagem de varianância total explicada por cada componente principal, no reservatório de Barra Bonita.....	100
Figura 59. Correlação das variáveis originais com os dois primeiros componentes principais, no reservatório de Barra Bonita.....	101
Figura 60. Correlação das observações (meses de coleta), com os dois primeiros componentes do reservatório de Barra Bonita.....	102
Figura 61. Variação vertical da matéria inorgânica, orgânica e água nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita nos diferentes meses.....	104
Figura 62. Variação vertical do fósforo total e nitrogênio total, nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita nos diferentes meses.....	105
Figura 63. Variação vertical do ferro, alumínio e manganês nos sedimentos do reservatório de	

Barra Bonita em março e maio de 1996.....	106
Figura.64. Fósforo total e porcentagens das diferentes frações analisadas, no sedimento superficial do reservatório de Barra Bonita, no ponto de coleta, em março e dezembro de 1996.....	107
Figura 65. Cenários determinados pelas funções de força nos reservatórios do Broa e Barra Bonita.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros morfométricos do reservatório do Broa.....	18
Tabela 2. Parâmetros morfométricos do reservatório de Barra Bonita.....	20
Tabela 3. Concentração de carbono total dissolvido, carbono inorgânico e orgânico dissolvido nos diferentes meses de estudo nas três profundidades de coleta, no reservatório do Broa.....	45
Tabela 4. Fluxo sedimentar bruto, ressuspensão e sedimentação líquida anual no reservatório do Broa.....	57
Tabela 5. Concentração de carbono total dissolvido, carbono inorgânico e orgânico dissolvido nos diferentes meses de estudo nas três profundidades de coleta, no reservatório de Barra Bonita.....	86
Tabela 6. Fluxo sedimentar bruto, ressuspensão e sedimentação líquida anual no reservatório de Barra Bonita.....	97
Tabela 7. Fluxos de sedimentação líquida, acumulação e porcentagem de retenção nos sedimentos do reservatório do Broa.....	127
Tabela 8. Fluxos de sedimentação líquida, acumulação e porcentagem de retenção nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita.....	128
Tabela 9. Características físicas e químicas da zona eufótica e processos que predominam, nas diferentes condições encontradas, nos reservatórios do Broa e Barra Bonita.....	132

LISTA DE ABREVIATURAS

- CID- Carbono Inorgânico Dissolvido.
Cla- Clorofila α
COD- Carbono Orgânico Dissolvido.
Cond- Condutividade
Corg- Carbono Orgânico.
CTD- Carbono Total Dissolvido.
DS- Disco de Secchi.
MI- Matéria Inorgânica.
MO- Matéria Orgânica.
MSO- Matéria Suspensa Orgânica
MST- Matéria Suspensa Total
NT- Nitrogênio Total.
NTP- Nitrogênio Total Particulado.
OD- Oxigênio Dissolvido.
PNR-BD- Fósforo Não Reativo extraído com ditionito tamponado.
PNR-NaOH- Fósforo Não Reativo extraído com NaOH.
PR-BD- Fósforo Reativo extraído com ditionito tamponado.
Pref- Fósforo refratário.
PR-HCl- Fósforo Reativo extraído com HCl.
PR-NaOH- Fósforo Reativo extraído com NaOH.
PR-NH₄Cl- Fósforo Reativo extraído com NH₄Cl.
ps- peso seco.
PT- Fósforo Total.

PTD- Fósforo Total Dissolvido

PTP- Fósforo Total Particulado.

SBMI- Sedimentação Bruta de Matéria Inorgânica.

SBMO- Sedimentação Bruta de Matéria Orgânica.

SLMI- Sedimentação Líquida de Matéria Inorgânica.

SLMO- Sedimentação Líquida de Matéria Orgânica.

SX- Taxa de Sedimentação de determinada variável.

T retenção- Tempo de retenção.

Temp- Temperatura

Zeuf- Profundidade da zona eufótica =3 vezes a profundidade do DS.

RESUMO

Chalar, G. 1998. *Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em dois reservatórios de distintos estados tróficos. (Reservatórios do Broa e Barra Bonita - SP)*

As taxas de sedimentação de sólidos totais, matéria orgânica, inorgânica, clorofila *a*, nitrogênio, fósforo, frações de fósforo (PR-NH₄Cl, PR-BD, PNR-BD, PR-NaOH, PNR-NaOH e PR-HCl) e metais (Ca, Mn, Fe e Al), foram estimadas mediante armadilhas de sedimentação em dois reservatórios (Broa e Barra Bonita), localizados no Estado de São Paulo. Foram realizadas seis amostragens em cada reservatório. Durante o tempo de coleta do material sedimentar (48h) foram medidos *in situ* o pH, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido, e coletadas amostras de água para a determinação de clorofila *a*, nitrogênio particulado, fósforo total, fósforo total dissolvido e metais. Amostras dos sedimentos de cada reservatório foram analisadas para a determinação do conteúdo de água, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, frações de fósforo e metais. As taxas de sedimentação médias corrigidas da ressuspensão, foram similares em ambos os reservatórios, 3.0 e 3.8 g m⁻² dia⁻¹ (Broa e Barra Bonita, respectivamente). As taxas de sedimentação médias de clorofila, nitrogênio e fósforo, no Broa foram: 5.8, 118 e 7 mg m⁻² dia⁻¹, respectivamente, enquanto que em Barra Bonita foram: 3.6, 163 e 8 mg m⁻² dia⁻¹ (Cl_a, N, P, respectivamente). A composição do material sedimentar coletado nas armadilhas e nos sedimentos foi diferente nos reservatórios estudados. No Broa predominou a forma orgânica. Esta seria importante no controle do fluxos verticais dos nutrientes, especialmente do fósforo (PNR-BD e PNR-NaOH). Em Barra Bonita predominou a fração inorgânica, sendo a fase transportadora e controladora do fósforo (PR-BD) neste reservatório. As diferenças foram associadas às diferentes características das bacias e estados tróficos dos reservatórios. Os fatores externos (precipitação, vazão, tempo de retenção e vento) foram determinantes dos processos físicos, químicos e biológicos, com efeitos similares em ambos os reservatórios.

Palavras chave: taxas de sedimentação, fluxos de nutrientes, ressuspensão, sedimentos, nitrogênio, fósforo, fracionamento, biodisponibilidade.

ABSTRACT

Chalar, G. 1998. *Sedimentation and vertical nutrient fluxes in to reservoirs of different trophic level. (Broa and Barra Bonita reservoirs - SP)*

Sedimentation rates of total solids, organic matter, inorganic matter, chlorophyll *a*, nitrogen, phosphorus, phosphorus fractions (NH₄Cl-RP, BD-RP, BD-NRP, NaOH RP, NaOH-NRP e HCl-RP) and metals (Ca, Mn, Fe e Al), were determined by means of sediment traps, in two reservoirs (Broa and Barra Bonita), located in São Paulo State. Six samplings were carried out in each reservoir. The pH, conductivity, temperature, and dissolved oxygen were *in situ* measured during the sediment traps deployment (48 hrs). Water samples for the determination of chlorophyll *a*, particulate nitrogen, total phosphorus, total dissolved phosphorus and metals were also taken. Sediment samples of each reservoir, were analyzed for the determination of water content, organic mater, nitrogen, phosphorus phosphorus fractions and metals. The sedimentation rates corrected for resuspension were similar in both reservoirs 3.0 and 3.8 g m⁻² day⁻¹ (Broa e Barra Bonita, respectively). Broa's chlorophyll *a*, nitrogen and phosphorus sedimentation rates were: 5.8, 118 and 7 mg m⁻² day⁻¹, respectively. Barra Bonita's sedimentation rates were 3.6, 163 e 8 mg m⁻² day⁻¹ (Cl_a, N, P, respectively). Sedimentary material composition, collected in the traps and in the sediments, were different for the studied reservoirs. Organic fraction was predominant at Broa. The organic fraction could be important for the vertical flux control of nutrients, specially for phosphorus (BD-NRP and NaOH-NRP). Inorganic fraction was predominant at Barra Bonita and could be the predominant carrier phase for phosphorus (BD-RP) in this reservoir. The different composition was related to the watersheds and trophic state differences between the reservoirs. Fiscal, chemical and biological process were determined by externals factors (rain, discharge, residens time and wind), with similar effects in the two reservoirs.

Key words: sedimentation rates, nutrient fluxes, resuspension, sediments, nitrogen phosphorus, fractionation, biodisponibility.

1- INTRODUÇÃO.

Os sistemas epicontinentais atuam como meios de transporte do excesso de produção continental ao mar. A composição química das águas epicontinentais indica o estado de saúde dos ecossistemas terrestres drenados e portanto, são de grande utilidade para o controle da qualidade ambiental (Margalef, 1991). Os reservatórios, quando comparados aos lagos, possuem uma maior dependência dos eventos que ocorrem na bacia devido a características morfométricas tais como, maior índice de desenvolvimento da margem, maior área superficial de drenagem e tempos de retenção menores (Sagio, 1992).

As características das águas continentais dependem do grau de maturidade dos solos. Solos profundos e bem formados associados a bosques trocam materiais com a água de percolação resultando numa água relativamente diluída e de composição uniforme em grande áreas. Outros tipos de vegetação natural mais aberta em relação ao solo e segundo a flora fúngica, podem liberar grandes quantidades de substâncias húmicas (bacias de águas pretas). As atividades humanas como por exemplo, queimadas, desmatamentos, agricultura, construção de cidades e estradas, produzem um aumento da concentração de materiais na água de escoamento e aumentam as diferenças entre ecossistemas vizinhos (Margalef, 1991).

- Elementos químicos limitantes.

Na composição dos organismos além do carbono e os componentes da água, o nitrogênio e o fósforo são especialmente importantes. O ciclo do fósforo ocorre quase exclusivamente na forma de fosfato (P^{+5}), que tem uma altíssima energia de formação (-306.2 Kcal/mol), sendo a ruptura da molécula muito difícil. O fosfato pode combinar-se com o cálcio, ferro, alumínio e outros metais, formando minerais de baixa solubilidade e precipitar aos sedimentos onde se acumula. Segundo Margalef (op. cit), os sedimentos dos ecossistemas epicontinentais contém em média um por mil de fósforo, perdendo-se para sempre da biosfera, o que representa um freio para a produção de biomassa.

O nitrogênio pode apresentar-se em cinco estágios de oxidação formando compostos solúveis na água e gasosos. Diferente do fósforo, seu ciclo ocorre mais nas fases líquidas que sólidas. Nos organismos encontra-se reduzido em forma de amina (NH_2). A reciclagem energeticamente mais econômica é como nitrogênio amoniacal, mas diversos organismos podem utilizá-lo como nitrato ou nitrito. A reciclagem do nitrogênio gasoso (N_2) precisa ainda de mais energia e representa somente entre 2-5% da ciclagem total, podendo ser maior em sistemas agrícolas (fixação), áreas alagadas e lagos eutróficos (fixação e desnitrificação). A desnitrificação, pode também ser vista como um freio à produção e pode ser comparada ao efeito da retenção do fósforo nos sedimentos.

1.1- A CICLAGEM DO FÓSFORO NOS LAGOS E RESERVATÓRIOS

O fósforo presente num lago ou reservatório pode ser classificado de diferentes maneiras: segundo a origem, podemos ter fósforo alóctone ou autóctone; segundo a natureza química, orgânico ou inorgânico e segundo a solubilidade, solúvel ou particulado.

O fósforo alóctone natural origina-se principalmente da lavagem dos solos e rochas da bacia e portanto, predominam as formas inorgânicas. A forma mineral do fosfato mais abundante é a apatita: (fluoroapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F},\text{OH})_2]$ e hidroxilapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}_2)]$). No ambiente aquático a fonte mais importante deste mineral é a erosão, sendo que os processos de diagênese são de menor importância (Armengol, 1984, 1986). A apatita tem uma baixíssima solubilidade na água e não é disponível para o fitoplâncton. Estas propriedades conservativas, fazem dela um traçador natural que pode ser usado para a separação do fósforo particulado alóctone do autóctone (Bloesch et al., 1988).

Geralmente os aportes de apatita são baixos exceto em regiões vulcânicas ou quando ocorrem grandes enchentes. Outros aportes de fósforo inorgânico particulado são as argilas e limos que podem adsorver fosfatos dissolvidos e serem levados pelo escoamento superficial até o corpo de água. Uma grande parte do fósforo adsorvido aos sólidos suspensos de um rio é biologicamente disponível e dependendo da concentração do fosfato inorgânico dissolvido, pode induzir à eutrofização (Vollenweider, 1976).

Outras fontes alóctones importantes são o fósforo orgânico, derivado de restos de plantas e animais e os aportes antropogênicos, que podem apresentar-se tanto na forma particulada como dissolvida e com distintos graus de importância segundo a ocupação e uso da bacia.

O fósforo autóctone é aquele originado no próprio reservatório por processos, biológicos ou químicos. Dentre os processos biológicos mais importantes pode mencionar-se, a assimilação de formas inorgânicas de fosfatos e incorporação na biomassa fitoplanctônica, pastoreio (*grazing*), ingestão de detritos, decomposição, excreção, etc.

Os processos químicos mais importantes são: precipitação e dissolução com o Fe^{+3} , Ca^{-2} e Al^{+3} , adsorção pelas argilas e a complexação com materiais orgânicos. O

fósforo autóctone é de grande importância nos ambientes oligotróficos e também nos eutróficos provocando muitas vezes eutrofização secundária pela liberação do fósforo dos sedimentos.

Uma vez considerado o fósforo no reservatório, seja qual for sua origem, começa (continua) sua transformação e transporte. Estes dois fenômenos ocorrem numa dimensão espacial e temporal que deve ser considerada.

- Distribuição horizontal

No sentido horizontal os materiais particulados tendem a sedimentar segundo o transporte hidráulico, em áreas mais ou menos próximas aos tributários. Os fatores mais importantes na determinação do transporte de sedimentos, distribuição, deposição e erosão são: o ciclo hidrológico, o regime de vento, a morfometria, o manejo humano do ambiente e também a composição biológica (Tundisi, 1994).

A região litoral de um reservatório atua como um sistema amortecedor de fortes pulsos de nutrientes e material particulado. As áreas alagadas ou região litoral associada a reservatórios transformam quantitativa e qualitativamente as características originais do material. Em geral, o principal efeito destas regiões é a transformação do fósforo inorgânico dissolvido para a forma particulada (orgânica e inorgânica) (Reddy e D'Angelo, 1994).

- Distribuição vertical

A região limnética de um reservatório ou lago caracteriza-se por apresentar um gradiente vertical acentuado, condicionado principalmente pela penetração da luz e distribuição do calor. Na zona trofогênica, o fosfato inorgânico dissolvido pode ser assimilado pelos produtores primários, passando a formar compostos orgânicos e a se incorporar na rede alimentar ou ser adsorvido às partículas inorgânicas e detritos.

Uma parte deste fósforo particulado sedimentará e outra será reciclada na coluna de água, de acordo com taxas específicas de decomposição e sedimentação.

Os materiais inorgânicos e os detritos suspensos na água podem adsorver ou liberar fósforo inorgânico atuando como reguladores da sua concentração dissolvida na água. Segundo Rijkeboer *et al.*(1991), este mecanismo pode ser de grande importância na manutenção do estoque de fósforo dissolvido disponível para o fitoplâncton.

Os estudos de mineralização do fitoplâncton tem sido desenvolvidos há muito tempo. Bruce, *et al* (1976) indicam que Kleerekoper em 1953, já reconhecia a importância da mineralização do fitoplâncton na coluna d'água o que tinha como consequência um baixo aporte da produção particulada aos sedimentos. Os dados destes autores também levaram-lhes a concluir que a mineralização do material orgânico sedimentar ocorre principalmente no epilímnio, mas também no hipolímnio oxigenado.

Por outro lado, segundo Baines *et al.* (1994), com base em dados de vários autores, a sedimentação de partículas da região trofogênica, pode representar uma perda importante da produção planctônica anual, a qual pode alcançar até 50% desta, tanto em ambientes continentais como marinhos.

- O fósforo nos sedimentos

A solubilidade do fósforo inorgânico nos sedimentos está limitada principalmente pelo íon férrico mediante o processo de formação da vivanita (Emerson, 1976). Este fósforo é geralmente considerado como a forma mais móvel do fósforo sedimentar. O mesmo pode ser liberado ao reduzir-se o ferro sob condições de anoxia. Como consequência, esta forma do fósforo pode ser considerada como uma fonte interna potencial que diminui a capacidade de retenção dos sedimentos .

A taxa de mineralização do fósforo é regulada pela proporção relativa do armazenamento lábil e não lábil e a relação C:P da matéria orgânica. O fósforo orgânico é liberado como PO_4 à solução durante a decomposição bacteriana ou fica retido como fósforo refratário. Geralmente as bactérias são consideradas como “catalisadoras”, acelerando a solubilização do PO_4 por oxidação dos detritos orgânicos e redução de vários oxidantes. Nesta visão a quantidade de fósforo armazenado nas bactérias seria sempre a mesma. Mas ao contrário, as bactérias como outros organismos dependem do P como nutriente e são capazes de tomá-lo do substrato orgânico ou da água, portanto a liberação líquida, poderia ser determinada pela demanda bacteriana (Gächter & Meyer, 1993).

A extração sequencial do fósforo é uma técnica que permite a identificação de diferentes frações do fósforo determinando assim a importância potencial de cada uma nos processos de adsorção e liberação deste nos materiais suspensos e no sedimento.

Segundo Psenner & Pucsko (1988), existem mais de 20 tipos de extrações. Dentre elas, as mais utilizadas são as de Williams *et al* (1980) e Hieltjes & Lijklema (1980), mas nestes métodos o fósforo sensível ao potencial redox não é distinguido de outras formas do fósforo inorgânico. O método proposto por Psenner *et al.* (1988) permite a determinação do fósforo ligado ao ferro ou sensível ao potencial redox com a vantagem de eliminar o *tailing* dos métodos anteriores.

Psenner *et al.* (op. cit), propõe a utilização de uma solução tamponada bicarbonatada de ditonito de sódio (BD) para a extração das formas de fósforo complexadas a íons de ferro. Esta metodologia foi testada por Jensen & Thamdrup (1993) para três tipos diferentes de sedimentos encontrando uma alta correlação entre o fósforo extraído com a BD e o hidróxido de ferro também extraído junto.

A definição das diferentes frações, deve considerar-se simplesmente como operacional, na qual a importância de cada fração, deve-se a que ela representa

compostos com o mesmo significado ecológico e não como uma determinação estrutural ou estequiométrica das distintas formas possíveis dos compostos fosfatados.

O fracionamento pode fornecer informações sob a biodisponibilidade do fósforo, taxas de liberação, importância da sedimentação no controle da concentração deste na coluna da água e também possibilita a distinção dos aportes alóctones e autóctones.

1.2- O USO DAS ARMADILHAS DE SEDIMENTAÇÃO NOS ESTUDOS LIMNOLÓGICOS

A utilização de armadilhas de sedimentação para o estudo dos fluxos verticais tem sido amplamente difundida com diversos objetivos na ecologia aquática. Dentre eles pode-se mencionar:

- Ciclagem geral de nutrientes, determinação de taxas de exportação, cargas internas e armazenamento de nutrientes. Retenção e liberação do fósforo, em áreas alagadas, lagos, reservatórios e ambientes costeiros. (Gasith, 1976; Callieri, *et al.*, 1986; Alvarez, *et al.*, 1993). Armazenamento de carbono em oceanos e sistemas continentais e sua importância no ciclo global do carbono (Mitsch, *et al.*, 1989; Pace, *et al.*, 1987; Thingstad, 1991).

- Determinação de taxas de sedimentação para balanços de massa na modelagem de ecossistemas, modelos de estado trófico e de substâncias tóxicas (Dillon & Rigler, 1974; Vollenweider, 1976; Soutar *et al.*, 1977; Prairie, 1988)

- Estudos da variação sazonal específica da comunidade fitoplanctônica por meio de registros obtidos com armadilhas de sedimentação (Flower, 1990; Livingston & Reynolds, 1981)

- Influências do fluxo de nutrientes na composição, biomassa e produção do bentos e do fitoplâncton (Johnson & Brinkhust, 1971; Reynolds, 1984).

- Estimativa da taxa de sedimentação

Os resultados obtidos com armadilhas devem ser interpretados com grande cuidado. A velocidade de sedimentação do material particulado depende do tamanho, forma e peso específico das partículas, além da temperatura, viscosidade e densidade do meio líquido. Estas variáveis relacionam-se pela fórmula de Stokes (equação. 1) no caso de partículas esféricas e ambientes estagnados ou por variações da mesma no caso de partículas não esféricas.

$$\omega = \frac{(P_1 - P_2) * g}{18 * \eta} * d^2 \quad (\text{eq.1})$$

Onde: ω = velocidade de sedimentação.

$(P_1 - P_2)$ = diferença entre a densidade da partícula (P_1) e o meio (P_2).

g = aceleração da gravidade.

η = viscosidade do meio.

Porém em ambientes naturais a esta fórmula, resulta de pouco valor devido aos fatores hidrodinâmicos, à formação de agregados de partículas, aos coloides que não são afetados pela gravidade e à forma esférica que determina as constantes da equação 1. Por estes motivos uma das maneiras mais utilizadas para estimar o fluxo vertical de materiais é através de medições diretas no campo por meio de armadilhas de sedimentação.

Os tipos de armadilhas utilizados nos diferentes contextos são muito variados, Blomqvist & Hakanson (1988), fazem uma revisão da literatura avaliando os benefícios e limitações dos diversos modelos. Basicamente podem se distinguir:

- 1) Armadilhas de sedimentação apoiadas nos sedimentos.

- a) colocadas na superfície do sedimento.
 - b) colocadas acima do fundo, no meio líquido.
- 2) armadilhas amarradas a bóias.
- a) ancoradas.
 - b) à deriva.

As armadilhas de fundo só podem ser utilizadas em zonas de acumulação, onde sedimentos finos estão continuamente sendo depositados e não há transporte nem erosão (por exemplo, ação do vento). As armadilhas de deriva são de grande utilidade nos estudos oceanográficos. Nestas fica bastante reduzido o efeito de inclinação do recipiente, o que pode acontecer nas armadilhas ancoradas. Este tipo de artefato necessita de sistemas de transmissão de rádio ou refletores de radar para ser recuperado.

As armadilhas mais utilizadas são as ancoradas amarradas a bóias, existindo muitos modelos. Os principais fatores a serem levados em conta são: forma e tamanho do recipiente (propriedades hidrodinâmicas), entrada de materiais do sedimento por ressuspensão, decomposição do material sedimentado, fixação ou entrada de organismos que modifiquem as características originais do material sedimentado e subamostragem do material coletado.

- Forma e tamanho das armadilhas.

A forma de recipiente mais adequada e de maior representatividade é um simples cilindro, segundo Blomqvist & Hakanson (1988), isto é válido para todo tipo de ambientes (estagnados ou turbulentos, marinhos ou continentais). A altura da armadilha é muito importante, se for muito baixa pode ocorrer ressuspensão e saída do material coletado e se for muito alta e o tempo de exposição prolongado pode-se desenvolver um ambiente sem oxigênio. O diâmetro também pode influir, White & Wetzel (1973) encontraram uma tendência à diminuição da quantidade de material

coletado em função do aumento do diâmetro do cilindro. Flower (1990), utilizou para o estudo das mudanças sazonais do material sedimentado, armadilhas de “razão de aspecto alta” (H.D = 11.8) com um diâmetro de 5.1 cm, e afirma que razões H:D superiores a 10 impedem a ressuspensão do material coletado.

- Ressuspensão.

Um dos problemas centrais na interpretação dos dados obtidos com armadilhas é a quantificação da ressuspensão, ou seja diferenciar a deposição líquida da total (Blomqvist & Hakanson, 1988). A quantidade de material ressuspensa aumenta geralmente perto do fundo e durante períodos de alta energia (vento persistente, ruptura da termoclina, chuva, etc.) e também pela atividade dos organismos no fundo.

A ressuspensão das partículas do fundo e sua resedimentação nas armadilhas é um fenômeno reconhecido desde os trabalhos pioneiros (Gasith, 1976). Este aporte extra pode questionar a validade dos resultados de quantificação do transporte da coluna de água aos sedimentos. A composição do material sedimentado muda consideravelmente uma vez que se incorpora aos sedimentos devido aos processos químicos e biológicos. Este fato possibilita a sua distinção do material recém produzido e que sedimenta pela primeira vez.

A comparação da composição química das partículas coletadas na coluna de água, pelas armadilhas e da camada superficial dos sedimentos (fonte potencial da ressuspensão) pode servir para distinguir e quantificar a ressuspensão.

A análise microscópica do material coletado nas armadilhas também pode ser de utilidade na identificação de períodos de ressuspensão nos quais é comum encontrar *pelets* fecais de organismos bentônicos ou esporos de resistência fitoplanctônicos.

Outros métodos para a diferenciação da ressuspensão resumidos por Blomqvist, *et al.* (1990), baseiam-se no uso de 1- traçadores, tais como pigmentos já degradados (p. ex. fucoxantina), aminoácidos (os quais ficam comparativamente mais ricos em glicina que os da coluna de água). 2- elementos biologicamente inertes e suas razões (Al, Cs, Mn, K, Rb, etc.). 3- substâncias radioativas de origem terrestre ou elementos transportados pela atmosfera (PCBs, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb). 4- razões entre isótopos estáveis (^{13}C , ^{15}N) de origem terrestre ou antropogênico. 5- substâncias de origem terrestre ou litoral, tais como lignina ou compostos orgânicos específicos, biosintetizados por macrófitas ou diatomáceas bentônicas (p. ex. ácidos graxos).

A quantificação da ressuspensão é sem dúvida necessária para a estimativa o mais precisa possível, do fluxo vertical da coluna de água para os sedimento. Os melhores resultados serão obtidos utilizando-se vários métodos simultaneamente e com o acompanhamento contínuo de variáveis ambientais e climatológicas que permitam a identificação dos períodos mais favoráveis para a ocorrência desta.

- Decomposição

O material orgânico que está sendo depositado nos sedimentos encontra-se em distintos estágios de decomposição. Aquele material interceptado pela armadilha continuará a se decompor, modificando as características originais em especial se o tempo de exposição é prolongado. Gundersen (1990), estimou a perda do 83-98% do ^{14}C da matéria orgânica marcada, adicionado as armadilhas em 3-6 dias e recomendou o uso de preservantes ou venenos, sendo que o formaldéido reteve mais carbono orgânico particulado que o clorofórmio. Porém o formaldéido pode contaminar as análises de carbono orgânico particulado e nitrogênio orgânico particulado. Por outro lado Callieri *et al.*, (1991) comparou o conteúdo das armadilhas com preservante e sem este, após sua exposição durante sete dias num lago oligotrófico, não achando diferenças entre elas no conteúdo de matéria orgânica ou no número de bactérias.

- Fixação e entrada de organismos.

A fixação do perifiton e organismos incrustantes pode causar grande alteração no material depositado nas armadilhas. Estes podem se fixar no próprio receptáculo ou nas cordas e bóias acima da sua boca. As cordas da maioria dos conjuntos de sedimentação representam um caminho direto que leva os organismos mortos e os produtos metabólicos da sua atividade até o tubo de sedimentação. Estes inconvenientes podem ser evitados mediante tempos curtos de exposição e desenhos de armadilhas que não precisem dos elementos mencionados colocados acima do tubo de sedimentação.

A entrada de organismos nadadores também pode ser uma fonte de erro. Os organismos do zooplâncton principalmente podem entrar na armadilha para se alimentar do material concentrado no seu interior e também excretar, contaminando com fezes o material depositado. Gundersen (1990), aponta alguns métodos para resolver este problema, entre os quais pode-se destacar: 1- evitar o seu ingresso, mediante redes de malha entre 200-300 μ m colocadas no interior da armadilha. Estas não permitiriam a passagem dos organismos, mas também não de partículas ou agregados maiores. Por outro lado, organismos menores a este tamanho poderiam passar. Coale (1991), propõe o uso de uma armadilha cilíndrica que em seu interior tem uma série de funis e espaços abertos formando um labirinto, onde as partículas que sedimentam passivamente são segregadas dos organismos que nadam ativamente. Segundo o próprio autor este mecanismo tem sido utilizado com sucesso diminuindo consideravelmente o número de organismos do zooplâncton nas amostras. 2- o segundo método consiste na retirada manual dos organismos diretamente do filtro. Isto se realiza sob a lupa de dissecação imediatamente após a filtração. As desvantagens são, a demanda de tempo, a retirada de material junto aos organismos e a dificuldade de se retirar os organismos gelatinosos.

Em todo caso a maioria dos autores recomendam o uso de algum método para descontar os aportes de materiais provenientes do zooplâncton vivo. Segundo a

revisão da literatura de Gudersen (1990), a superestimativa produzida pela não retirada dos organismos nadadores pode representar 39% do carbono orgânico particulado, 52% do nitrogênio orgânico particulado e entre 7-19% do peso seco total.

1.3 - OBJETIVOS.

- **Objetivo geral.**

Este trabalho tem por objetivo, o estudo da dinâmica vertical dos nutrientes particulados, em dois reservatórios de diferente estado trófico. Determinar a origem principal dos nutrientes e os mecanismos de transformação e acumulação final nos sedimentos, com ênfase na ciclagem do fósforo particulado.

- **Objetivos específicos.**

- 1- Determinar os aportes de materiais da coluna de água para os sedimentos.
- 2- Determinar as frações do fósforo total particulado no material recém sedimentado e sua relação com a origem, acumulação e carga interna potencial.
- 3- Relacionar os pontos anteriores com as principais funções de força: vento, precipitação, tempo de retenção e vazão.

2- ÁREA DE ESTUDO

Os ambientes estudados estão localizados no centro do Estado de São Paulo e ambos formam parte da Bacia do Rio Tietê (fig.1). Porém estes ambientes são muito diferentes em tamanho, vazão e usos e ocupação de suas bacias. O clima da região é pode definido como tropical, com períodos bem marcados segundo o regime de pluviosidade, seco de maio a outubro e úmido de novembro a abril. A temperatura média anual é de 21°C e a precipitação média anual está em torno de 1500 mm, sendo nos meses mais secos inferior a 30 mm.

- Reservatório do Broa.

O reservatório do Broa (22°15' S, 47°49' O) foi construído em 1936 com a finalidade de produção de energia e suas características gerais são apresentadas na tabela 1. A bacia de drenagem encontra-se a uma altitude média de 700 m, ocupando uma área de 6.8 km², sendo que e seus principais tributários são os rios Do Lobo e Itaquerí, Geraldo e Perdizes (fig. 2).

O tipo de solo predominante na bacia é Areia Quartzosa Vermelho Amarela Distrófica Álica A Fraco. Este solo distribuí-se nas maiores áreas das sub-bacias dos rios Itaquerí, Do Geraldo e Perdizes. Segue-lhe em extensão o solo tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Álico A Fraco de Textura Arenosa. Este solo, ocupa a maior superfície da bacia do rio Do Lobo e parte da do Córrego Limoeiro Água Branca. O

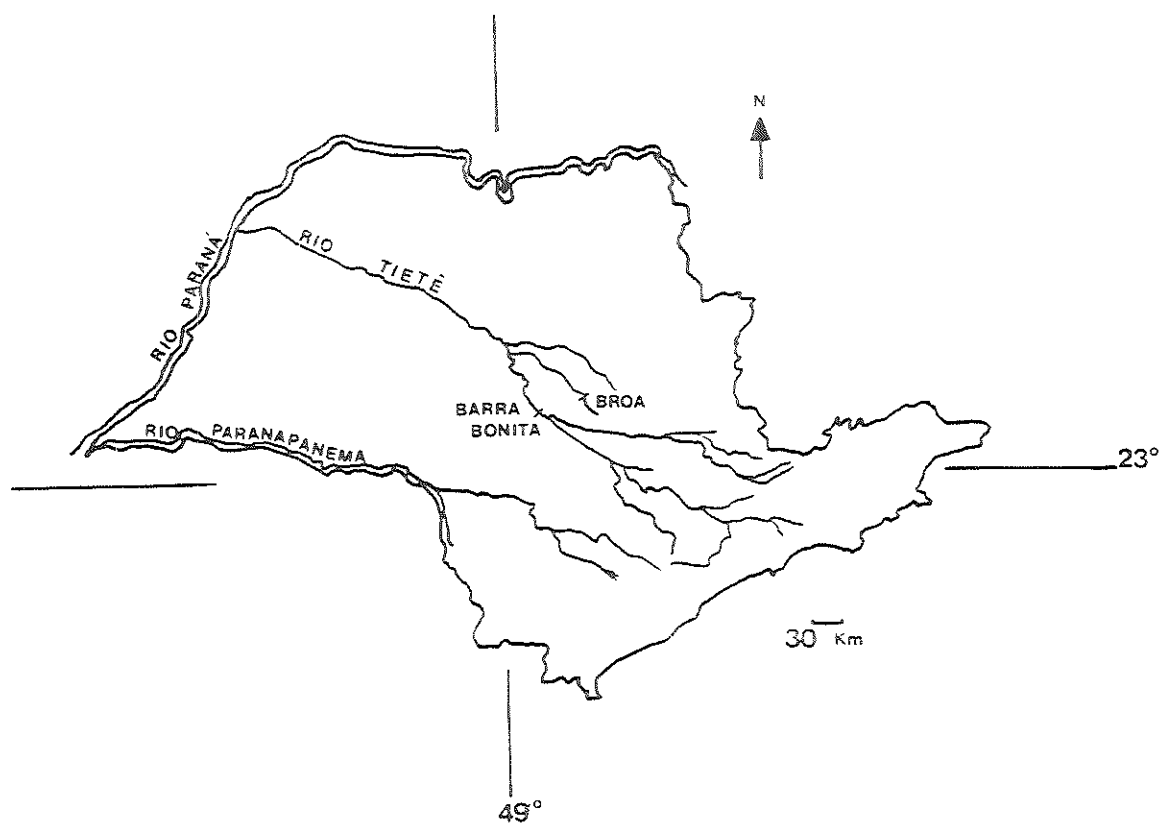


Figura 1. Localização do reservatório do Broa e Barra Bonita no estado de São Paulo, Brasil.

terceiro tipo de solo encontrado na bacia do Broa corresponde a Terra Roxa Estruturada Latossólica Eutrófica e Distrófica A Moderado de textura média e argilosa. Este solo encontra-se principalmente nas nascentes dos rios Do Lobo, Itaqueri e Limoeiro Água Branca. Outros tipos de solo encontrados na bacia em menor proporção são os solos Hidromórficos, Orgânicos, Regossolos, Litolíticos e Podzólicos.

A partir deste mapeamento podem ser destacadas as seguintes propriedades dos solos segundo o Manual de Classificação de solos do Brasil (Prado, 1995). 1- A areia Quartzosa é um tipo de solo profundo, muito friável que apresenta textura arenosa ao longo do perfil em pelo menos 2m desde a superfície e virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração grosseira. 2- O Latossolo é um solo profundo muito friável e poroso. 3- A Terra Roxa tem uma coloração vermelho escura, são solos geralmente profundos, com teores de argila que não variam muito em profundidade e teores de ferro total superiores a 15%. 4- As cores Vermelho-Amarelas, são determinadas pelos teores de ferro. Nestes solos de textura arenosa ou média utiliza-se a relação Al_2O_3/FeO_3 a qual deve ser maior a 3.14 para diferenciá-los de Latossolos Vermelho-Escuros. 5- A característica Distrófica e Eutrófica é dada pelo valor de saturação de bases no horizonte B, sendo que no caso de Distrófica o valor é menor a 50% e ao mesmo tempo o valor de saturação por alumínio é inferior a 50%. No caso de Eutrófica a saturação por bases é maior a 50% no horizonte B. 6- A característica Álica significa que o valor de saturação por alumínio (m) é superior a 50% no horizonte B, conseqüentemente a saturação por bases (cálcio, magnésio, potássio e sódio) é baixa.

Os estudos limnológicos na bacia e no reservatório do Broa têm-se desenvolvido desde a década de 70 e formam parte do programa “The Lobo-Broa Ecosystem Research” que tem por objetivo o aprofundamento no estudo da bacia e do reservatório a longo prazo (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1995). Neste último trabalho os autores sintetizam as informações obtidas até o presente, dentre as quais se destacam, 1- a subdivisão do reservatório em a) cabeceira, onde descarregam os rios Lobo e Itaqueri. b)

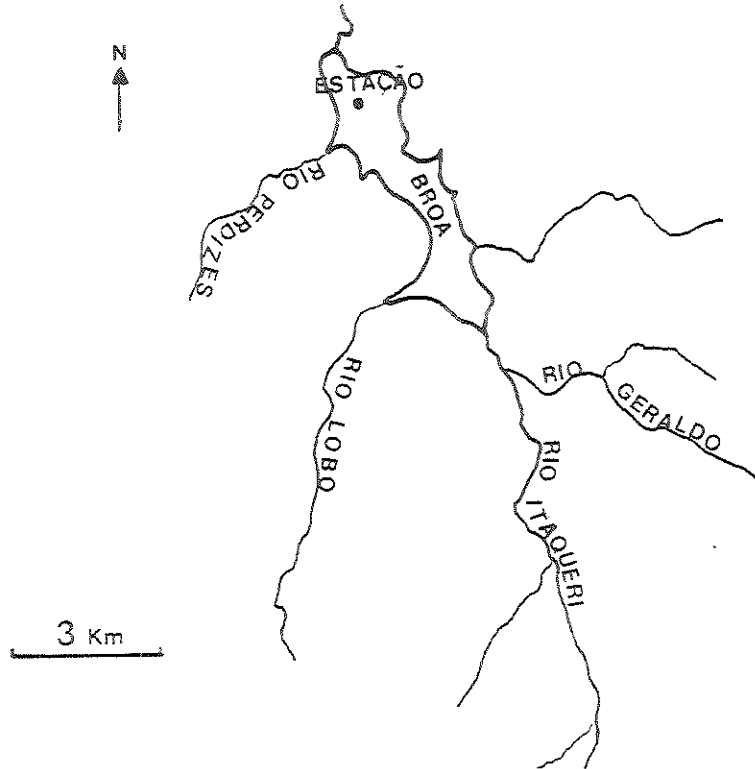


Figura 2. Reservatório do Broa e seus principais afluentes. Localização da estação de coleta.

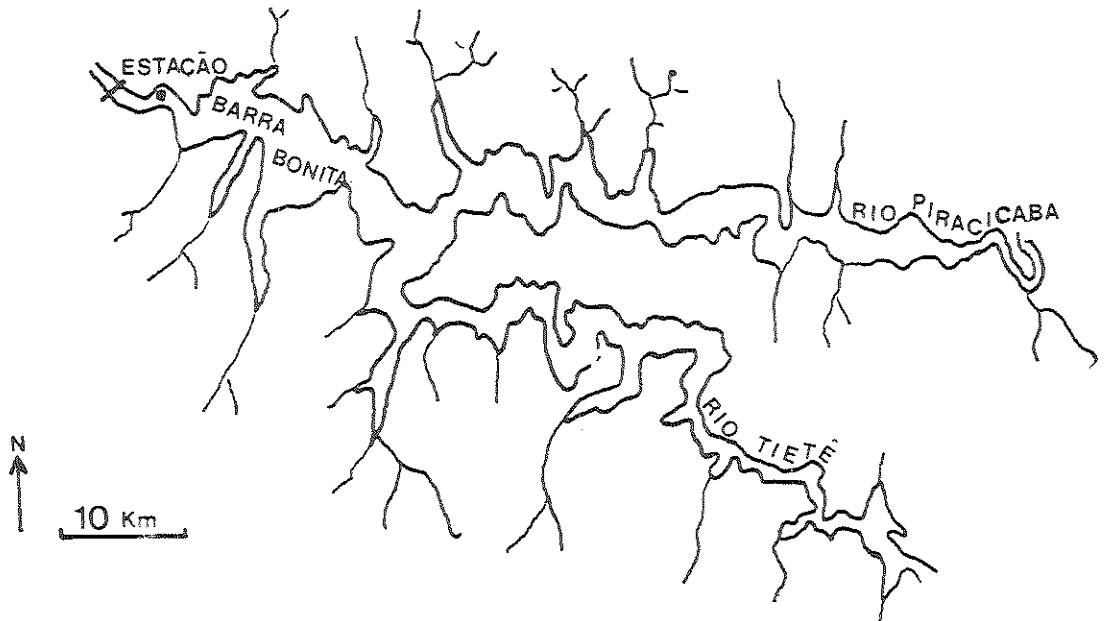


Figura 3. Reservatório de Barra Bonita e seus principais afluentes. Localização da estação de coleta.

a região baixa de maior profundidade e polimictica. 2- importância da precipitação (aporte de nutrientes) e do vento (ressuspensão e reciclagem de nutrientes) na variação sazonal da produção primária. 3- importância do vento (oxigenação e mistura da coluna d'água) na manutenção de baixos valores de P dissolvido na água, o que leva a uma limitação da produção primária por este nutriente.

Tabela 1. . Características morfométricas do reservatório do Broa.

Comprimento Máximo	8.0 km
Largura Máxima	2.0 km
Largura Média	0.9 km
Profundidade Máxima	12.0 m
Profundidade Média	3.0 m
Área Superficial	6.8 km ²
Perímetro	21.0 km
Volume	22 x 10 ⁶ m ³

- Reservatório de Barra Bonita.

O reservatório de Barra Bonita (22°29' S, 48°34' O) foi construído em 1963 também para a produção de energia, sendo suas características gerais apresentadas na tabela 2. A bacia de drenagem tem uma extensão de 32 330 km² e seus principais tributários são os rios Tietê e Piracicaba (fig 3). Estes recebem a contribuição nos seus trechos iniciais de um grande número de núcleos urbanos densamente povoados e industrializados dentre os quais se destacam São Paulo, Campinas e Piracicaba.

A geologia da bacia, devido a seu grande tamanho é muito diversa, porém o tipo de rocha predominante é o basalto. Os principais tipos de solos são, o Latossolo Roxo

Eutrófico e Distrófico de textura argilosa e o Brunizem Avermelhado Argiloso. Segundo do Prado (1995), o primeiro caracteriza-se por ser um solo profundo, friável ou muito friável, que apresenta uma forte atração magnética devida ao alto teor de ferro (entre 18-36%). As características eutróficas e distróficas são as mesmas discutidas para o reservatório do Broa. Os solos Brunizem Avermelhado são identificados por terem um horizonte A Chernozêmico sobrejacente ao B textural. Este horizonte A apresenta cor escura, um elevado valor de saturação por bases e teores altos a médios de matéria orgânica. Também possui uma elevada capacidade de troca de catiônica devido ao alto teor de argila pelo qual predominam os cátions, cálcio, magnésio e potássio e conseqüentemente o teor de alumínio é próximo a zero.

O reservatório de Barra Bonita localiza-se na região do Médio Tietê, a uma altitude de 430 m. Na parte media do Vale do Tietê o solo é ocupado principalmente pela monocultura da cana de açúcar (mais de 1140 km²). A geologia da área situada a montante do reservatório corresponde à Formação Botucatu. Os tipos de solos que se desenvolvem dela, segundo Prado (1995) são: 1- Areia Quartzosa Distrófica ou Álica A Fraco. 2- Areia Quartzosa Podzólica Distrófica ou Álica A Fraco e 3- Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico ou Álico A Fraco ou Proeminente textura média. As principais características destes tipos de solos já foi comentada e destacam-se os teores relativamente altos de ferro e alumínio.

As pesquisas limnológicas neste reservatório datam do ano 1979 no marco do projeto “Tipologia de represas do Estado de São Paulo” a partir do qual vem-se trabalhando quase sem interrupção (Tundisi *et al.*, 1988). Todos os estudos realizados neste reservatório ressaltam a alta carga orgânica dos aportes e a conseqüente liberação de nutrientes, o que tem conduzido a um acelerado processo de eutrofização, com grandes *blooms* de cianofíceas e proliferação de macrófitas (Calijuri & Tundisi, 1990).

Tabela 2. Características morfométricas do reservatório de Barra Bonita.

Perímetro	525 km
Profundidade Máxima	30 m
Profundidade Media	10 m
Área Superficial	310 km ²
Volume	3 160 x 10 ⁶ km ³

3- METODOLOGIAS

3.1- LOCAL DE COLETA

As estações de coleta foram estabelecidas, na porção limnética inferior dos reservatórios, na área próxima às barragens (a 1km no Broa e a 3km em Barra Bonita, (figuras 2 e 3). Foram realizadas seis coletas em cada reservatório, nos meses de junho e outubro de 1995, março, maio (Broa)-junho (Barra Bonita), setembro e dezembro de 1996.

3.2- COLETA DE AMOSTRAS

- Determinação das taxas de sedimentação.

As taxas de sedimentação de sólidos totais, matéria orgânica, inorgânica, Clorofila α , nitrogênio, fósforo, cálcio, ferro, manganês e alumínio, foram estimadas mediante seis (réplicas) armadilhas de sedimentação cilíndricas, de razão de aspecto alta (altura:diâmetro \cong 10) e 4.7 cm de diâmetro interno. A instalação das mesmas foi feita segundo a metodologia de ancoragem proposta por Horng & Horng (1990) (fig. 4) que apresenta as seguintes vantagens respeito a outros desenhos: 1- não existe nenhum objeto acima da armadilha onde os organismos possam fixar-se, 2- não é afetada pela ação superficial do vento ficando sempre vertical e evitando os movimentos que poderiam

ressuspender o material que já sedimentou. 3- fácil instalação e recuperação, sem perturbar os sedimentos.

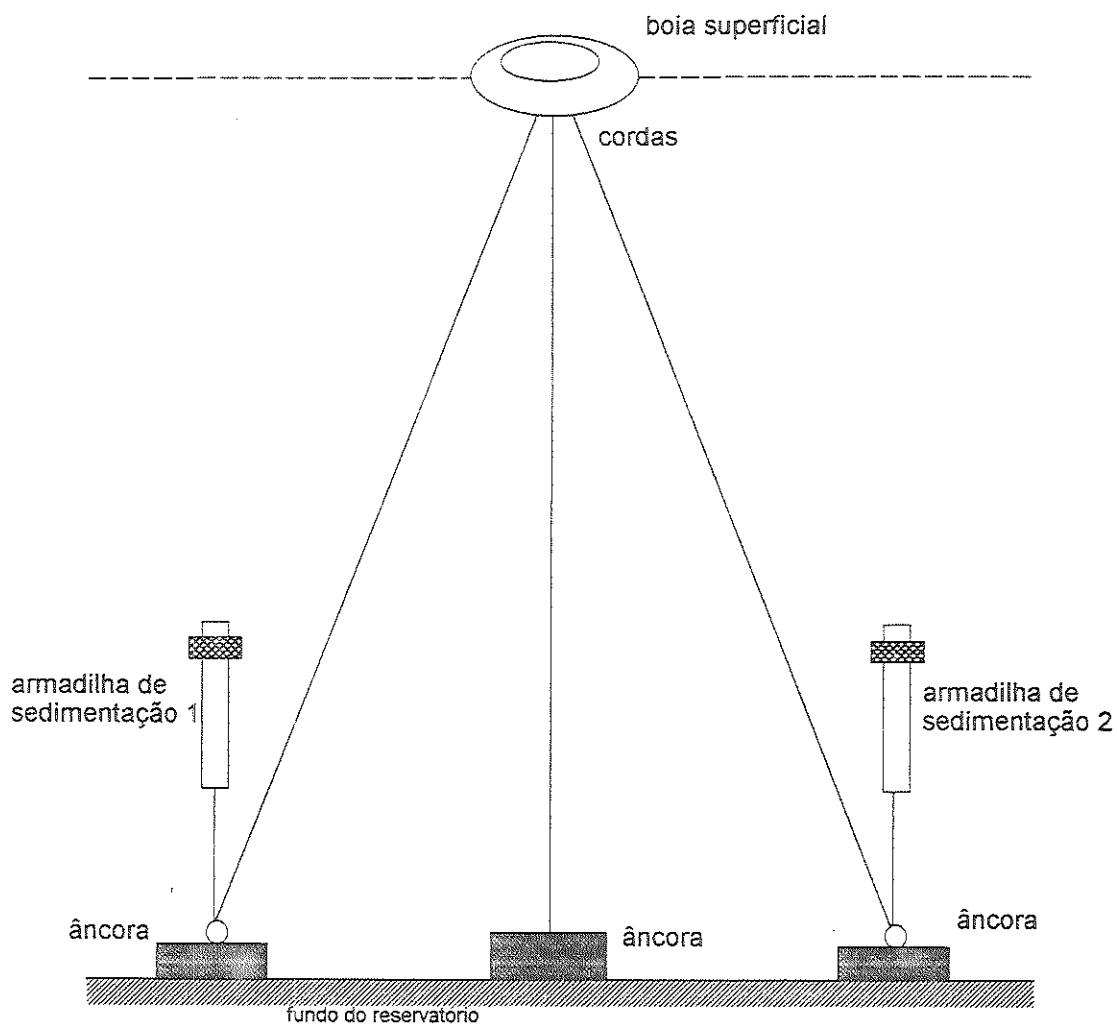


Figura 4. Instalação das câmaras de sedimentação segundo a metodologia proposta por Hornig & Hornig (1990).

As armadilhas foram colocadas a 2 m do fundo durante um tempo curto de exposição (48 horas), preenchidas inicialmente com água destilada. Passadas as 48h o

conteúdo total de cada armadilha foi colocado dentro de um frasco plástico para ser levado até o laboratório.

- Determinação das características físicas e químicas da água.

Foram realizadas entre três e sete coletas durante o tempo de exposição das armadilhas. A primeira coleta foi realizada na hora da instalação do experimento, geralmente de manhã e a última ao serem retiradas as armadilhas. As coletas intermediárias foram distribuídas a intervalos de tempo regulares, sempre que possível. Em cada coleta foram medidos *in situ* a profundidade do disco de Secchi e a cada um metro de profundidade, a temperatura, condutividade, pH e oxigênio mediante um multi sensor Horiba U-10. Também foram coletadas amostras de água da coluna, na superfície, três vezes a profundidade do disco de Secchi (final da zona eufótica) e perto do fundo, mediante garrafa tipo Van Dorn Para a determinação de metais, somente foram tomadas amostras na primeira coleta, nas três profundidades.

- Caracterização dos sedimentos.

As coletas de sedimento foram realizadas com um amostrador tipo Kajak nos meses de março, maio(Broa)-junho (Barra Bonita) e setembro de 1996, em cada estação de coleta.

No reservatório do Broa no momento da retirada dos testemunhos (sempre no mesmo ponto de coleta), observou-se a presença de uma camada de grama no final do tubo. Devido a este fato vários testemunhos foram coletados para a medição da altura desde a superfície do sedimento até o início da presença de gramíneas. O limite de gramíneas foi determinado visualmente e medido antes da extração do sedimento do tubo de acrílico e no momento do seccionamento. Neste momento foram delimitadas as seguintes camadas: 1-Sedimentos de origem fluvial, 2- de restos de gramíneas terrestres

(palitos, raízes) junto a sedimentos mais compactos e 4- areia. Provavelmente devido a que o amostrador empregado não conseguiu penetrar nesta última camada, só foi analisado seu primeiro centímetro no testemunho de setembro.

Devido à compactação do sedimento ao extraí-lo do tubo os cortes revelaram o início das gramíneas alguns centímetros mais acima do observado antes da extração, esta compactação foi estimada em média de aproximadamente 4cm.

No reservatório de Barra Bonita também foram retirados vários testemunhos mas nunca foi observado nenhuma camada diferente.

3.3- ANÁLISES DE LABORATÓRIO

- Água e material sedimentar.

As amostras de água foram imediatamente sub-amostradas para quantificação de PT e NT e filtradas para as análises das formas dissolvidas. As subamostras foram congeladas (-15°C) por um tempo sempre menor a três meses, até o momento das análises. As subamostras tomadas para a determinação de metais na coluna de água foram fixadas com HNO₃ concentrado (diluição final, 1/1000). As amostras de cada armadilha foram tratadas da mesma forma que as coletadas na coluna, exceto pelos volumes filtrados e que a determinação dos metais foi realizada no material retido no filtro de uma amostra integrada das replicas das armadilhas. Os filtros foram mantidos congelados (-15 °C) até sua determinação (máximo de dois anos). Para a determinação do material suspenso e suas frações orgânica e inorgânica assim como para o fracionamento do fósforo e análises de metais, foram utilizados filtros Millipore GF/c (tamanho aproximado de poro, 0.45µm) previamente lavados e calcinados a 500 °C. Para a determinação da clorofila foram utilizados filtros AP-20 os quais foram imediatamente congelados após a filtração e mantidos no escuro.

A determinação de MST, MSO e MSI da água e do material total sedimentado nas armadilhas, foi feita gravimetricamente com balança analítica, por diferença de peso a 100 e 500 °C segundo. Para a quantificação do material coletado nas armadilhas, logo após a filtragem, foram retirados dos filtros os organismos zooplanctônicos mediante inspeção do filtros sob lupa e agulha de dissecação.

As determinações de PT e PTD foram realizadas mediante digestão ácida com H₂SO₄ e persulfato de potássio no autoclave, neutralização e posterior análise do ortofosfato pelo método do azul de molibdenio (APHA, 1995). O fósforo total particulado (PTP) foi estimado pela subtração do PTD ao PT. O NT foi determinado pelo método de Kjeldahl (APHA, 1995), mediante o equipamento Büchi de destilação e titulação automática, modelos 322, 435 343 e 412. O NTP foi estimado subtraindo a concentração de nitrogênio da amostra filtrada da amostra sem filtrar.

O conteúdo de carbono total dissolvido, carbono inorgânico dissolvido e carbono orgânico dissolvido foi determinado nas amostras filtradas, mediante um analisador de carbono, TOC 5000 Shimadzu

As análises de cálcio, ferro e manganês foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica e a do alumínio com espectrômetro de emissão atômica. Todas as amostras empregadas para a determinação dos metais totais na água (sem filtrar), material particulado coletado nas armadilhas (retido no filtro) e nos sedimentos (secos e homogeneizados), foram previamente digeridas numa solução ácida de 100ml de amostra ou água deionizada e 5ml de HNO₃ concentrado, segundo o procedimento descrito no APHA (1995).

A concentração de clorofila *a* foi determinada mediante extração com etanol quente durante cinco minutos, sendo que, a extração, continuou na geladeira por 24 hrs.(Moed & Hallegraef, 1978; Nush, 1980). Passado este tempo foram lidas as

absorbâncias a 665 e 750 nm sem acidificar e com acidificação e calculadas as concentrações segundo as equações:

$$CLa = 27.9 * (Eb - Ea) * V$$

$$Feo.Pig = 27.9[(1.7 * Ea) - Eb] * V$$

Onde: E_b = absorbância a 665nm - absorbância a 750nm (sem acidificação)

E_a = absorbância a 665nm - absorbância a 750nm (com acidificação)

V = vol. de etanol usado para à extração / volume de amostra filtrado * recorrido ótico da cubeta.

- Análises dos sedimentos.

Um dos testemunhos coletados foi levado ao laboratório e cortado em fatias de um centímetro que foram armazenados em placas de Petri. Em cada centímetro foi determinada a densidade, conteúdo de água, matéria orgânica e inorgânica. Posteriormente os sedimentos foram congelados (-15°C) até a determinação do PT e NT (tempo de armazenamento inferior a 3 meses).

Nas coletas de sedimentos de março e setembro foi determinada a concentração de metais totais (Ca, Fe, Mn e Al) nos primeiros centímetros e nas camadas mais profundas. Nestes meses também foram determinadas as diferentes frações de fósforo nos sedimentos superficiais. Nestes testemunhos também foi determinado o conteúdo de carbono total nos primeiros 10 centímetros, mediante um analisador de carbono, TOC 5000 Shimadzu acoplado a um incinerador para sedimentos.

A densidade dos sedimentos frescos foi determinada gravimetricamente em balança analítica medindo a diferença de volume dentro de uma proveta com água destilada.

O conteúdo de água, MO e MI foi determinado por diferença de peso fresco, a 100°C e 500°C. A determinação do PT foi realizada em aproximadamente 0.2g de sedimento fresco o após seu descongelamento em 50 ml de água, mediante digestão ácida com H₂SO₄ e persulfato de potássio na autoclave, centrifugação, retirada do sobrenadante e neutralização, para posterior análise do ortofosfato pelo método do azul de molibdenio. O NT foi determinado na amostra fresca ou imediatamente após seu descongelamento pelo método de Kjeldahl mediante o equipamento Büchi, já descrito para as análises de água.

- Fracionamento de fósforo.

Precauções

A análise deve ser feita nas amostras frescas o mais rapidamente possível, se o armazenamento não pode ser evitado as amostras devem ser mantidas a 4 °C (o congelamento das mesmas muda irreversivelmente as características originais), durante as análises a temperatura não pode exceder os 25 °C .

Procedimento.

Uma subamostra de 100 ml do material coletado na armadilha foi filtrada com filtro GFc previamente lavado com HCl 0.1N, enxaguado com H₂O destilada e calcinado a 500 °C. Uma vez filtrada a subamostra, os organismos zooplanctônicos foram retirados do filtro, debaixo de lupa. O material retido no filtro foi submetido a uma extração seqüencial segundo se apresenta no esquema da figura 5.

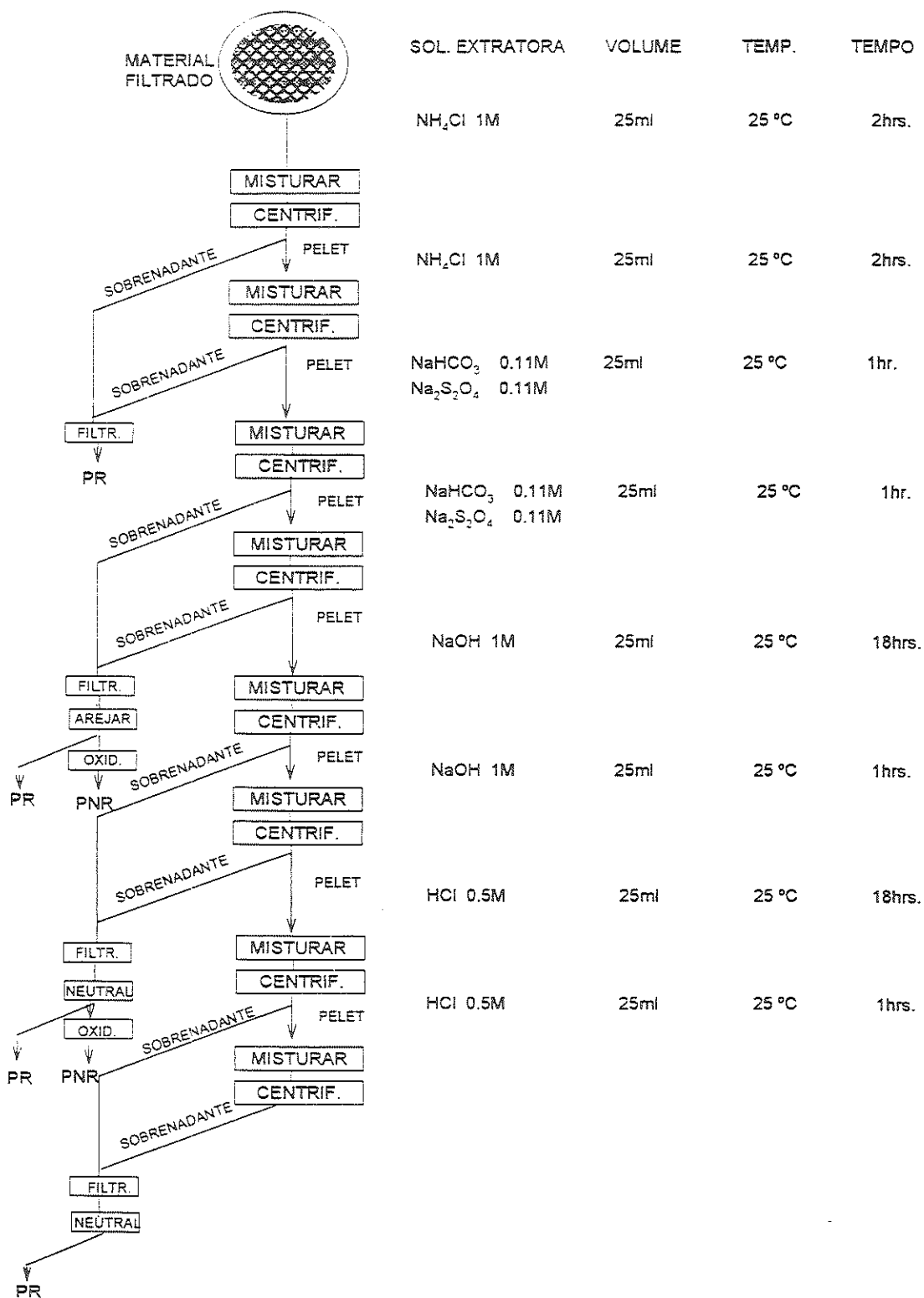


Figura 5. Esquema do procedimento para à determinação das frações de fósforo. (adaptado de Psenner *et al.*, 1988).

As frações analisadas foram:

- A- Extração com NH_4Cl . 1M a pH neutro (PR- NH_4Cl).
- B- Extração com ditionito de sodio tamponado (*buffer*) (PR-BD-PNR-BD).
- C- Extração com NaOH (PR- NaOH - PNR-NaOH).
- D- Extração com HCl (PR-HCl).
- E- Fósforo residual (P-res).É a diferença entre o fósforo total e a soma do fósforo reativo extraído nas frações A-D.

3.4- CÁLCULOS E ANÁLISES ESTATÍSTICOS

O cálculo da sedimentação total bruta, foi realizado segundo a equação:

$$\text{SF} = P / A t$$

Onde: SF ($\text{mg m}^2 \text{ dias}^{-1}$) é o peso do material (sólidos totais, matéria orgânica, fósforo , etc.) dentro da armadilha, calculado multiplicando-se o volume da armadilha (L) pela concentração da variável dentro da mesma (mg L^{-1}). A é a área da armadilha (m^2). t- tempo de exposição (dias).

A ressuspensão foi estimada segundo o método proposto por Gasith (1976), que assume que o material primário, que nunca esteve sedimentado e o material secundário originado por ressuspensão dos sedimentos, podem ser distinguidos a partir de seu conteúdo de alguma substância traçadora. Neste trabalho a substância utilizada foi a concentração de matéria orgânica, temos então que:

$$V_r = V (C_p - C) / (C_p - C_r)$$

Onde: V_r é a taxa de sedimentação da fração ressuspensa, V é a sedimentação total bruta e C , a concentração da matéria orgânica (% peso seco) com os sub-índices p e r , referidos à porcentagem no material primário (% na zona eufótica) e secundário (% na superfície dos sedimentos) respectivamente.

A sedimentação líquida foi calculada subtraindo a ressuspensão da sedimentação total bruta.

As análises estatísticas foram efetuadas mediante o programa "Statística - Stat Soft, Inc.", 1993.

Foi realizada uma análise de correlações múltiplas (r - Pearson), entre as médias das variáveis da zona eufótica e as taxas de sedimentação de cada mês, para os dois reservatórios separadamente, $n=6$ (ANEXOS 1 e 2).

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) de duas vias para o MST e frações e para cada nutriente, visando determinar diferenças significativas entre suas concentrações na zona eufótica e fundo e entre os distintos meses.

Foi realizada uma análise de agrupamentos entre as taxas de sedimentação das variáveis analisadas para cada reservatório separadamente. O método de agrupamento utilizado foi o individual (*single linkage*) e a distância entre os agrupamentos foi medida segundo o coeficiente de correlação de Pearson.

Foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) para cada reservatório com as variáveis da zona eufótica e as taxas de sedimentação líquidas transformadas em porcentagem da sedimentação total.

4- RESULTADOS

4.1 RESERVATÓRIO DO BROA

4.1.1- Caracterização física e química da água

- Variáveis medidas *in situ* e condições hidrodinâmicas durante as coletas.

Neste tópico são apresentados os resultados correspondentes às variáveis: temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, disco de Secchi, vento, chuva e taxa de renovação do reservatório do Broa, nas diferentes coletas realizadas, durante o intervalo de exposição das armadilhas de sedimentação.

Nas figuras 6 e 7 se apresentam a distribuição da precipitação e a velocidade do vento durante o período de estudo (junho de 1995 a dezembro de 1996).

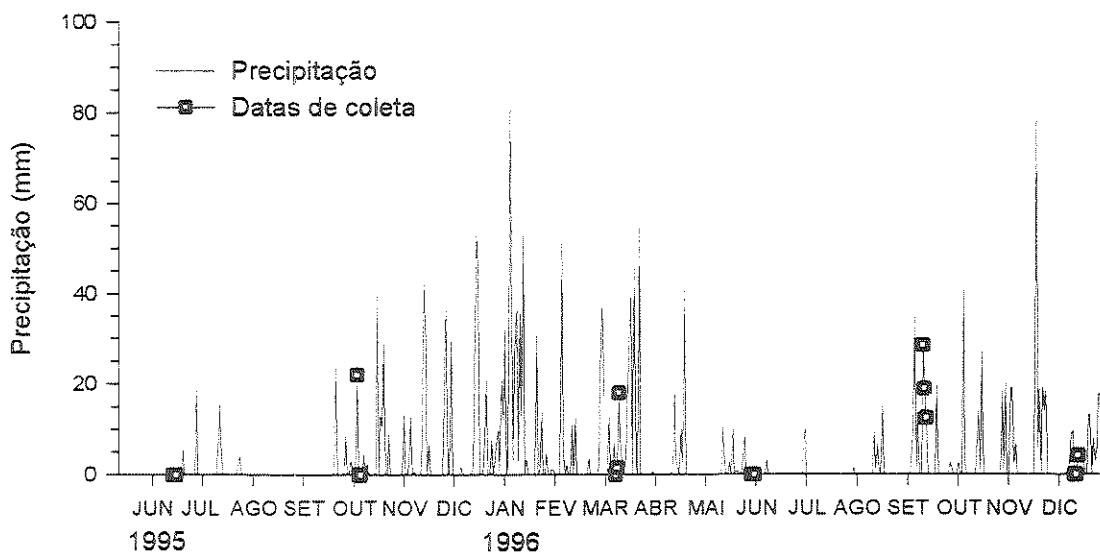


Figura 6. Distribuição da precipitação no reservatório do Broa, ao longo do período de estudo e nas datas de coleta.

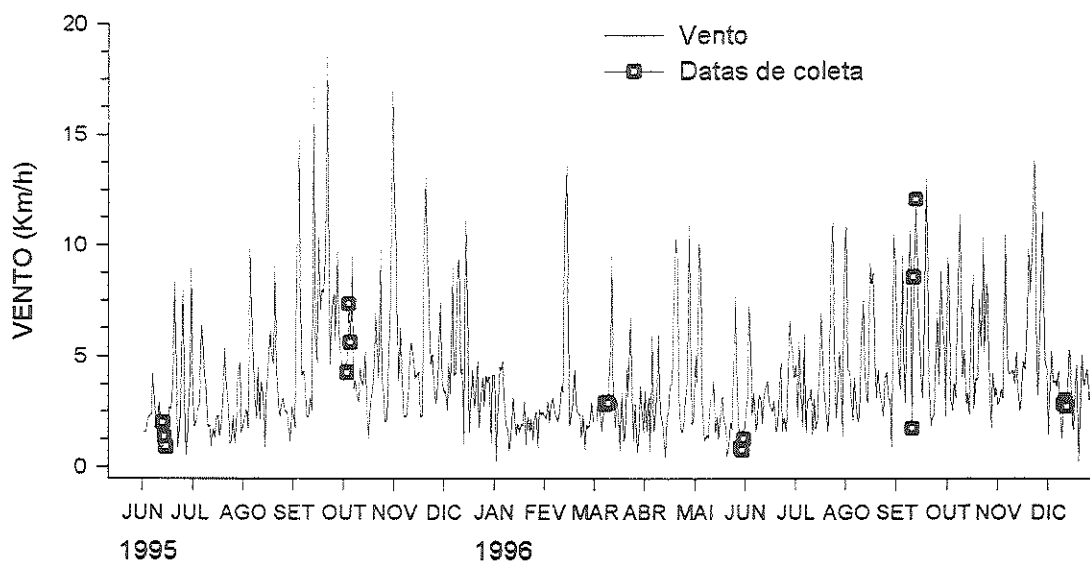


Figura 7. Velocidade do vento no reservatório do Broa, ao longo do período de estudo e nas datas de coleta.

Durante a coleta realizada em junho de 1995 foram feitas sete amostragens da coluna da água (fig. 8). Neste mês não foram observadas variações temporais nem verticais dos parâmetros em questão. A temperatura média da coluna de água foi a menor das registradas neste estudo (18.6 °C). Nas coletas do meio dia (14hrs.), foi observada uma estratificação térmica superficial com uma diferença máxima de 2 °C entre superfície e fundo, esta estratificação térmica temporária, foi favorecida pelo pouco vento durante a coleta (0.9-2.0 Km h⁻¹). A condutividade média da coluna foi de 7.7 $\mu\text{S cm}^{-1}$, o pH registrou uma média de 6, com valores maiores na zona eufótica, e o oxigênio dissolvido 8.5 mg L⁻¹. A profundidade média do disco de Secchi dos três dias, medida ao meio dia foi de 1.8m. Segundo a distribuição da chuva, esta coleta pode ser considerada como representativa da estação seca.

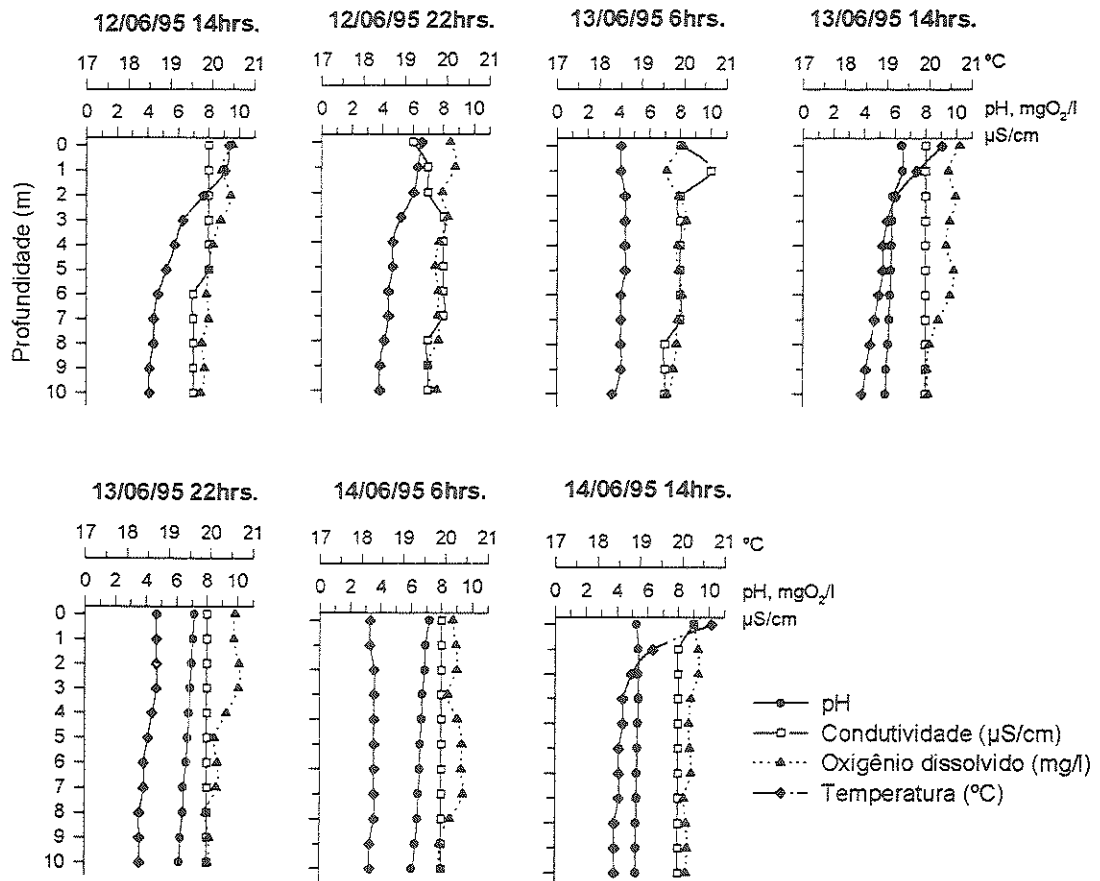


Figura 8. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de junho de 1995.

Na coleta do mês de outubro de 1995, foram realizadas cinco amostragens da água, durante as mesmas não foram registradas variações temporais importantes dos parâmetros de campo (fig. 9). A temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade apresentaram um gradiente vertical. A maior diferença de temperatura entre a zona eufótica e o fundo foi de 5°C (de 26 a 21°C) o que indica que a coluna de água encontrava-se fortemente estratificada, com uma diferença de densidade aproximada de 0.0014 g cm⁻³. Durante a coleta foi registrada uma precipitação de 25 mm e velocidades médias diárias de vento de até 7.5km h⁻¹, mas a estratificação foi confirmada em todas as coletas realizadas durante o período de permanência das armadilhas no fundo do lago. A profundidade do disco de Secchi foi uma das maiores registradas, atingindo 1.9m em média. De acordo com a distribuição da chuva durante o ciclo anual esta coleta poderia ser localizada no início da estação chuvosa.

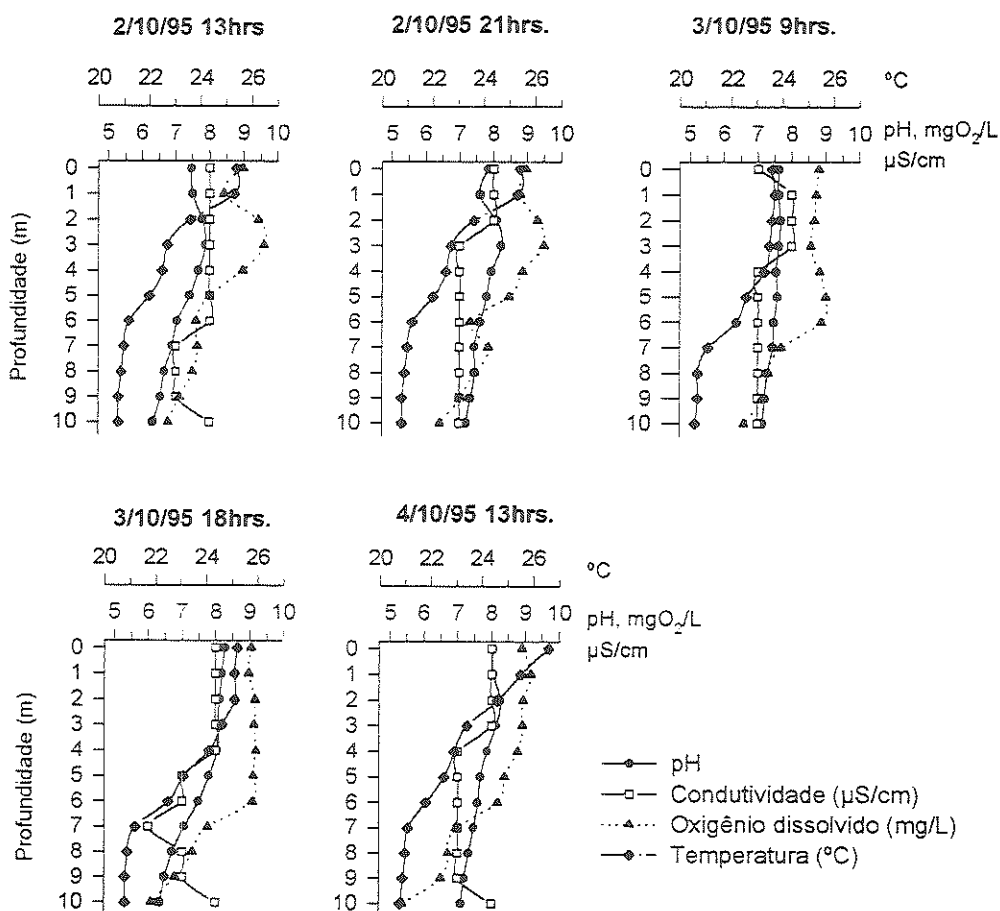


Figura 9. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de outubro de 1995.

Em março de 1996 foram feitas cinco coletas de água, não sendo observadas diferenças verticais nem temporais da temperatura, pH nem da condutividade (fig. 10). O oxigênio dissolvido apresentou uma tendência a diminuir com a profundidade, registrando um gradiente mais acentuado nas coletas de 6/03/96 às 11h e na de dia 7/03/96 às 16h, nesta última se registrou um máximo sub-superficial de 7.2 mg L^{-1} e um mínimo de 3.6 mg L^{-1} no fundo. A temperatura média da coluna de água ($26 \text{ }^{\circ}\text{C}$) foi a maior das registradas neste estudo. A condutividade também foi a maior das registradas, com uma média da coluna de $9 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$. O vento médio diário foi de 2.9 km h^{-1} e a precipitação acumulada durante os três dias de coleta foi de 19.4 mm . Do

início de outubro de 1995 ao final de março de 1996 a precipitação acumulada foi de 1137mm com o máximo de 81.6mm no dia 3/01/96, indicando que a coleta de março de 1996 encontraria-se no final da estação chuvosa. A profundidade média do disco de Secchi foi baixa (1.3m).

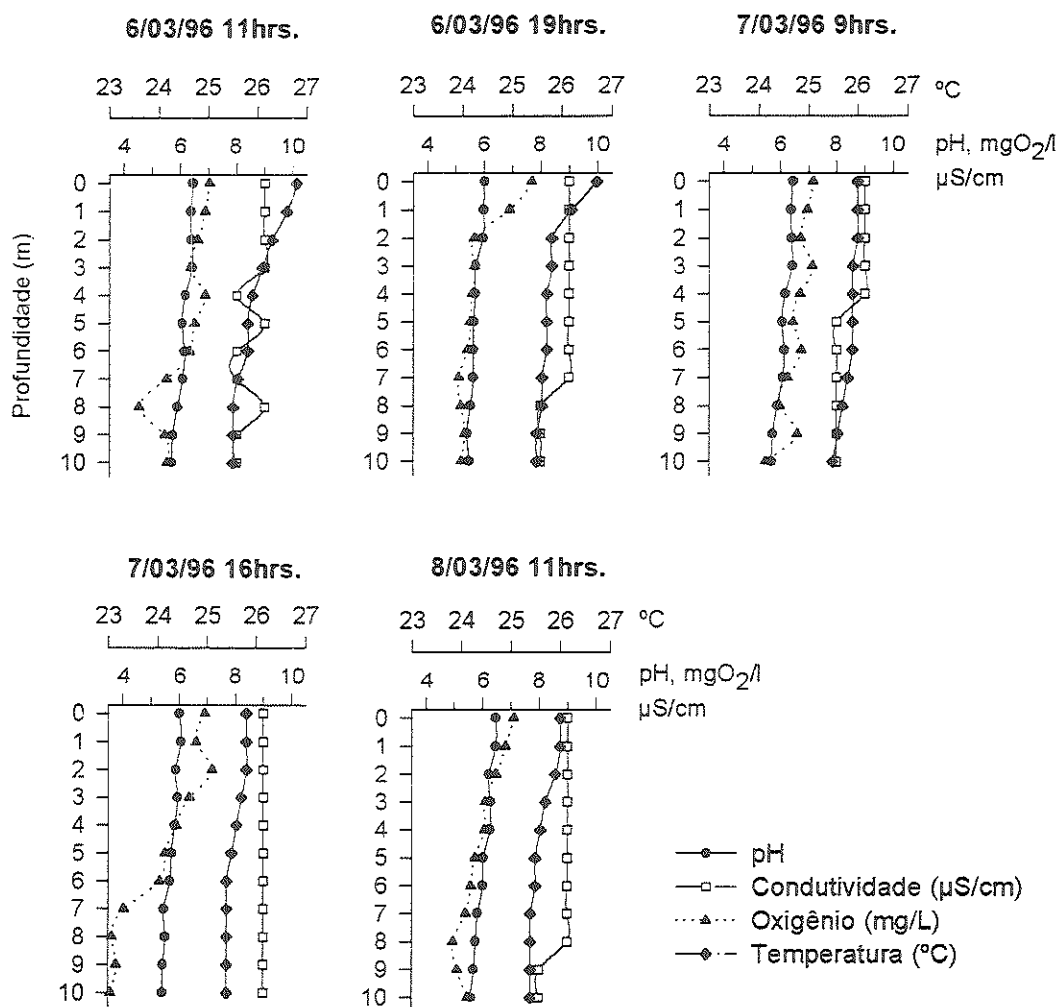


Figura 10. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de março de 1996.

Entre as cinco coletas realizadas entre 27 e 29 de maio de 1996 não foram observadas diferenças temporais importantes dos parâmetros de campo (fig. 11). O pH, oxigênio dissolvido e a temperatura, apresentaram um pequeno gradiente vertical, com valores maiores na zona eufótica e menores no fundo. A transparência de água foi baixa, 1.2m em média. Durante os dias de coleta a velocidade do vento foi baixa (média de 1 km h^{-1}) e não choveu, mas do dia 10/05/96 até o 24/05/96 a precipitação acumulada foi de 40.8mm. Esta amostragem pode ser considerada como de uma situação intermediária entre as épocas de chuva e seca.

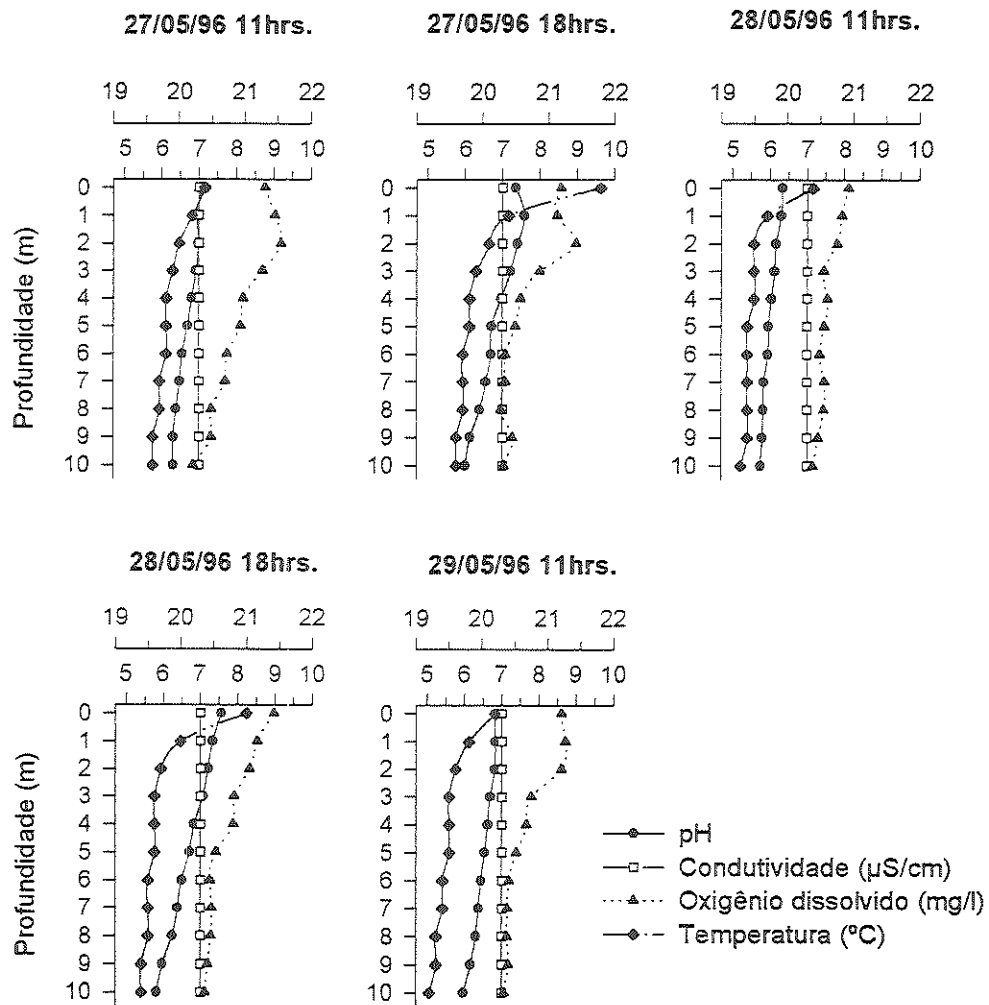


Figura 11. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de maio de 1996.

Em setembro foram realizadas quatro amostragens de água, não sendo observadas variações temporais, nem verticais das variáveis medidas no campo (fig.12). Durante os três dias de coleta foi registrada uma precipitação acumulada de 60.6mm, que somada à precipitação dos dez dias anteriores dá um total acumulado de 126.2mm. A chuva esteve acompanhada de muito vento, que no último dia de coleta atingiu uma média de 12Km h^{-1} . Segundo estes dados, a coluna de água neste mês caracterizou-se por se apresentar bem misturada e a coleta pode ser considerada como de início da estação chuvosa. A transparência de água foi baixa com uma média de 1.3m de profundidade do disco de Secchi.

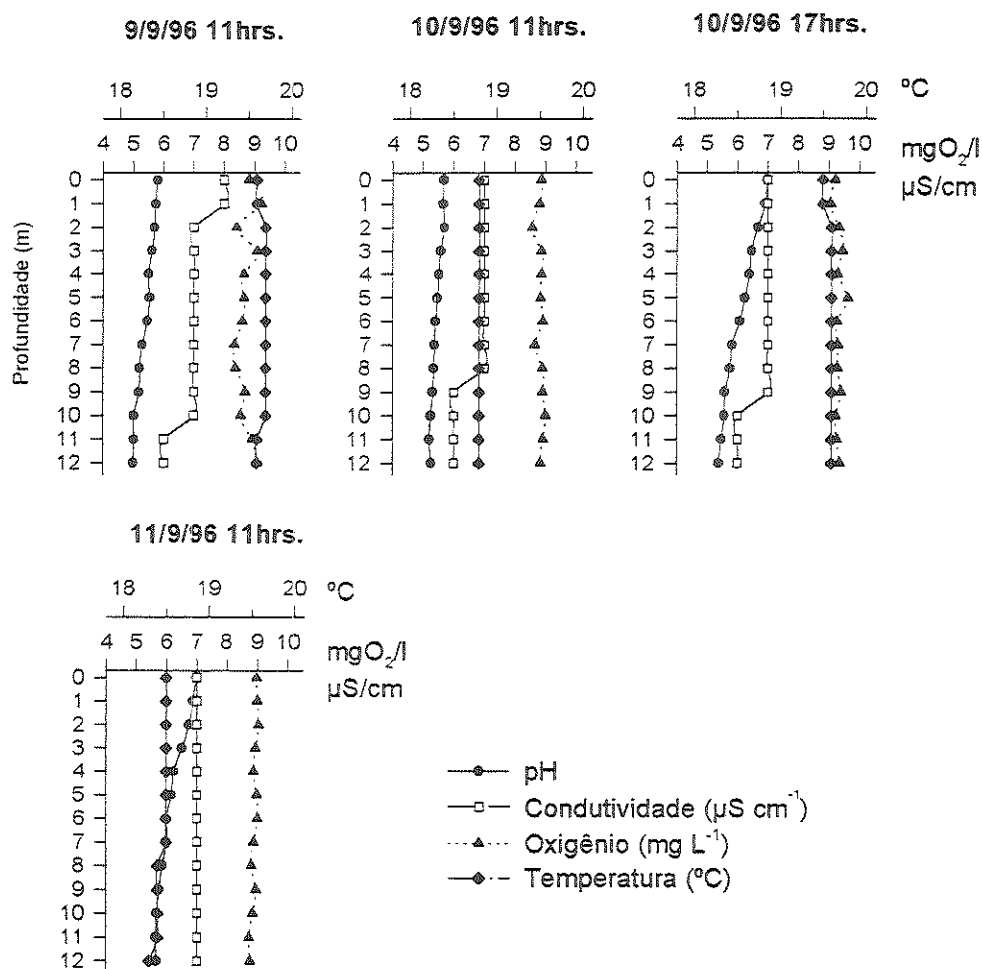


Figura 12. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de setembro de 1996.

Em dezembro foram realizadas três coletas de água durante o tempo de exposição das armadilhas (fig. 13). Nas mesmas foi observado um forte gradiente vertical da temperatura e do oxigênio dissolvido. A temperatura registrada na superfície (29 °C), foi a máxima deste trabalho, enquanto que no fundo foi de 23 °C, representando uma diferença de densidade de 0.0014 g cm⁻³. O perfil do oxigênio dissolvido foi do tipo clinogrado, com o máximo na superfície (9 mg L⁻¹) e mínimo no fundo (1 mg L⁻¹). O pH teve pouca variação vertical, com uma leve tendência a

diminuir com a profundidade, com uma média superficial de 6.9 e 5.6 no fundo, enquanto que a condutividade teve o comportamento inverso (7 na superfície e 9 $\mu\text{S cm}^{-1}$, no fundo). A profundidade do disco de Secchi foi de 1.4m, mas diferente das outras coletas esta foi medida no horário da manhã, pelo qual deve estar subestimada. No último dia de coleta foi registrada uma precipitação de 4 mm. Segundo se observa na figura (chuva) a precipitação acumulada desde a coleta de setembro a esta foi de 389mm. O vento médio registrado durante os três dias foi baixo (2.9 km h^{-1}). Segundo estes dados a coleta pode ser considerada como de meados da estação chuvosa sendo que o ambiente se encontrava estratificado.

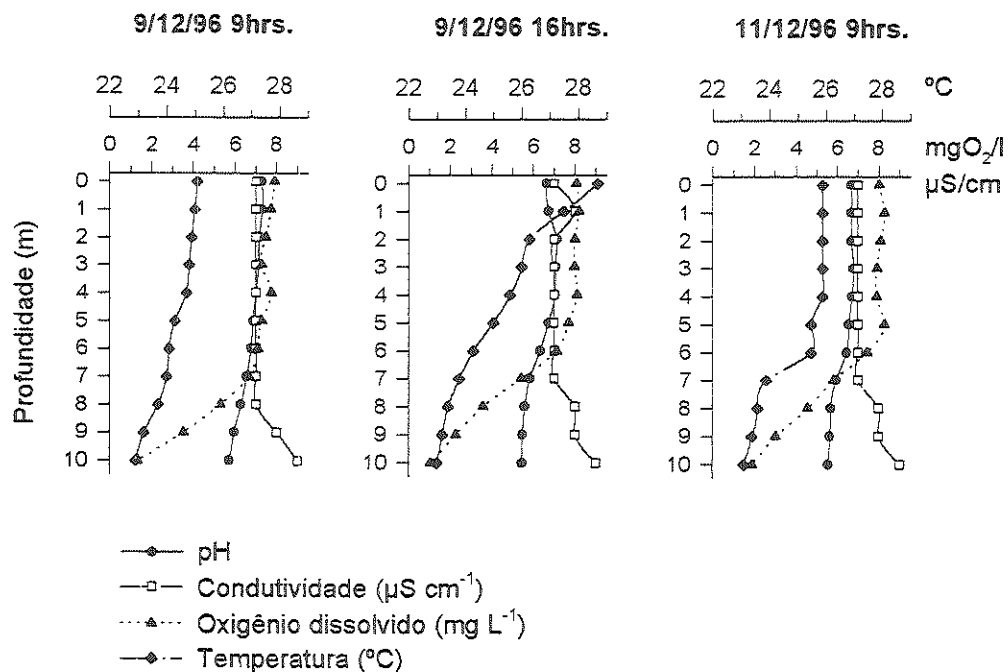


Figura 13. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório do Broa durante a coleta de dezembro de 1996.

Na figura 14, é mostrada a variação das médias mensais dos parâmetros de campo nas três profundidades de coleta.

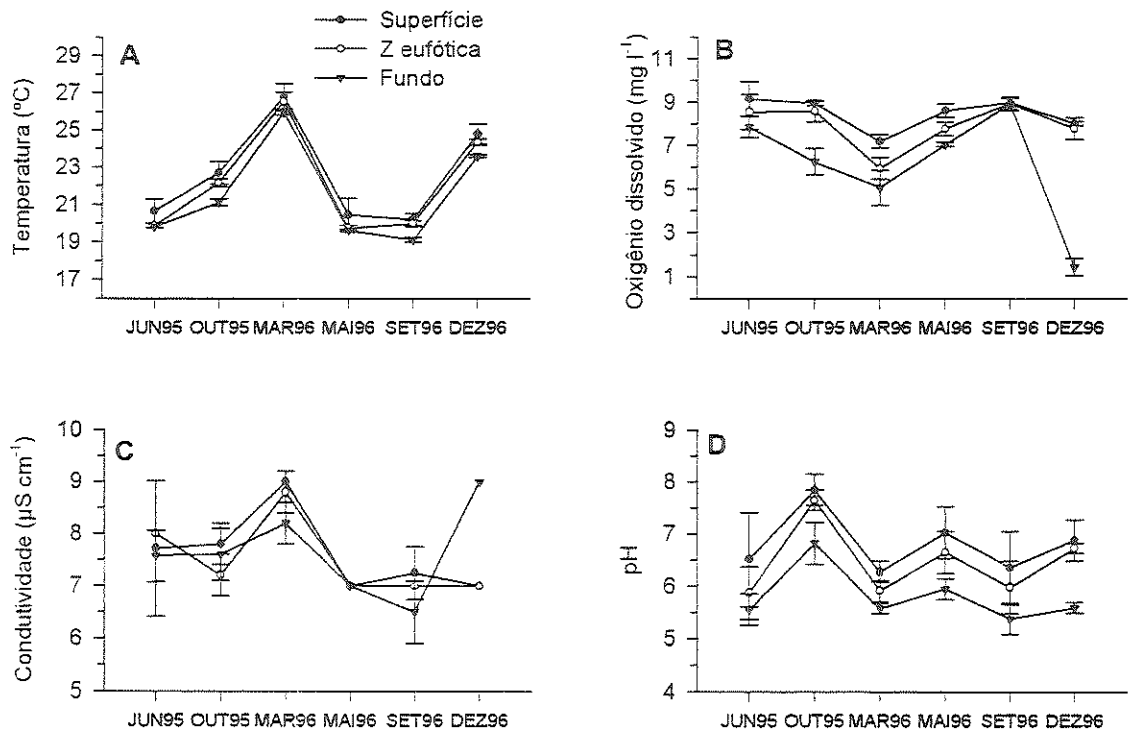


Figura 14. Variação da temperatura (A), oxigênio dissolvido (B), condutividade (C) e pH (D), médias das coletas de cada mês na superfície, final da zona eufótica e fundo, no ponto de coleta do reservatório do Broa. (Linhas verticais, mostrando o desvio padrão).

- Material suspenso total, matéria orgânica e inorgânica suspensa e clorofila α .

Na figura 15 são apresentadas as médias dos valores das amostragens realizadas durante a exposição das armadilhas, para cada mês, dos sólidos suspensos totais, matéria orgânica e inorgânica suspensa, na superfície, fim da zona eufótica e no fundo. Em outubro foi registrado o menor e o maior valor médio de MST, 3.15 mg l⁻¹ na superfície e 7.71 mg l⁻¹ no fundo. Setembro destacou-se por apresentar valores altos em toda a coluna de água, com uma média de 7.1 mg l⁻¹. A análise de variância mostrou diferenças altamente significativas ($p < 0.01$) entre as concentrações de MST nos diferentes meses. Nos meses de junho e outubro de 1995 e maio de 1996 também

foram encontradas diferenças altamente significativas entre a concentração média de MST na zona eufótica e o fundo.

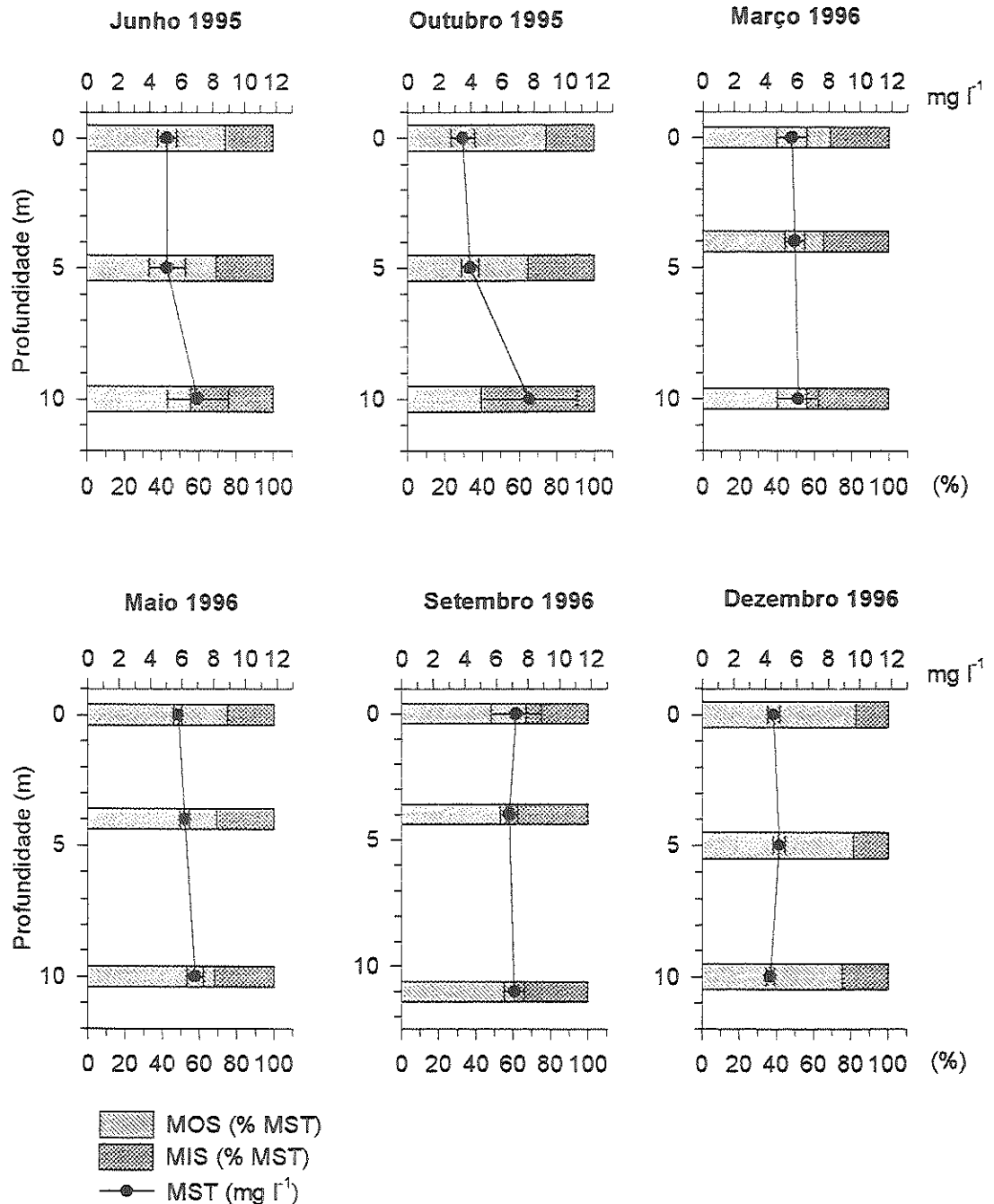


Figura 15. Concentração média de material suspenso total (MST), e porcentagem de matéria inorgânica (MSI) e orgânica (MSO), das coletas de cada mês na superfície, final da zona eufótica e fundo, no reservatório do Broa. (As linhas horizontais correspondem ao desvio padrão da média do MST)

A matéria orgânica foi a fração predominante em todos os meses e nas três profundidades amostradas, exceto no fundo em outubro. A porcentagem de MSO apresentou um gradiente vertical, diminuindo com a profundidade em todos os meses, sua média mensal máxima (80%) foi registrada em dezembro de 1996, na zona eufótica. O MSO teve diferenças significativas entre os meses e também entre a concentração média na zona eufótica e no fundo, em outubro de 1995 e dezembro de 1996. A concentração de MSI (média da coluna de água) não apresentou diferenças significativas entre as coletas. No mês de junho e outubro de 1995 foram observadas diferenças altamente significativas entre a concentração de MSI na zona eufótica e no fundo (ANOVA, $p < 0.01$).

Na figura 16 pode ser observada a variação do MST, MSI, MSO (médias mensais), na zona eufótica, nos diferentes meses de estudo. O MST correlacionou-se positivamente com o MSO ($r=0.91$, $p < 0.05$, $n=6$) e com o MSI ($r=0.88$, $p < 0.05$, $n=6$).

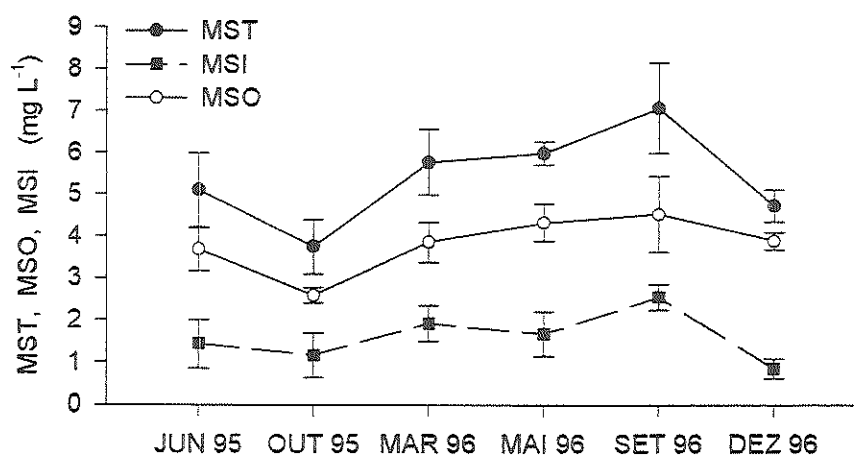


Figura 16. Variação temporal do material suspenso total (MST), inorgânico (MSI) e orgânico (MSO) na zona eufótica, no reservatório do Broa. (As linhas verticais correspondem ao desvio padrão da média das coletas, na superfície e final da zona eufótica)

A concentração média de clorofila a da zona eufótica, variou entre 5.1 e $13.8 \mu\text{g L}^{-1}$ em maio e setembro respectivamente (fig. 17). Em todos os meses exceto maio, a concentração média de clorofila foi maior na profundidade calculada teoricamente como 1% da radiação superficial incidente (3 vezes a profundidade do disco de Secchi) seguida pela concentração na superfície e por último no fundo. Porém, as diferenças entre as concentrações médias de clorofila da zona eufótica e o fundo, só foram significativas (ANOVA, $p=0.017$) em março. A concentração média de clorofila a da zona eufótica, correlacionou-se positivamente com a velocidade do vento ($r=0.82$, $p<0.05$, $n=6$).

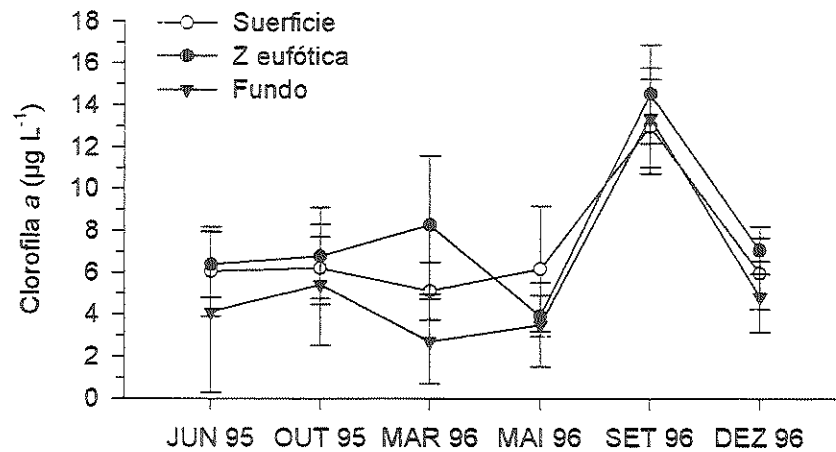


Figura 17. Variação da concentração de clorofila a na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses estudados, no reservatório do Broa. (As linhas verticais representam o desvio padrão da média das coletas de cada mês em cada profundidade)

- Carbono total, inorgânico e orgânico dissolvidos

O CTD no Broa esteve composto aproximadamente por 20% de CID e 80% de COD em todas as coletas e profundidades. A maior concentração de CTD foi encontrada no mês de março, com uma média das coletas e da coluna de 3.37 mg L^{-1} e a menor em junho de 1995, com uma média de 2.42 mg L^{-1} (tab. 3). A concentração

de CID foi sempre baixa e com pouca variação, a mínima registrada foi de 0.43 mg L⁻¹ em outubro e a máxima de 0.66 mg L⁻¹ em dezembro. As variações sazonais do CTD, CID e COD apresentaram diferenças significativas entre os meses de coleta (ANOVA, p<0.05). No que tange às variações verticais, foram registradas diferenças significativas entre a zona eufótica e o fundo do CTD em junho de 1995 (p=0.04), para o CID também em junho de 1995 e dezembro de 1996 (p<0.02) e para o COD só em dezembro (p=0.026).

Tabela 3. Concentração de carbono total dissolvido (CTD), carbono inorgânico (CID) e orgânico (COD) dissolvido nos diferentes meses de estudo nas três profundidades de coleta, no reservatório do Broa. O desvio padrão (DP), corresponde à média das coletas de cada mês.

DATA	PROF.	CTD	DP	CID	DP	COD	DP
Junho 95	Superfície	2.35	0.08	0.53	0.03	1.81	0.08
	Zeuf.	2.40	0.09	0.56	0.04	1.84	0.08
	Fundo	2.50	0.19	0.61	0.03	1.90	0.20
Outubro 95	Superfície	3.20	0.26	0.43	0.22	2.79	0.44
	Zeuf.	3.27	0.31	0.46	0.18	2.81	0.18
	Fundo	3.09	0.20	0.60	0.14	2.50	0.33
Março 96	Superfície	3.26	0.47	0.48	0.10	2.88	0.41
	Zeuf.	3.40	0.16	0.57	0.08	2.83	0.14
	Fundo	3.45	0.18	0.56	0.08	2.90	0.24
Maio 96	Superfície	2.85	0.36	0.58	0.05	2.27	0.33
	Zeuf.	3.11	0.67	0.59	0.10	2.52	0.65
	Fundo	2.85	0.62	0.64	0.02	2.18	0.08
Setembro 96	Superfície	2.67	0.09	0.51	0.08	2.17	0.11
	Zeuf.	2.75	0.19	0.51	0.10	2.24	0.15
	Fundo	2.66	0.05	0.50	0.10	2.16	0.09
Dezembro 96	Superfície	3.06	0.18	0.53	0.10	2.53	0.15
	Zeuf.	2.72	0.05	0.45	0.02	2.28	0.07
	Fundo	2.73	0.18	0.66	0.04	2.08	0.14

- Nitrogênio total particulado, fósforo total, fósforo total dissolvido e fósforo total particulado.

A concentração de NTP no reservatório do Broa, não apresentou diferenças significativas entre a zona eufótica e o fundo em nenhum dos meses estudados (ANOVA, $P < 0.05$). O máximo valor de concentração médio das coletas realizadas durante a exposição das armadilhas, foi de $809 \mu\text{g L}^{-1}$, registrado no final da zona eufótica em dezembro de 1996 e o mínimo de $116 \mu\text{g L}^{-1}$ em março de 1996 no fundo. O NTP registrou diferenças significativas entre os meses de amostragem (ANOVA, $p < 0.01$). Na figura 18 observa-se a variação sazonal da concentração média de NTP, do MSI, e da porcentagem de matéria orgânica suspensa na zona eufótica. Estes três parâmetros correlacionaram-se entre si; o NTP se correlacionou inversamente com o MSI ($r = -0.86$, $p < 0.05$, $n = 6$) e positivamente com a porcentagem de matéria orgânica suspensa ($r = 0.80$, $p < 0.05$, $n = 6$), enquanto que, esta última e o MSI correlacionaram-se inversamente ($r = -0.80$, $p < 0.05$, $n = 6$).

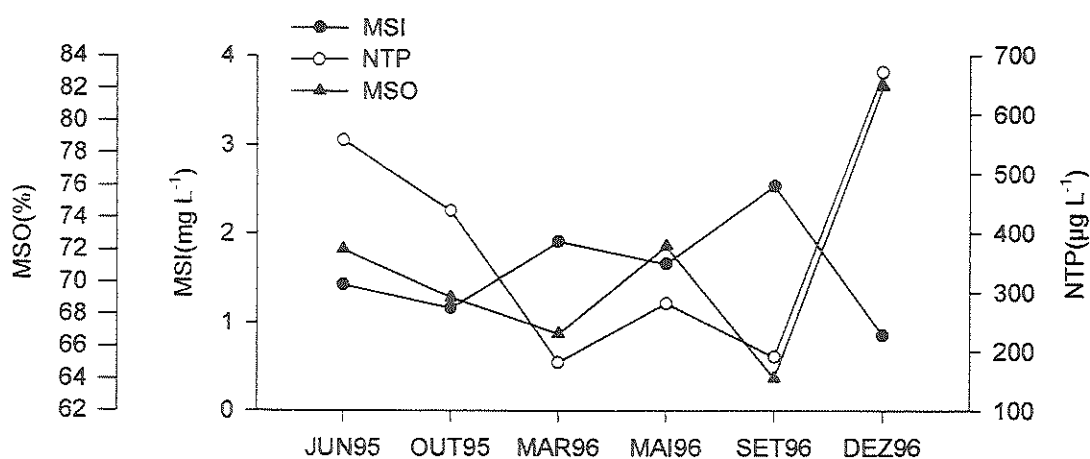


Figura 18. Variação do nitrogênio total particulado (NTP) e sua relação com o material suspenso inorgânico (MSI) e orgânico (MSO), nos meses de coleta na zona eufótica do reservatório do Broa.

O PT não mostrou diferenças significativas entre sua concentração na a zona eufótica e no fundo, em nenhum dos meses, exceto março (ANOVA, $p < 0.01$). Sua concentração variou, entre $11.2 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho de 1995 no fundo e $36.8 \mu\text{g L}^{-1}$ em dezembro, no final da zona eufótica. O PTD não mostrou diferenças verticais significativas em nenhum dos meses e sua concentração oscilou entre $2.0 \mu\text{g L}^{-1}$ em março na superfície e $21 \mu\text{g L}^{-1}$ também na superfície, em dezembro. O PTP foi a fração predominante exceto em dezembro, com uma média da coluna e das coletas de 64% do PT, sua distribuição vertical mostrou diferenças significativas só em março (ANOVA, $p < 0.01$). O valor mínimo de PTP foi registrado em junho no fundo ($5.9 \mu\text{g L}^{-1}$) e o máximo em dezembro no final da zona eufótica ($24.6 \mu\text{g L}^{-1}$). O PT e o PTD registraram diferenças significativas entre os meses estudados (ANOVA $p < 0.02$), enquanto que o PTP não. A concentração média do PT na zona eufótica, correlacionou-se positivamente com a do PTD (fig. 19 A, $r = 0.94$; $p < 0.05$; $n = 6$), o PT e o PTP se correlacionaram positivamente com a concentração média de NTP (fig. 19 B, PT: $r = 0.82$, PTP: $r = 0.83$, $p < 0.05$, $n = 6$). O PTP também correlacionou-se positivamente com a profundidade do disco de Secchi ($r = 0.89$, $p < 0.05$, $n = 6$), enquanto que o PT e o PTP, não tiveram correlação significativa.

- Metais (Ca, Mn, Fe, K e Al)

Na figura 20 se observa a variação das concentrações de Ca, Mn, Fe, e Al total nas três profundidades amostradas durante os meses de estudo.

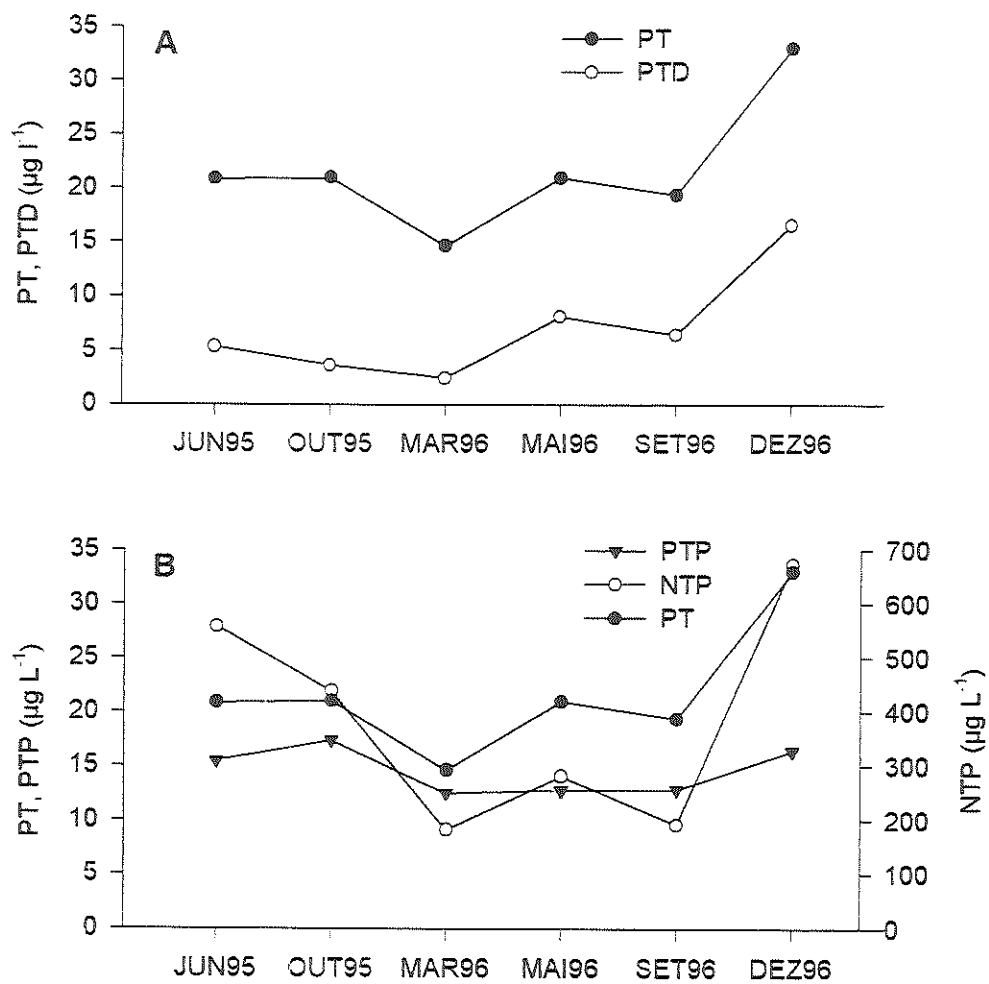


Figura 19. Variação das concentrações de fósforo total (PT), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total particulado (PTP), mostrando as relações entre estes (A e B) e com o NTP (B), no reservatório do Broa, nos meses estudados.

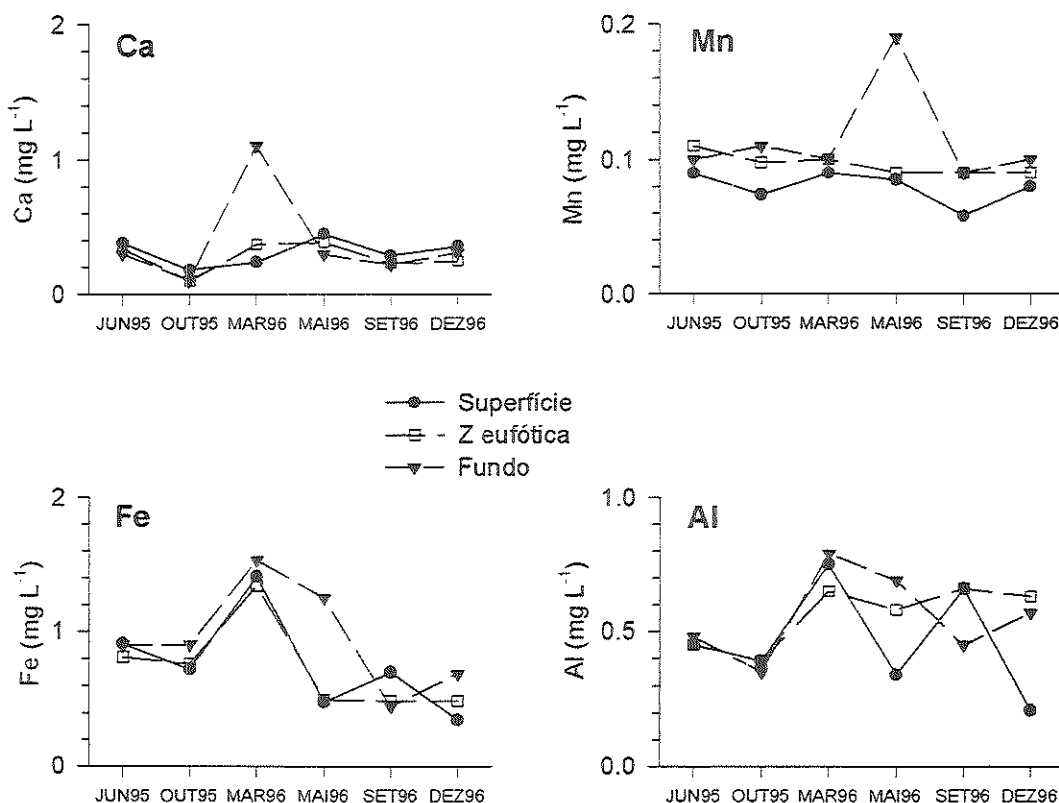


Figura 20. Variação da concentração de Ca, Mn, Fe e Al, na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses de coleta, no reservatório do Broa.

As concentrações de cálcio foram baixas e tiveram pequena variação vertical, a máxima ocorreu no fundo em março (1.1 mg L^{-1}) e a mínima em outubro no final da zona eufótica e fundo (0.1 mg L^{-1}). As concentrações médias de cálcio na zona eufótica correlacionaram-se positivamente com o CID ($r=0.95$ $p<0.05$, $n=6$). As concentrações de ferro total variaram entre 0.35 e 1.53 mg L^{-1} , em dezembro (superfície) e março (fundo) respectivamente. O Fe correlacionou-se positivamente com a condutividade ($r=0.99$, $p<0.05$, $n=6$). O manganês registrou o máximo em maio no fundo (0.19 mg L^{-1}) e o mínimo em setembro na superfície (0.058 mg L^{-1}). A média, da zona eufótica deste metal, correlacionou-se positivamente com a concentração média de clorofila ($r=0.98$, $p<0.05$, $n=6$). As concentrações de

alumínio, variaram entre 0.21 e 0.79 mg L⁻¹, em dezembro na superfície e março no fundo, respectivamente. O Al correlacionou-se positivamente com a precipitação ($r=0.87$) e com a concentração do MSI ($r=0.84$, $p<0.05$, $n=6$).

4.1.2- Taxas de sedimentação estimadas.

- Fluxo total de materiais.

A taxa de sedimentação total bruta neste reservatório esteve compreendida entre, $4.6 \pm 0.8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em outubro de 1995 e $17.3 \pm 1.9 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em setembro de 1996 (fig. 21). Não houve diferenças importantes entre as réplicas das armadilhas de sedimentação em nenhum mês, o que pode ser inferido dos valores baixos do desvio padrão. A sedimentação total líquida (fig. 21), teve pouca variação entre os meses de estudo, a máxima foi registrada em maio de 1996 ($3.4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a mínima em outubro de 1995 ($2.1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). A taxa de sedimentação total líquida correlacionou-se positivamente com a concentração de matéria orgânica na zona eufótica ($r=0.87$).

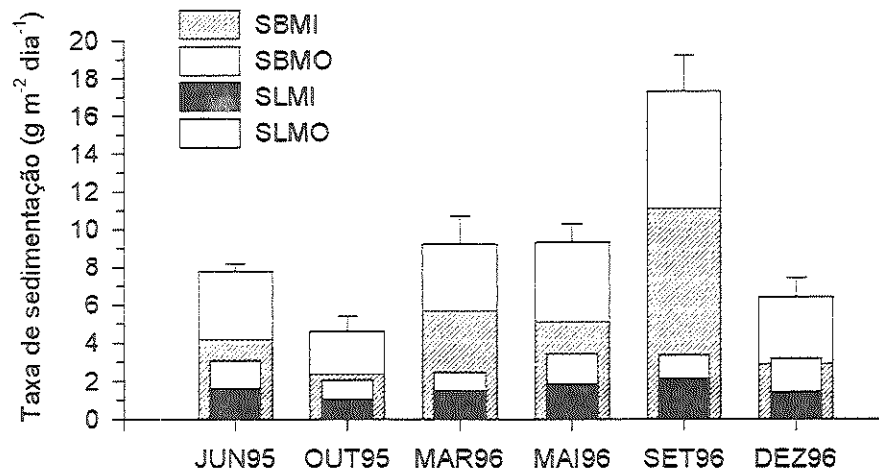


Figura 21. Taxa de sedimentação total bruta (SB) e líquida (SL) e suas frações orgânicas (MO) e inorgânicas (MI), no reservatório do Broa, nos meses estudados. O desvio padrão (linhas verticais), corresponde à média da sedimentação total bruta, das réplicas das armadilhas de sedimentação.

A sedimentação total bruta anual, estimada a partir da média das coletas vezes 365 (dias do ano), foi $3.3 \text{ K m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que a sedimentação total líquida anual foi de $1.1 \text{ K m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. A porcentagem máxima de sedimentação líquida, com relação à sedimentação bruta, ocorreu em dezembro de 1996 (50%) enquanto que a mínima foi

registrada em setembro de 1996 (19%). A média anual da sedimentação líquida foi de 36% (tab. 4). O material sedimentado esteve composto em média de um 57.5% de matéria inorgânica e 42.5% de matéria orgânica. A maior porcentagem de material inorgânico, foi coletado em setembro de 1996 (64%) e a menor em dezembro de 1996 (45%).

- Sedimentação de clorofila α .

A sedimentação máxima de clorofila α (fig. 22), foi registrada em setembro de 1996 ($14.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a mínima em maio de 1996 ($2.5 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), sendo que a sedimentação média anual calculada foi de $2.1 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Para a clorofila α , não se considerou a ressuspensão dos sedimentos como fonte deste material, pelo que a sedimentação bruta corresponde à sedimentação líquida. A sedimentação de clorofila correlacionou-se positivamente com a concentração de clorofila ($r=0.99$) e Mn ($r=0.98$) na zona eufótica.

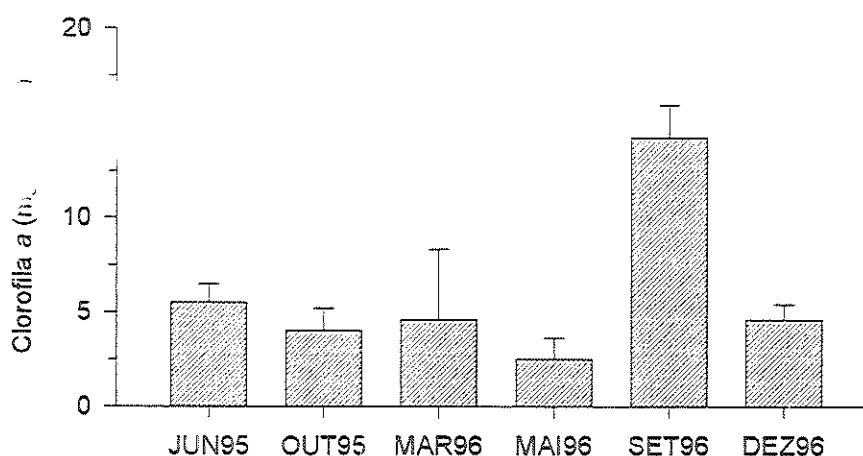


Figura 22. Taxa de sedimentação de clorofila α , nos distintos meses de coleta no reservatório do Broa. (As linhas verticais correspondem ao desvio padrão das replicas das câmaras de sedimentação).

Sedimentação de nitrogênio.

A sedimentação bruta de nitrogênio registrou o máximo em junho de 1995 ($645 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e o mínimo em junho de 1995 ($126 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), enquanto que a sedimentação líquida de nitrogênio variou entre, $254.3 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em junho de 1995 e $47.7 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em setembro de 1996 (fig. 23). A taxa média anual da sedimentação bruta (tab. 4) foi de $118 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e a líquida $43.2 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

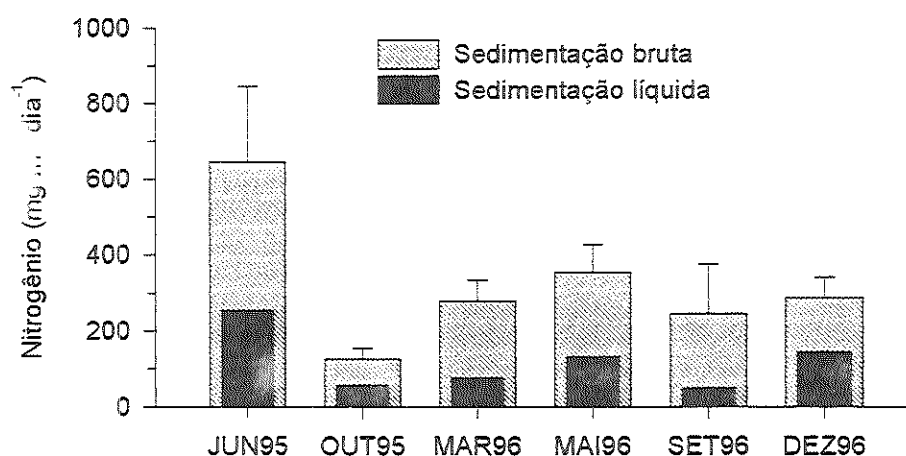


Figura 23. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de nitrogênio, no reservatório do Broa, nos meses estudados. O desvio padrão (linhas verticais), corresponde à média da sedimentação total bruta, das replicas das armadilhas de sedimentação.

Sedimentação de fósforo total e frações

A sedimentação bruta de fósforo oscilou entre 10.3 e $35.6 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, nos meses de outubro de 1995 e setembro de 1996 respectivamente, enquanto que a taxa de sedimentação líquida oscilou entre 4.6 e $11.4 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em outubro e junho de 1995 respectivamente (fig. 24). A taxa de sedimentação bruta anual estimada (tabela 4), foi de $8.7 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e a líquida, $2.9 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

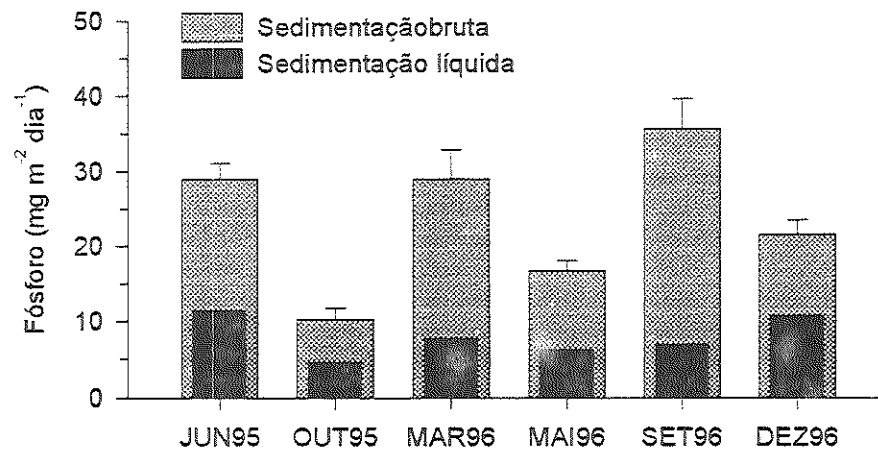


Figura 24. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de fósforo, no reservatório do Broa, nos meses estudados. O desvio padrão (linhas verticais), representa a média da sedimentação total bruta, das replicas das armadilhas de sedimentação.

Na figura 25 são apresentados os valores percentuais do fracionamento do fósforo no reservatório do Broa. O PR-NH₄Cl, foi a menor fração do PT sedimentado, variando entre 0.3 e 3.8% em março de 1996 e outubro de 1995, respectivamente. O PR-BD representou entre 3.1 e 11.8% do PT sedimentado em maio e dezembro de 1996, respectivamente. O PR-NaOH foi a fração dominante das formas do fósforo analisadas, nos meses de junho e outubro de 1995 e março e dezembro de 1996, registrando sua maior porcentagem em março de 1996 (70%) e a mínima em maio de 1996 (21%). Nos meses de maio e setembro de 1996, a fração dominante foi a orgânica (PNR), atingindo a porcentagem de 58 e 48% do PT sedimentado respectivamente. Nesta fração, estimada pela soma do PNR-BD e PNR-NaOH, predominou o fósforo não reativo extraído com NaOH em todos os meses, exceto em setembro, mês em que o PNR-BD atingiu 69% do PNR total. O PR-HCl, variou entre 4.2 e 23.3%, em maio de 1996 e outubro de 1995, enquanto que o P-Ref. teve a máxima porcentagem em junho de 1995 e maio de 1996 (12%) e a mínima em setembro e dezembro de 1996 (1%).

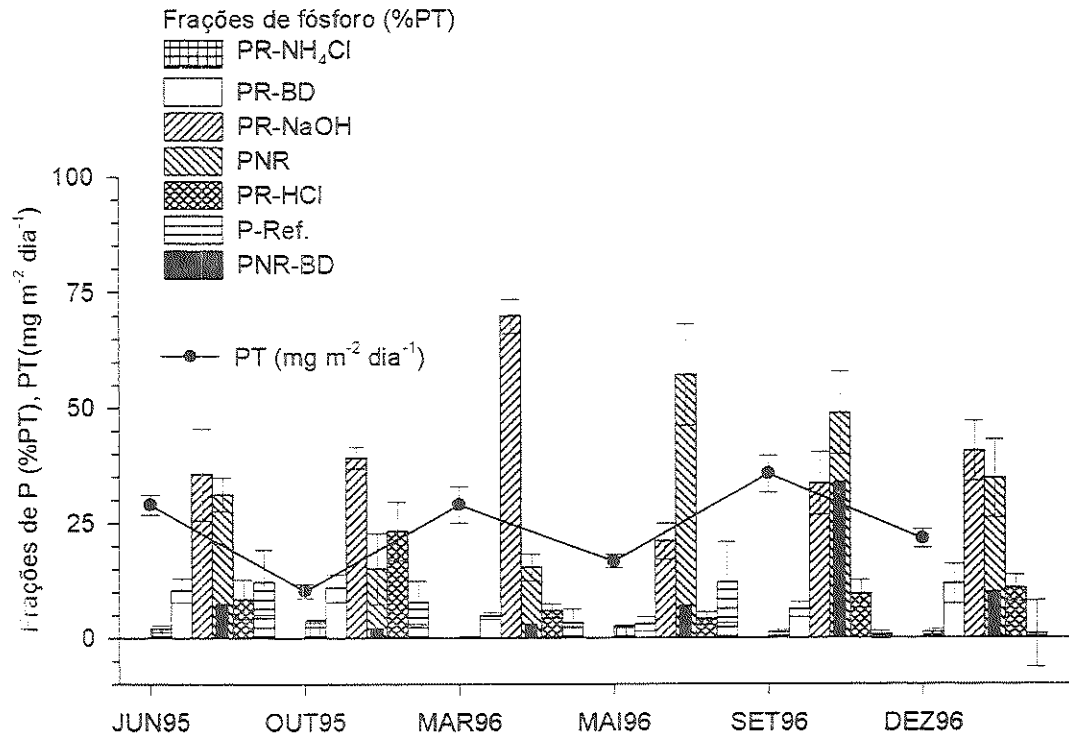


Figura 25. Taxa de sedimentação bruta de fósforo total (PT) e porcentagens das diferentes frações analisadas segundo Psenner, *et al.* (1988) - PR-NH₄Cl: P lábil, PR-BD: P-Fe, PR-NaOH: P-Al, PNR: P orgânico, PR-HCl: P-Ca, P-Ref.: P residual, PNR-BD: P orgânico extraído com ditionito tamponada (*buffer*) - no reservatório do Broa, nas datas de coleta (médias das armadilhas de sedimentação com seus desvios padrões).

- Sedimentação de metais

Dos metais estudados, o ferro, e alumínio, registraram a sedimentação bruta, mínima e máxima, nos mesmos meses (fig. 26). Em outubro, ocorreram os mínimos brutos de: 0.27, e 0.94 g m⁻² dia⁻¹, respectivamente; em setembro foi registrada a sedimentação máxima deste elementos, o Fe atingiu 0.77 g m⁻² dia⁻¹, e o Al 3.29 g m⁻² dia⁻¹. O Ca também teve a sedimentação bruta mínima em outubro (0.28 g m⁻² dia⁻¹), mas o máximo (0.67 g m⁻² dia⁻¹) ocorreu em maio, apesar de não ser muito maior que a sedimentação de setembro (0.65 g m⁻² dia⁻¹). Os resultados de sedimentação de Mn, apresentaram pouca variação entre os meses estudados, sendo que a sedimentação

máxima ($0.064 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi registrada em março de 1996 e a mínima ($0.02 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em dezembro de 1996. A sedimentação líquida de Fe esteve compreendida entre 0.12 (outubro de 1995) e $0.2 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (maio e dezembro de 1996), a do Al entre, 0.42 e $0.65 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em outubro de 1995 e dezembro de 1996 respectivamente e a do Ca entre 0.13 (março de 1996) e $0.27 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (dezembro de 1996).

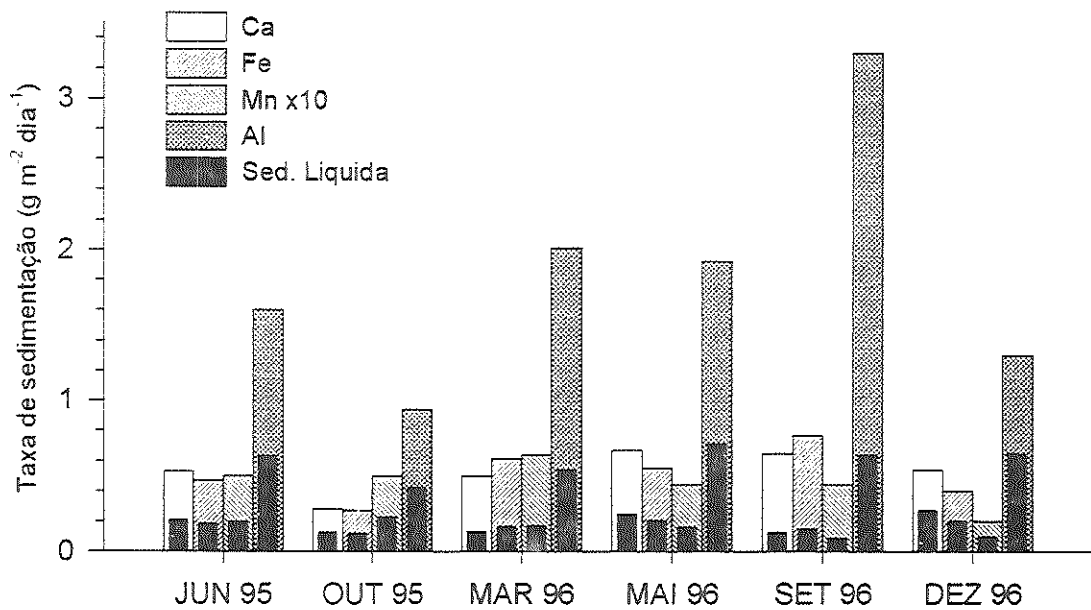


Figura 26. Taxas de sedimentação de cálcio, ferro manganês (vezes dez) e alumínio, bruta e líquida nos meses de coleta no reservatório do Broa.

Tabela 4. Fluxo sedimentar bruto, ressuspensão e sedimentação líquida anual no reservatório do Broa.

Parâmetro	Sed Bruta	Ressuspensão	Sed Líquida
Sed Tot ($\text{k m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	3.3	2.2	1.1
SMI ($\text{k m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	1.9	1.3	0.6
SMO ($\text{k m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	1.4	0.9	0.5
SCl α ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	2.1	----	2.1
SN ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	118.1	74.9	43.2
SP ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	8.7	5.8	2.9
SCa ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	193	125	68
SFe ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	187	125	62
SMn ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	17	11	6
SK ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	546	370	176
SAI ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	674	455	219
Porcentagem total	100	66.6	33.4

4.1.3- Relações entre as taxas de sedimentação dos parâmetros analisados no reservatório do broa.

Correlações com as frações de fósforo.

Das diferentes frações de fósforo analisadas, foram obtidas correlações significativas ($p < 0.05$) entre o PNR-NaOH e SMO, SFe, SCa e SAI e também entre o PNR-BD e a SCl α (fig. 27)

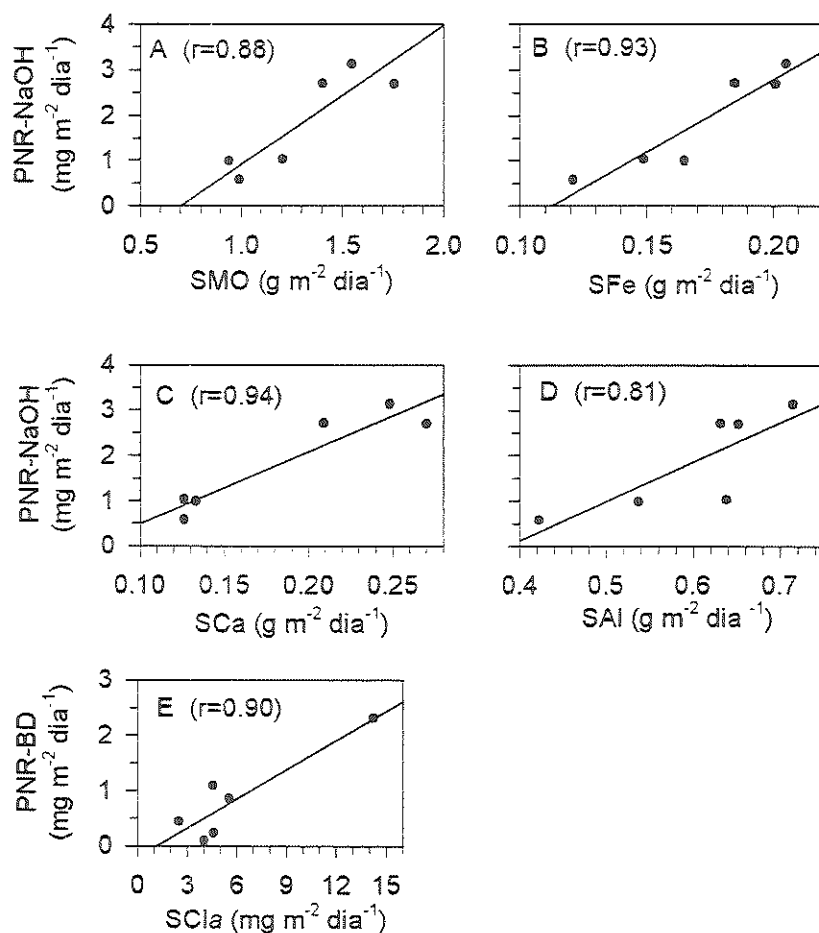


Figura 27. Correlação entre, a taxa de sedimentação líquida de fósforo orgânico, extraído com NaOH (PNR-NaOH) e A: taxa de sedimentação de matéria orgânica (SMO), B: ferro (SFe), C: cálcio (SCa) e D: alumínio (SAI) e a correlação entre a taxa de sedimentação de fósforo orgânico extraído com ditonito e a taxa de sedimentação de clorofila a (E).

Análise de agrupamentos.

Na figura 28 é apresentado o resultado da análise de agrupamentos das variáveis estudadas do fluxo sedimentar. Para a interpretação desta análise foi definido como critério uma distância de dissimilitude de até 40% para a formação dos agrupamentos. Com base neste critério ficaram três grupos, o primeiro com a

distância mínima de união, integrado por: o fluxo de matéria orgânica, cálcio, PNR-NaOH, e ferro e junto a estas variáveis a sedimentação de alumínio. O segundo grupo esteve formado pela união do PNR-BD sedimentado e a sedimentação de clorofila α e o terceiro pela sedimentação de nitrogênio e o P-ref, junto a este terceiro grupo a uma distância de 45% se agregaria o PR-NH₄Cl. Acima do 40% existiria um quarto grupo formado pela sedimentação de PR-HCl e PR-BD, o fluxo de matéria inorgânica seria unido ao primeiro e terceiro grupo (50%), enquanto que a SMn e o PR-NaOH sedimentado seriam as variáveis mais dissimiles.

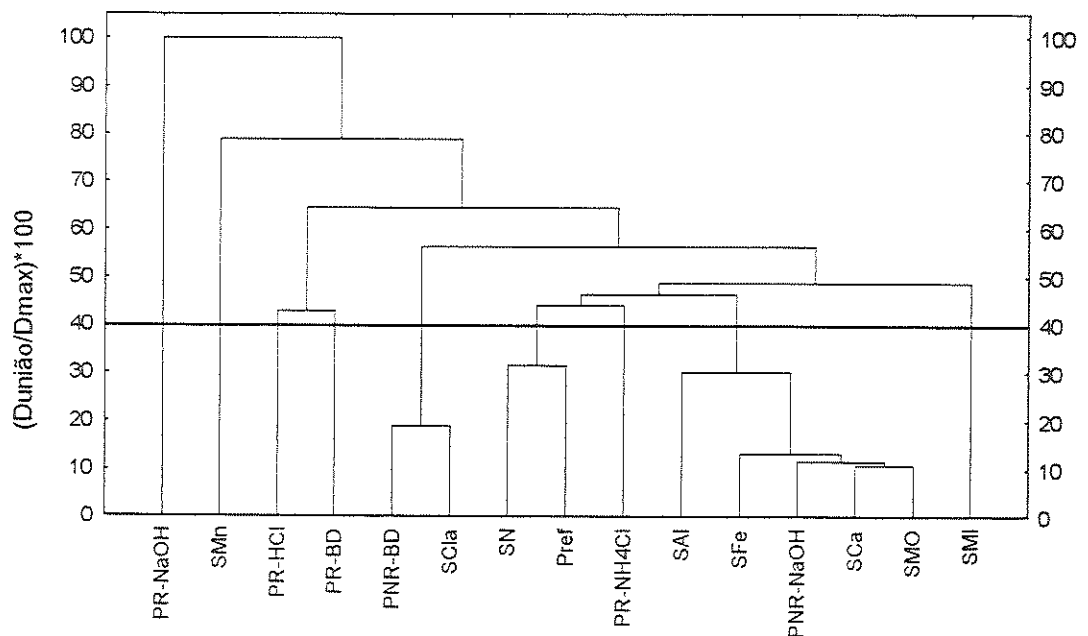


Figura 28. Análise de agrupamentos das taxas de sedimentação de, matéria inorgânica (SMI), matéria orgânica (SMO), cálcio (SCa), P orgânico extraído com NaOH (PNR-NaOH), ferro (SFe), alumínio (SAl), P lábil (PR-NH₄Cl), P residual (Pref), nitrogênio (SN), clorofila α (SCl α), P orgânico extraído com ditionito tamponada (PNR-BD), P-Fe (PR-BD), P-Ca (PR-HCl), manganês (SMn), e P-Al (PR-NaOH). (Reservatório do Broa)

Análise de componentes principais.

Para a Análise de Componentes Principais (ACP), foi utilizado um total de 33 variáveis que geraram cinco fatores que contribuíram para explicar 96% variância total (fig. 29). Os dois primeiros componentes alcançaram a explicar o 59.6% da variância total

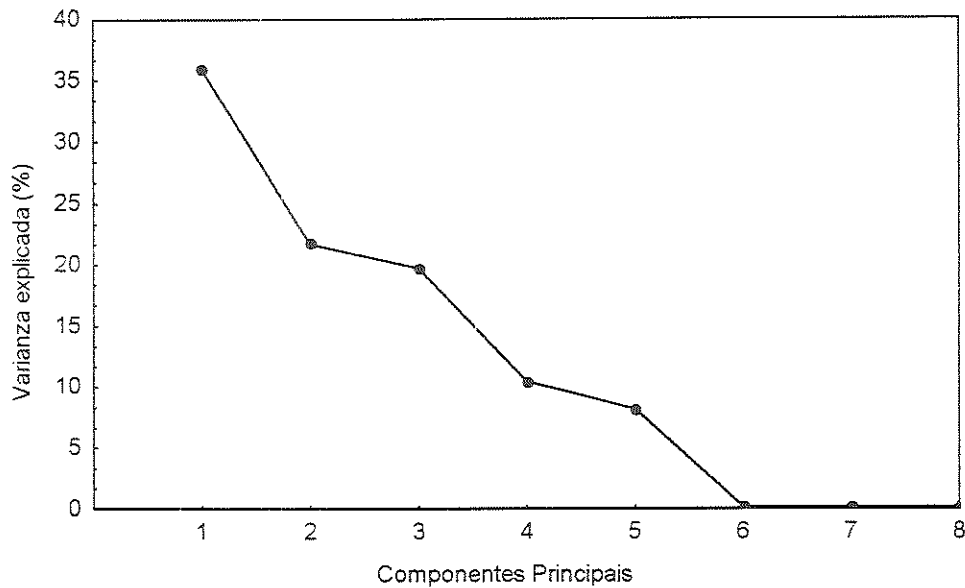


Figura 29. Porcentagem de variância total explicada por cada componente principal, do reservatório do Broa.

Na figura 30 é mostrada a correlação das variáveis originais com os dois primeiros componentes principais. Com correlação positiva ao primeiro componente, se associou um grupo de variáveis integrado por: SMO, NTP, PTP, SCa, PR-BD, DS, P-NH₄Cl, P-HCl, pH, e PTD. Com correlação negativa a este primeiro componente se agruparam, MSI, SMI, Al, precipitação MSO, Mn e Cl α . O segundo componente principal, teve a contribuição positiva de SAL, Ca, CID, condutividade, Fe e PR-NaOH e negativa do vento, SCl α e OD. Outro grupo de variáveis formado por, SFe, PNR-NaOH, P-ref e SN, ficou correlacionado positivamente aos dois primeiros fatores.

As observações (fig. 31) ficaram correlacionadas com os dois primeiros componentes principais da seguinte maneira: dezembro de 1996 e junho de 1995 se correlacionaram positivamente com o primeiro fator; outubro de 1995 correlacionou-se positivamente ao primeiro fator e negativamente com o segundo; setembro de 1996 correlacionou-se negativamente com o primeiro e o segundo fator; março de 1996 correlacionou-se positivamente com o segundo fator e negativamente com o primeiro sendo que maio de 1996 teve sua maior contribuição positiva com o segundo fator.

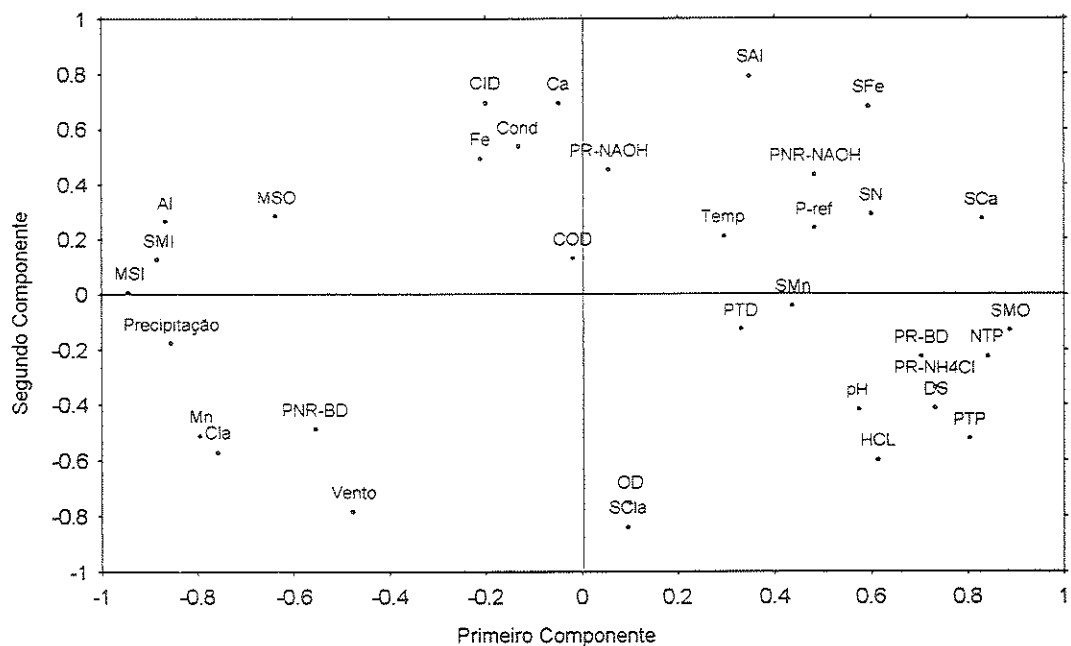


Figura 30. Correlação das variáveis originais com os dois primeiros componentes principais, no reservatório do Broa. Taxas de sedimentação de: matéria inorgânica (SMI), matéria orgânica (SMO), P lábil (P-NH₄Cl), P-Fe (PR-BD), P orgânico extraído com ditionito tamponada (PNR-BD), P-Al (PR-NaOH), P orgânico extraído com NaOH (PNR-NaOH), P-Ca (PR-HCl), P-refratário (P-ref), nitrogênio (SN), clorofila a (SCla), cálcio (SCa), ferro (SFe), manganês (SMn), alumínio (SAI). Dados da zona eufótica de: profundidade do disco de Secchi (DS), temperatura (Temp), condutividade (Cond), pH, oxigênio dissolvido (OD), carbono inorgânico (CID) e orgânico dissolvido (COD), fósforo total dissolvido (PTD) e particulado (PTP), nitrogênio total particulado (NTP), metais (Ca, Mn, Fe, Al), matéria suspensa inorgânica (MSI) e orgânica (MSO), clorofila a (Cla). Variáveis ambientais, vento e precipitação.

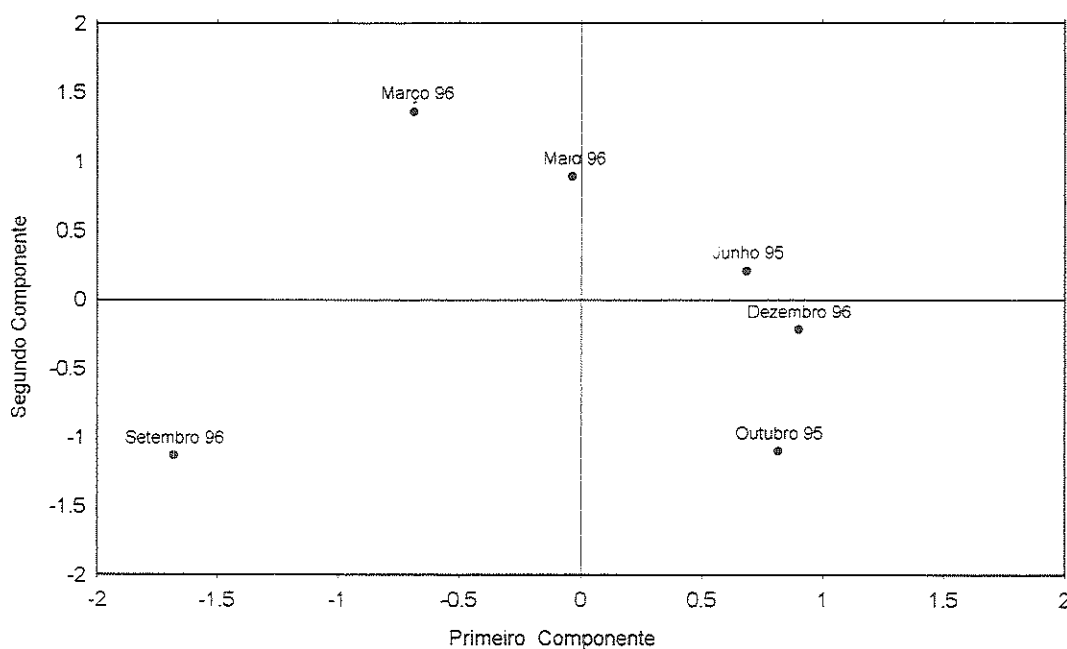


Figura 31. Correlação das observações (meses de coleta), com os dois primeiros componentes do reservatório do Broa.

4.1.4- Caracterização dos sedimentos.

- Datação, conteúdo orgânico, inorgânico e de água.

A camada de sedimentos, da superfície até o início da aparição de gramíneas medida *in situ* no tubo de acrílico, teve início em média aos 14 cm de profundidade. Esta primeira camada será considerada como a sedimentação líquida acumulada desde o enchimento do reservatório em 1936 até a data de coleta, em 1996, ou seja uma sedimentação de aproximadamente 3mm ano^{-1} .

Nos testemunhos analisados, as diferentes camadas observadas na hora de cortar o sedimento ficaram delimitadas segundo é mostrado na figura 32, junto à porcentagem de água, de MO e de MI.

Como era de se esperar, todos os parâmetros tiveram uma mudança no seu perfil vertical ao atingir a região em que começou a aparição de gramíneas, a porcentagem de MO e MI ilustram bem estas mudanças. A MO que na primeira camada mostrou um perfil com poucas variações, com uma média dos três testemunhos de 28% de peso seco (ps.) ($CV=8.6\%$), passa para 50% no início da grama. Nos meses de março e setembro a porcentagem de MO continua a aumentar atingindo 80 e 73% respectivamente no final desta segunda camada, enquanto que em maio se mantém em torno de 50%. Em setembro, único mês em que foi analisada a areia a porcentagem de MO baixou para 23%.

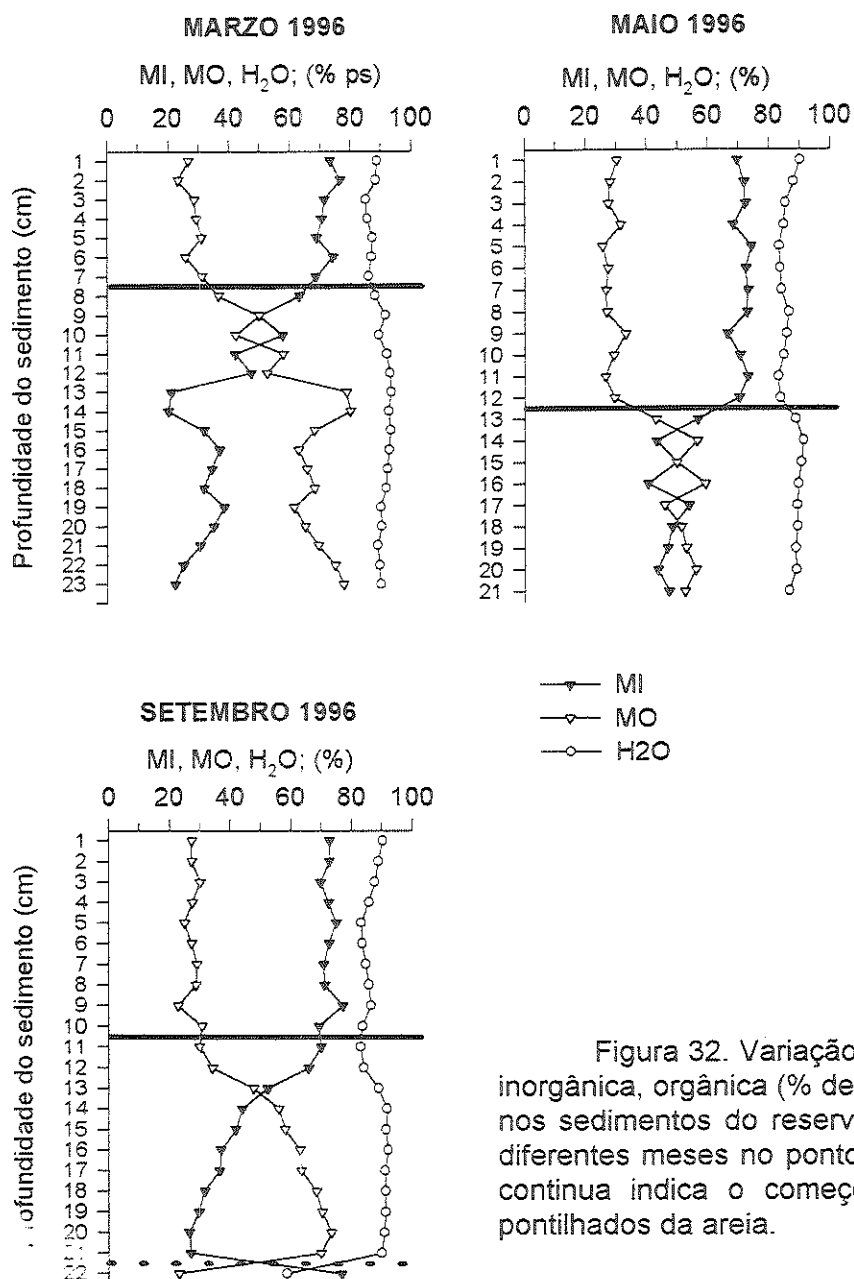


Figura 32. Variação vertical da matéria inorgânica, orgânica (% de peso seco) e água nos sedimentos do reservatório do Broa nos diferentes meses no ponto de coleta. A linha contínua indica o começo da grama e os pontilhados da areia.

Levando em consideração estes resultados e os objetivos do estudo, só serão apresentados os dados da primeira camada, correspondente à sedimentação no reservatório.

O conteúdo de carbono total analisado nos cinco primeiros centímetros dos testemunhos de março e setembro de 1996 foi de 8.9 (CV=7%) e 8.7% ps (CV=6%), respectivamente, o que corresponde aproximadamente a um 30% matéria orgânica acumulada.

A porcentagem de água nos sedimentos foi máxima no primeiro centímetro, com uma média de 90% (CV=0.9%) e mínima no final da camada de sedimentação (85%, CV=1.6%). As porcentagens de NT e PT registraram uma tendência a diminuir com a profundidade do sedimento (fig. 33), com um máximo na superfície (PT=0.1%, CV=50%; NT=1.6%, CV=55%), outro máximo acima do fim da camada de sedimentação (entre os 6-9 cm de profundidade) e mínimo no final desta (PT=0.08%, CV=37%; NT=0.9%, CV=77%).

- Nitrogênio e fósforo

Em março, o NT correlacionou-se positivamente com o PT ($p < 0.1$, $r = 0.75$), em maio, a porcentagem de água correlacionou-se positivamente com a porcentagem de PT ($p < 0.1$, $r = 0.65$) e NT ($r = 0.87$), sendo que o PT e NT correlacionaram-se também positivamente entre eles ($p < 0.1$, $r = 0.53$). Em setembro, a porcentagem de água correlacionou-se positivamente ($p < 0.1$) com a porcentagem de PT ($r = 0.55$) e NT (0.77).

Metais (Ca Fe, Mn e Al)

Dos metais analisados, a concentração de cálcio ficou abaixo do limite de detecção do método, as concentrações de ferro, alumínio e manganês registraram pouca variação vertical, com concentrações similares nos dois testemunhos coletados (fig. 34). A média das concentrações de ferro, na superfície dos sedimentos foi de 1.6 % de peso seco (CV=3.5%), a de alumínio 5.1% (CV=0.8%) enquanto a de manganês foi 0.03% (CV=0%). Este último elemento foi o único que teve correlação significativa com alguma das outras variáveis, em setembro correlacionou-se

positivamente com a porcentagem de água ($r=0.87$) e com o conteúdo de nitrogênio ($r=0.94$).

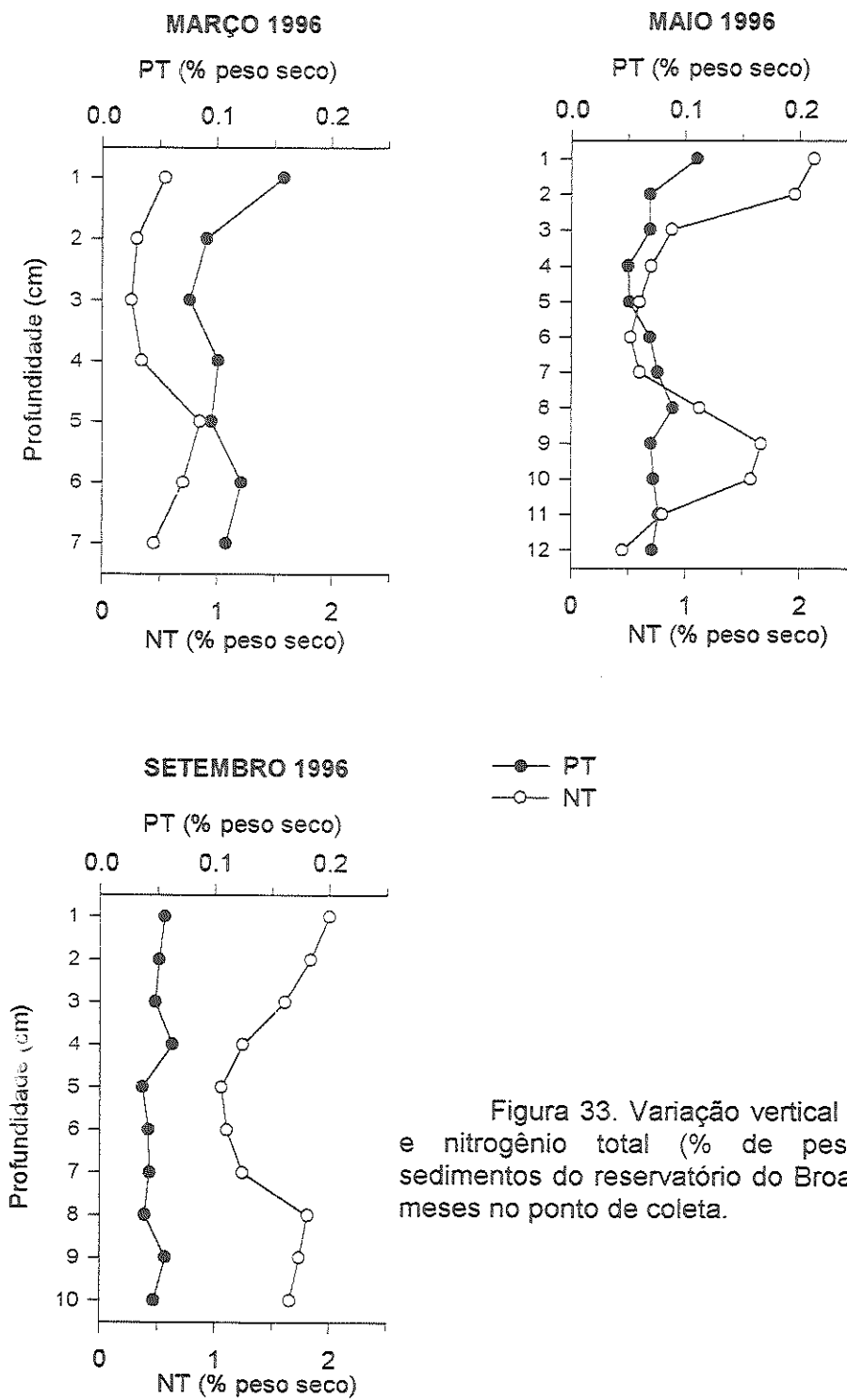


Figura 33. Variação vertical do fósforo total e nitrogênio total (% de peso seco), nos sedimentos do reservatório do Broa nos diferentes meses no ponto de coleta.

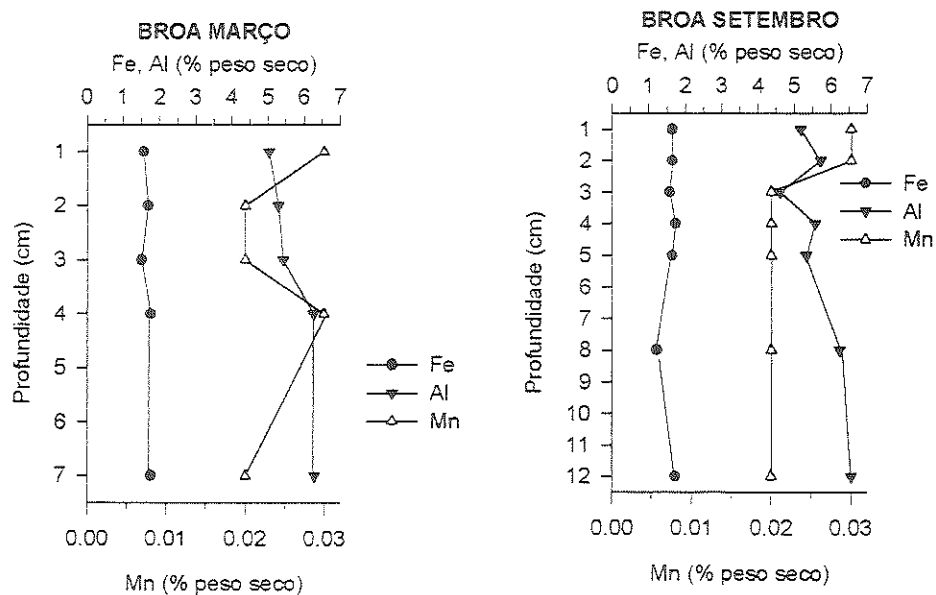


Figura 34. Variação vertical do ferro, alumínio e manganês nos sedimentos do reservatório do Broa em março e setembro de 1996, no ponto de coleta.

- Fracionamento de fósforo

Na figura 35, é apresentado o resultado do fracionamento do fósforo, no sedimento superficial, do reservatório do Broa. A concentração de PT foi similar nas duas amostras analisadas (0.15 e 0.12% em março e setembro de 1996, respectivamente). As diferentes frações, também registraram porcentagens do PT similares nas duas amostras. O PR-NH₄Cl foi a menor das frações com uma média das amostras de 0.3%. O PR-BD, teve uma média de 11.4% e o PR-NaOH de 21.7%. O PRN (fósforo orgânico, soma do PNR-BD e o PNR-NaOH), foi a fração dominante nas duas amostras com 53% em março de 1996 e 42% em setembro de 1996. A forma predominante do PNR, foi a extraída com NaOH (PNR-NaOH), com uma média das amostras de 34% do PT sendo que a média do PNR-BD foi de aproximadamente 13%. O PR-HCl foi baixo nas duas amostras (3.8 e 2.4%, em

março e setembro de 1996, respectivamente). O P-Ref (fósforo residual o refratário) foi relativamente alto com 14 e 17% do PT em março e setembro respectivamente.

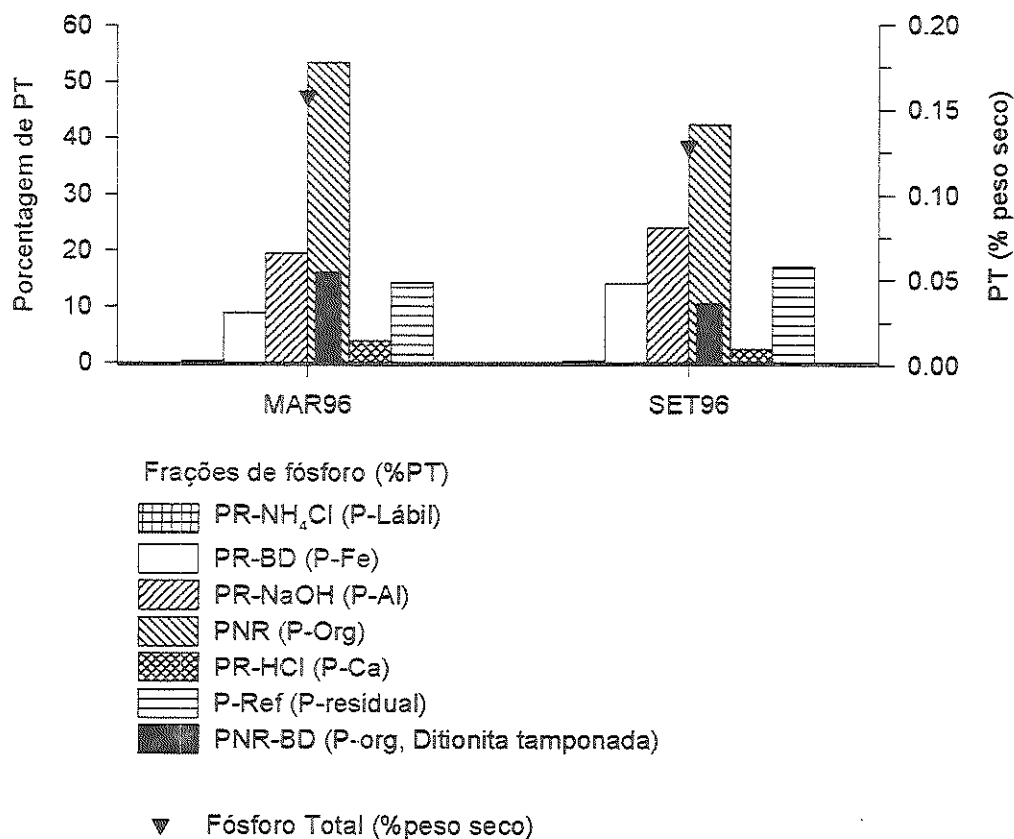


Figura.35 Fósforo total e porcentagens das diferentes frações analisadas segundo Psenner, *et al.*, (1988), no sedimento superficial do reservatório de Broa, no ponto de coleta, em março e setembro de 1996. (As referências são apresentadas na figura).

4.2- RESERVATORIO DE BARRA BONITA

4.2.1 Caracterização física e química da água

- Variáveis medidas *in situ* e condições hidrodinâmicas durante as coletas.

Na figura 36, são apresentados os valores do tempo de retenção e da vazão total vertida, registrados no reservatório de Barra Bonita durante o período de estudo e nas datas de coleta. Para determinar a época da coleta em relação à precipitação foram utilizados os mesmos dados que para o Broa (fig. 6).

Em Junho de 1995 foram feitas seis coletas de água durante o tempo de exposição das armadilhas de sedimentação (fig. 37). Durante as mesmas não foram observadas variações importantes das variáveis medidas no campo. Foram observados gradientes verticais temporários mais acentuados durante o período de maior radiação solar. A maior variação vertical foi registrada para a temperatura e o oxigênio dissolvido nas coletas da tarde. A condutividade neste reservatório, foi sempre muito maior que a do Broa, com uma média das coletas e da coluna neste mês, de $152 \mu\text{S cm}^{-1}$. A profundidade média do disco de Secchi foi de 1.7m, o tempo de retenção médio dos três dias foi o maior registrado (100 dias), enquanto que a vazão total foi mínima ($270 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

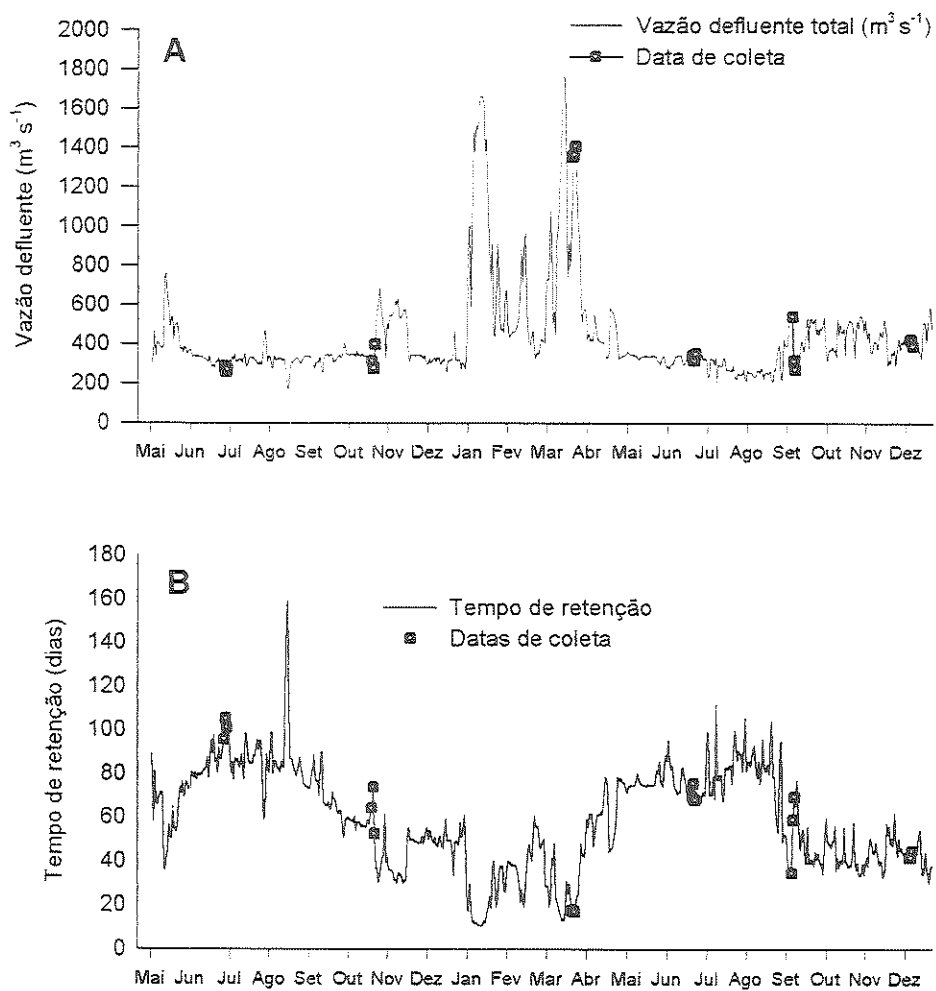


Figura 36. Variação da vazão total vertida (A) e do tempo de retenção (B), no reservatório de Barra Bonita ao longo do período de estudo e nas datas de coleta.

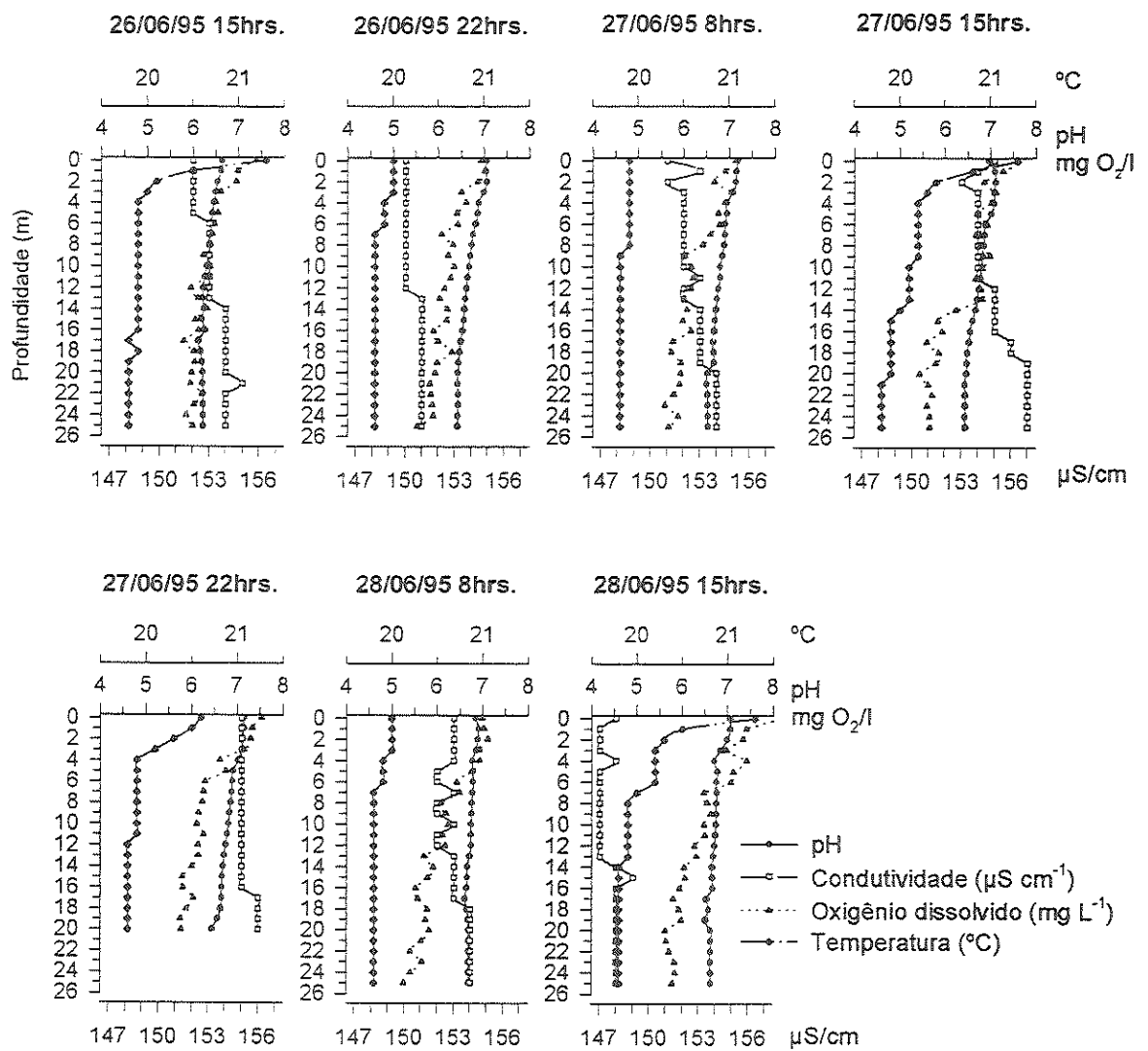


Figura 37. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de junho de 1995.

Segundo estas variáveis pode-se considerar que esta coleta correspondeu a à estação seca e que o ambiente se encontrava com estratificações temporárias.

No mês de Outubro de 1995 foram realizadas cinco coletas de água. Na primeira (18/10/95, 12hrs) foi observado um gradiente vertical de temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade (fig. 38) entre os 12 e 16 m de profundidade, definindo uma coluna de água estratificada. Nas coletas seguintes o metalímnio foi se aprofundando e diminuindo de largura, passando a se encontrar entre os 15 e 19 m de profundidade nas coletas dos dias 18/10/95 às 18hrs e 19/10/95 às 8hrs. No hipolímnio a concentração de oxigênio dissolvido atingiu a anoxia enquanto que no epilímnio a concentração manteve-se baixa, entre 3-5 mg l⁻¹. Na coleta do dia 19/10/95 às 18hrs o metalímnio começou a desaparecer, ficando um gradiente quase linear entre a superfície e o fundo. Na última coleta (20/10/95 8hrs) a coluna de água estava totalmente misturada ficando só uma camada nefeloide de uns 3m de largura entre os 20 m de profundidade e o fundo, onde foram registrados os mínimos de temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade. A profundidade do disco de Secchi foi das maiores registradas, atingindo 2m de profundidade. O tempo de retenção variou durante os três dias de coleta entre 64, 74 e 52 dias e a vazão variou entre 311, 278 e 397 m³ s⁻¹.

A diminuição do tempo de retenção e aumento da vazão, poderiam explicar a mudança na estabilidade do ambiente, que pode ser considerado de transição entre uma condição de estratificação para uma de mistura quase completa. Esta coleta corresponde, segundo a distribuição anual da precipitação ao começo da estação chuvosa.

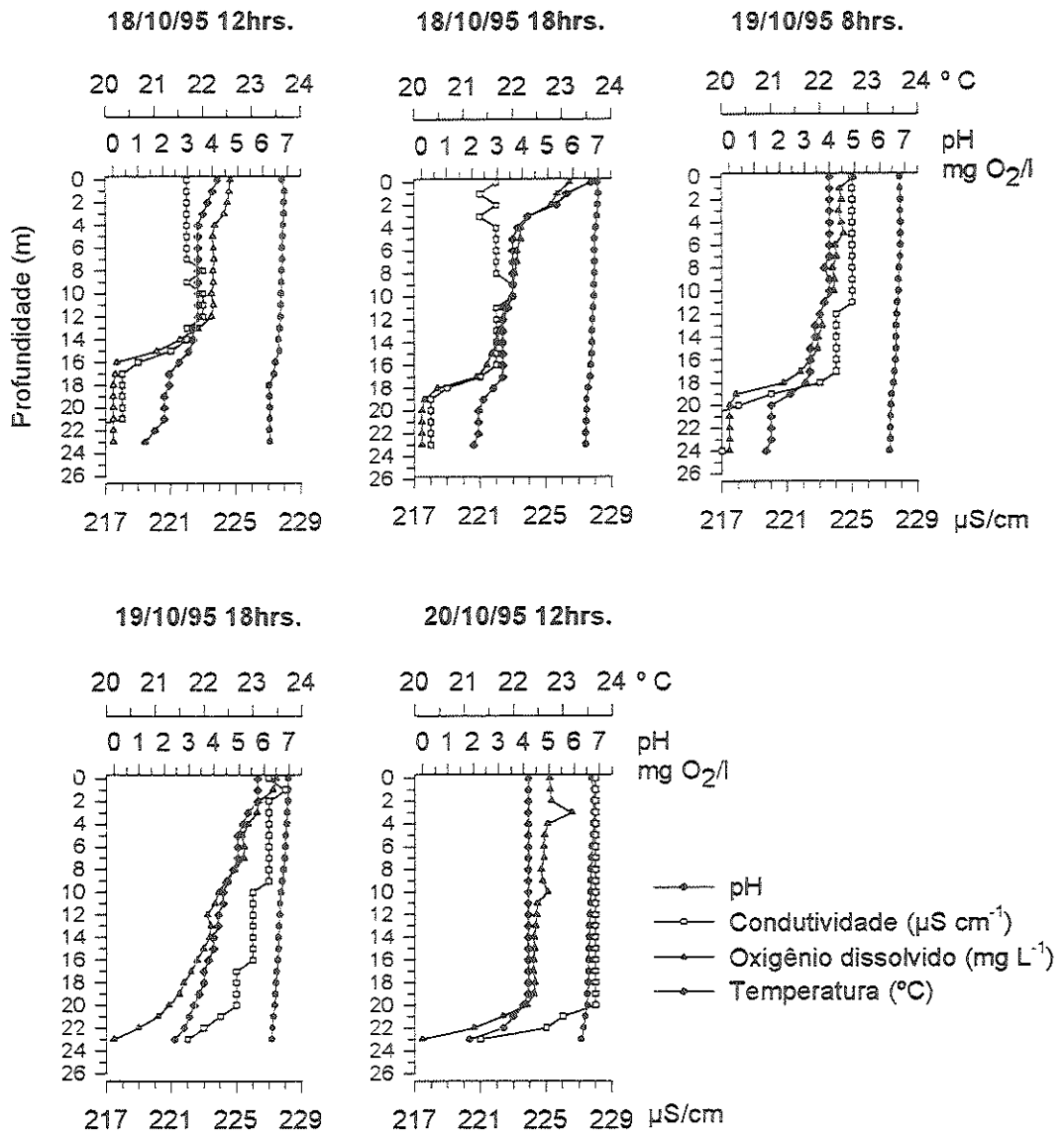


Figura 38. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de outubro de 1995.

No amostragem de Março de 1996 foram realizadas cinco coletas da coluna de água (fig. 39). Durante as mesmas foi registrada o menor tempo de retenção do estudo (17 dias), correspondente a $1400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de vazão total vertida. A temperatura oscilou entre 27.5 na superfície e 25.8 °C no fundo. O oxigênio dissolvido também teve o máximo na superfície (5.7 mg l^{-1}) e mínimo (3.8 mg l^{-1}) no fundo. O pH e a condutividade tiveram pouca variação vertical e temporária, este último parâmetro atingiu os mínimos valores registrados em Barra Bonita durante este estudo ($143 \mu\text{S cm}^{-1}$). A profundidade do disco de Secchi também foi a menor registrada, com apenas 0.65m. Esta coleta encontraria-se no final da estação de chuva, dentro da época de menor tempo de retenção do reservatório, enquanto que as variáveis físico-químicas indicam um sistema polimíctico com estratificações temporais durante a tarde.

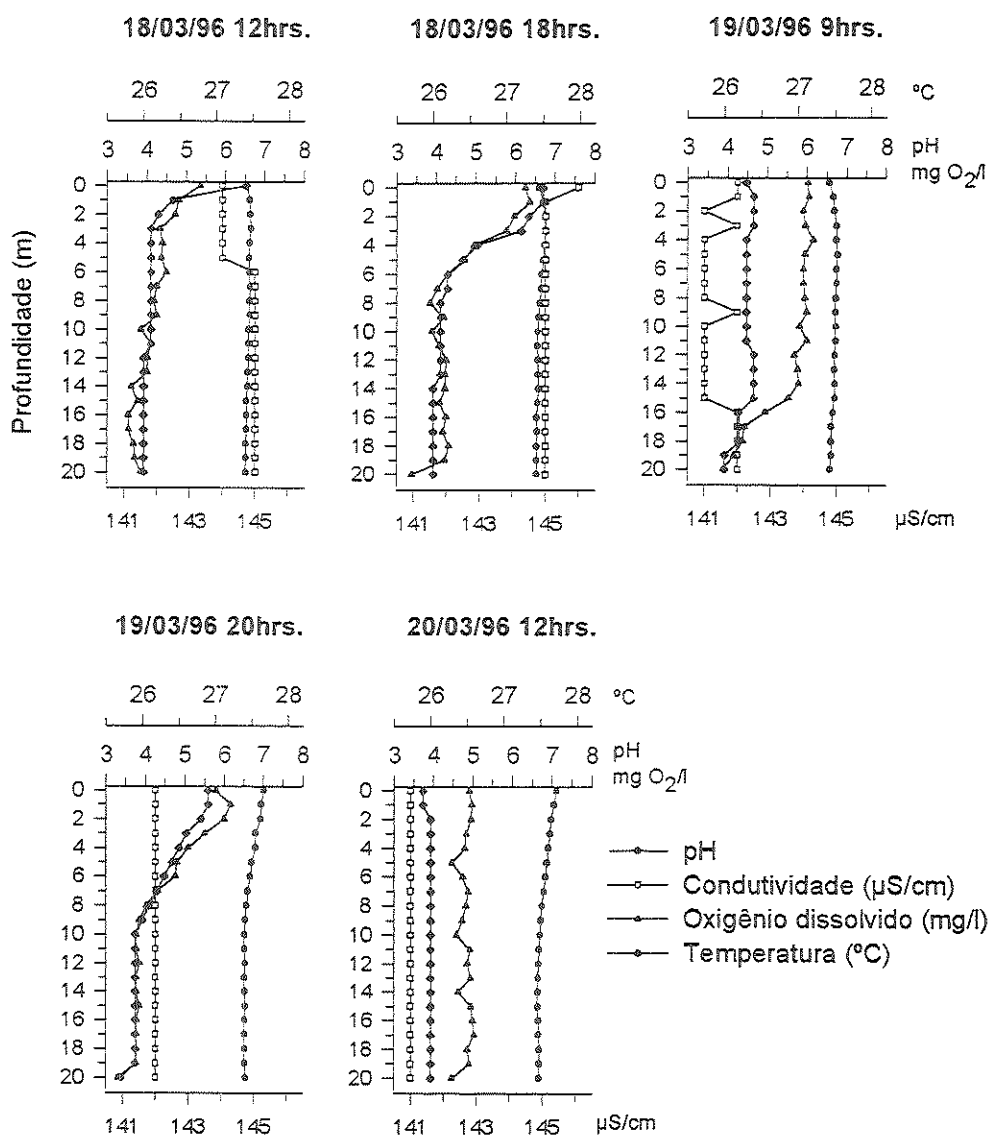


Figura 39. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de março de 1996.

Em junho de 1996 foram feitas quatro coletas de água durante a exposição das armadilhas. Os perfis de temperatura não apresentaram gradientes verticais, exceto nos primeiros metros durante a tarde (fig. 40). A maior diferença não superou os 2°C, desaparecendo na manhã, como consequência da mistura da coluna durante a noite. A concentração de oxigênio dissolvido foi alta atingindo os 8 mg L⁻¹ na subsuperfície e teve um comportamento similar à temperatura apresentando um gradiente vertical no final da tarde. O pH se manteve em torno de 7, sem grandes diferenças temporais nem espaciais. A condutividade também não apresentou variações significativas. A profundidade do disco de Secchi foi de 1.3m. O tempo de retenção teve pouca variação durante os três dias (média de 71 dias). Segundo a precipitação, a coleta encontraria-se no meio da época seca e segundo as variáveis antes descritas o ambiente encontrou-se misturado.

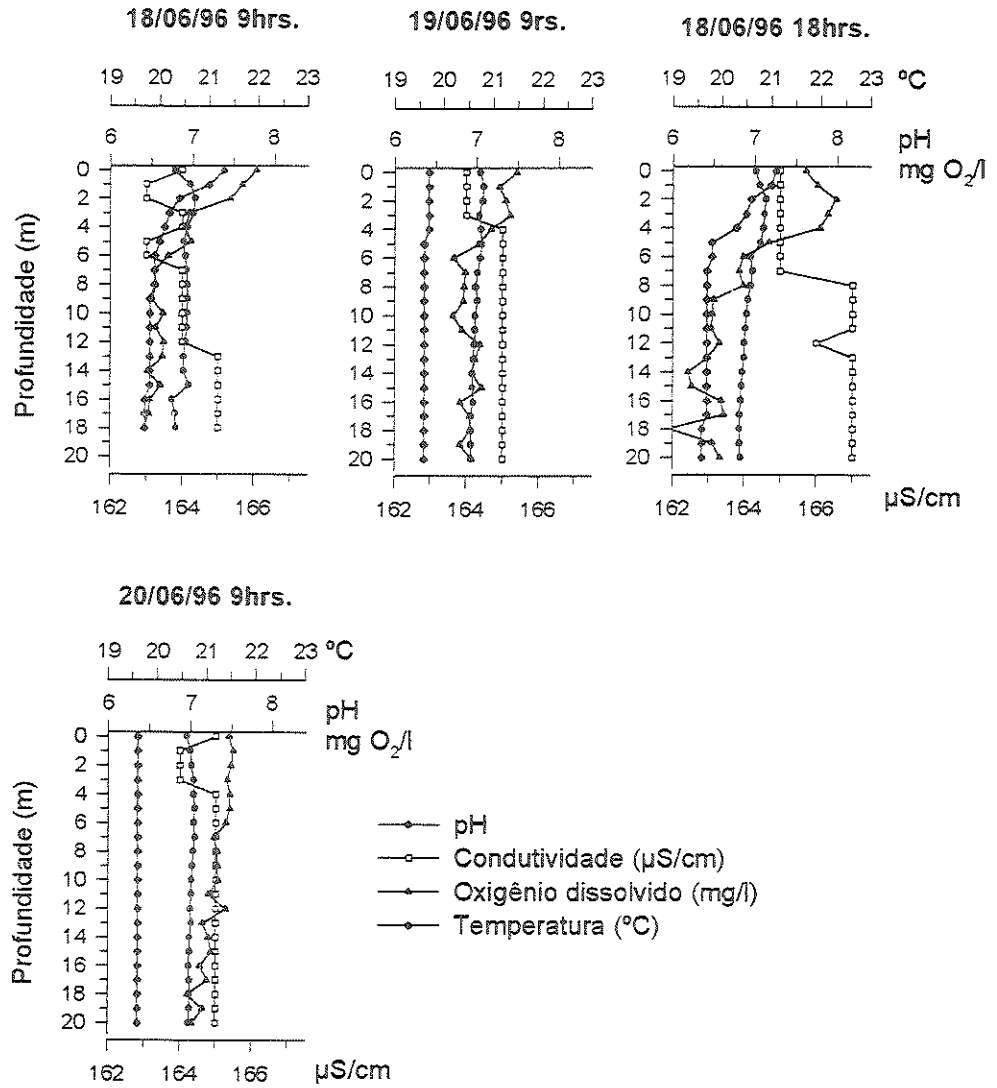


Figura 40. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de junho de 1996.

Em Setembro de 1996 foram realizadas cinco coletas de água (fig. 41). Durante as coletas observou-se o início da estratificação na manhã e maiores gradientes no final da tarde. Porém a coluna se manteve levemente estratificada durante todas as coletas. O oxigênio dissolvido apresentou um gradiente vertical mais acentuado, a maior concentração foi na superfície (média das coletas, 8 mg l^{-1}) e a menor no fundo (2.2 mg l^{-1}). O pH e a condutividade não apresentaram grandes variações com médias da coluna e das coletas de 7 e $217 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente. A profundidade média do disco de Secchi foi de 1.3m. O tempo de retenção, variou entre 34 dias no primeiro dia de coleta para 70 dias no último, enquanto que a vazão diminuiu de 538 para $268 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Segundo estes dados a coleta de setembro corresponderia ao início da estação de chuva, sendo que o ambiente estava estratificado.

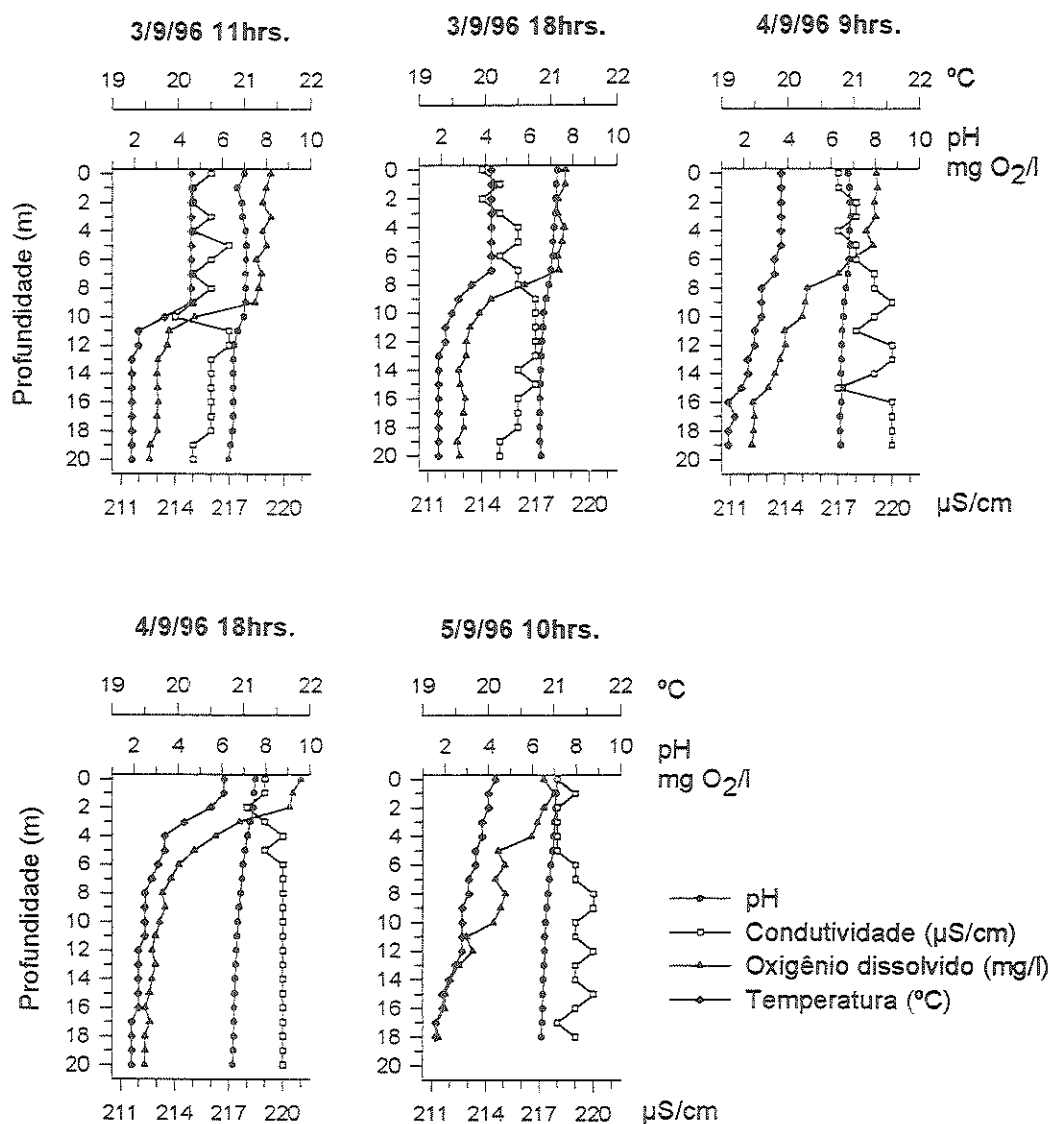


Figura 41. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de setembro de 1996.

Em Dezembro de 1996 foram feitas cinco coletas de água. A temperatura oscilou entre 25.5°C na superfície no final da tarde e 23.5°C no fundo repetindo-se o ciclo

térmico diário encontrado em setembro (fig. 42). A condutividade teve uma variação entre as diferentes coletas, de uma média da coluna de $158 \mu\text{S cm}^{-1}$ na coleta de 3/12/96 às 8h. passou para $256 \mu\text{S cm}^{-1}$ nas últimas duas coletas. Nossas observações de campo, registraram antes destas duas últimas coletas uma intensa precipitação acompanhada de fortes ventos, podendo estar relacionado ao aumento da condutividade no reservatório. O pH manteve-se em torno da neutralidade durante as cinco coletas realizadas e a profundidade média do disco de Secchi foi de 2m. O tempo médio de retenção dos três dias foi de 43 dias.

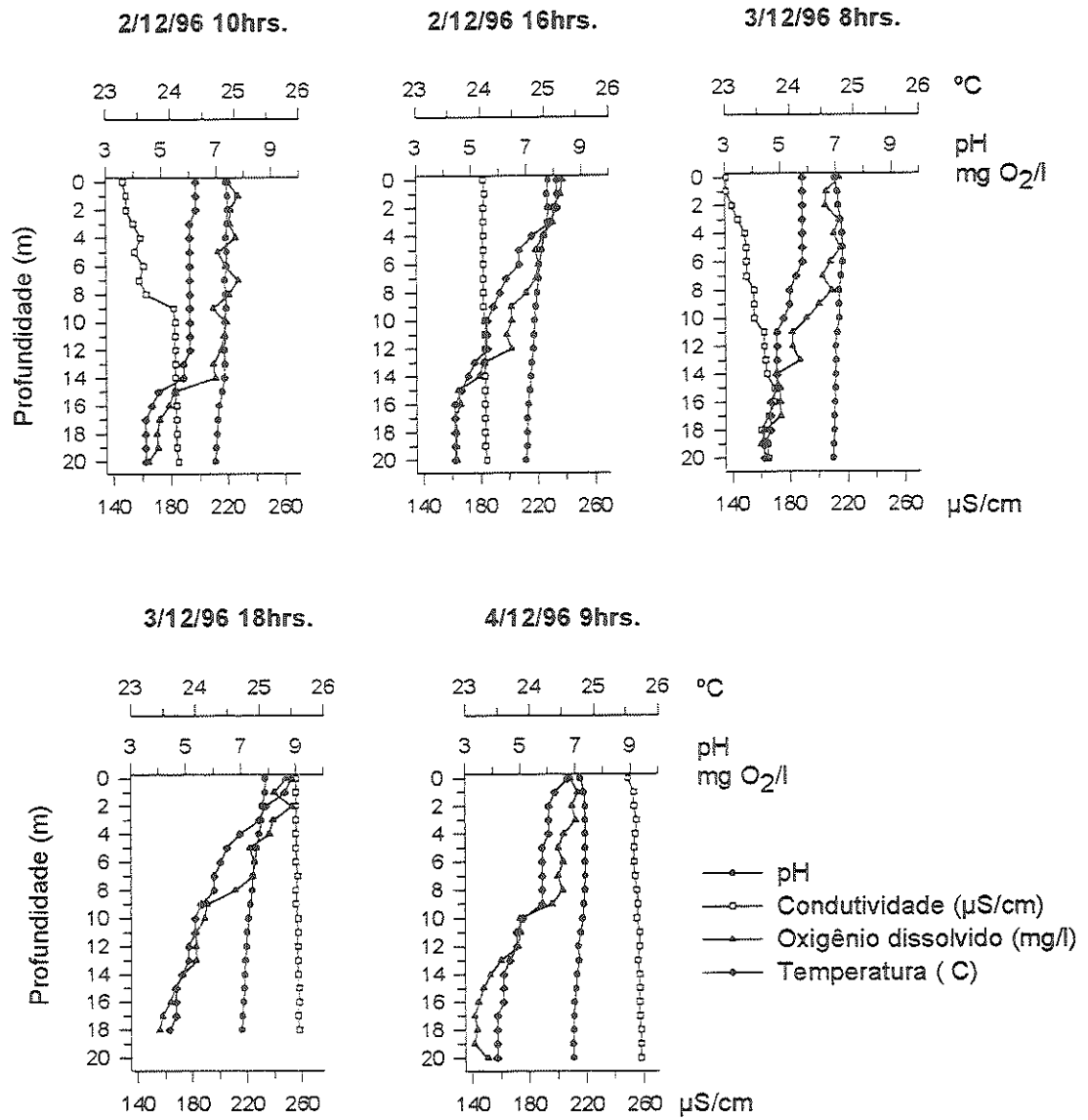


Figura 42. Variação temporal e vertical do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Barra Bonita durante a coleta de dezembro de 1996.

Na figura 43, é apresentada a variação das médias mensais dos parâmetros de campo nas três profundidades de coleta.

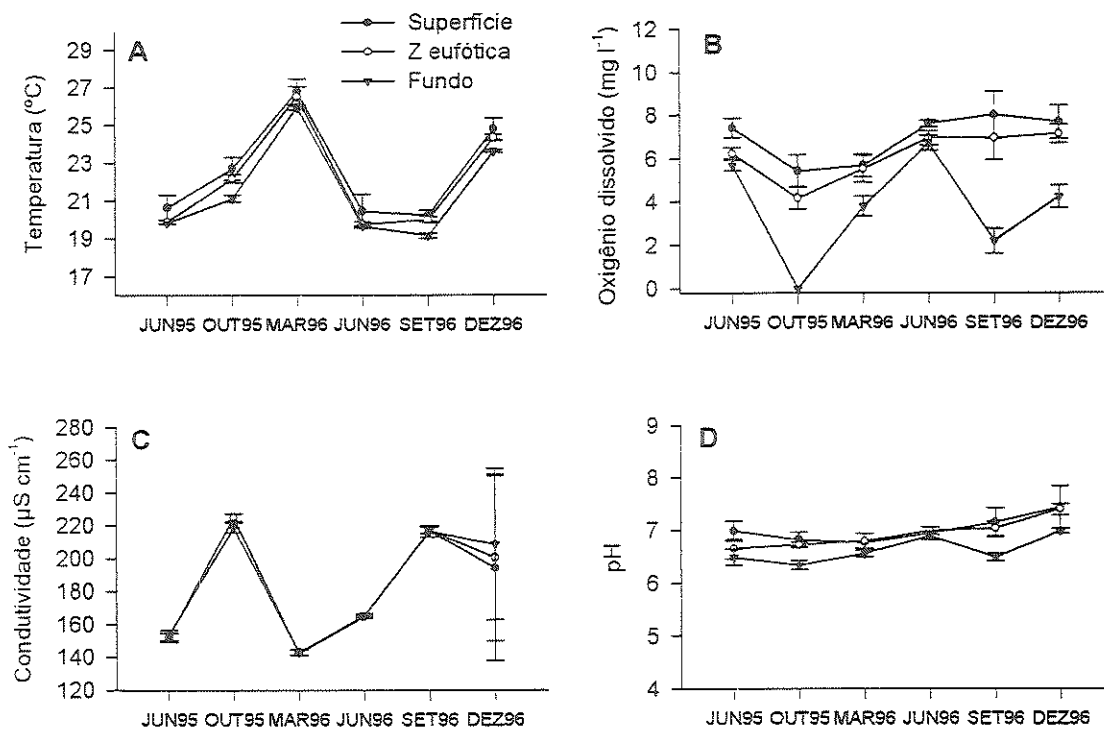


Figura 43. Variação da temperatura (A), oxigênio dissolvido (B), condutividade (C) e pH (D), médias das coletas de cada mês na superfície, final da zona eufótica e fundo, no ponto de coleta do reservatório do Barra Bonita. (Linhas verticais, mostrando o desvio padrão).

- Material suspenso total, matéria orgânica e inorgânica suspensa e clorofila *a*.

Em Barra Bonita, a concentração média de MST variou entre 2.68 e 9.75 mg L⁻¹ em junho de 1995 na superfície e março no fundo, respectivamente (fig. 44). Diferente do encontrado no reservatório no Broa, a MSI foi a fração predominante no fundo em todos os meses e também na zona eufótica em junho de 1995 e março e junho de 1996. Em

setembro e dezembro houve um predomínio da MSO na zona eufótica e em outubro foi aproximadamente 50% de MSO e 50% de MSI.

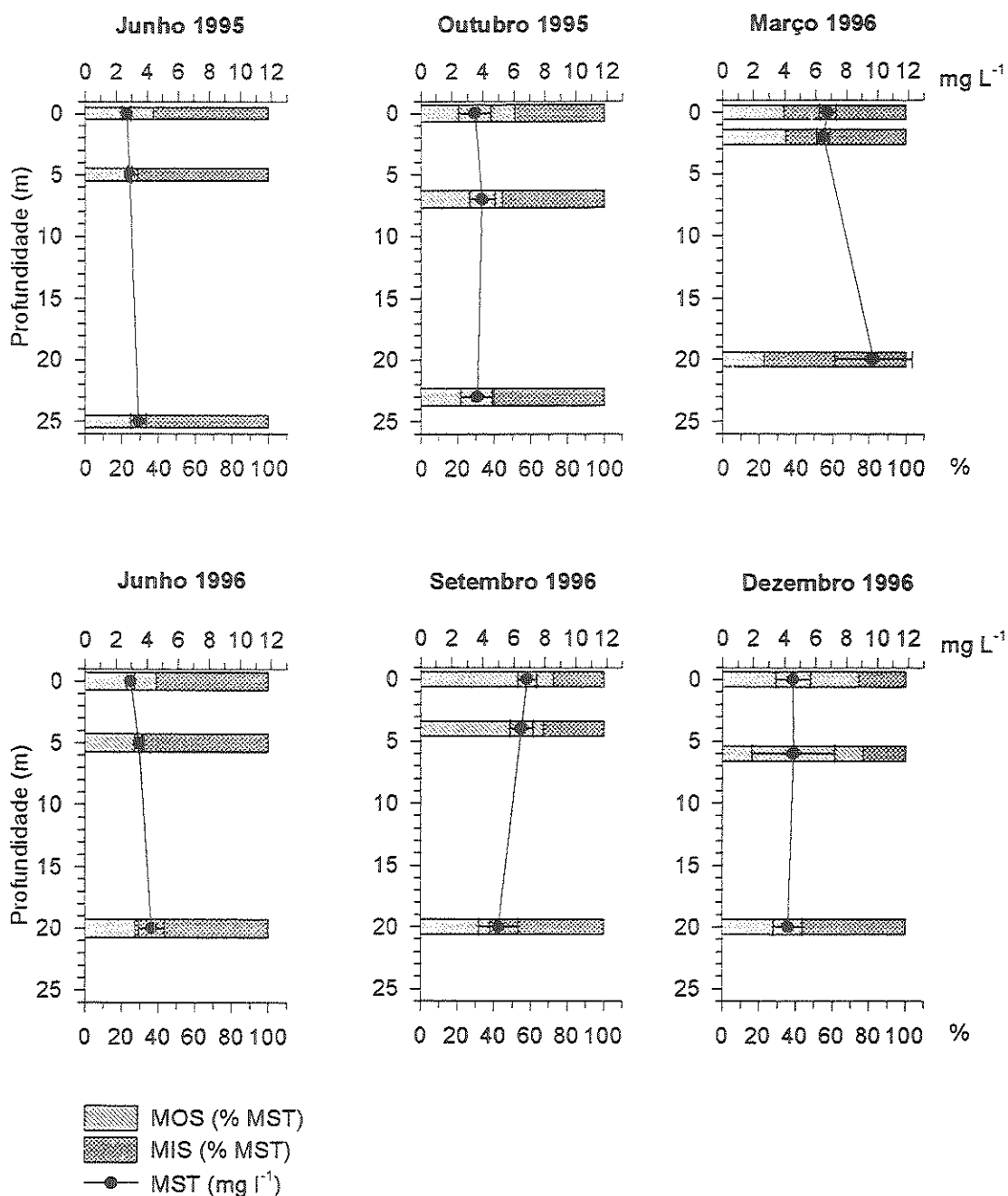


Figura 44. Concentração média de material suspenso total (MST), e porcentagem de matéria inorgânica (MSI) e orgânica (MSO), das coletas de cada mês na superfície, final da zona eufótica e fundo, no reservatório de Barra Bonita. (As linhas horizontais correspondem ao desvio padrão da média do MST)

A análise de variância indicou diferenças altamente significativas ($p < 0.01$) do MST, MSI e MSO (médias da coluna de água) entre os distintos meses. O MST teve diferenças significativas entre sua concentração na zona eufótica e o fundo em todos os meses, exceto em outubro de 1995 e dezembro de 1996. O MSI também apresentou diferenças significativas entre a zona eufótica e o fundo em todos os meses exceto em junho, enquanto que o MSO só apresentou diferenças verticais significativas em setembro de 1996.

A figura 45, mostra a variação do MST, MSI, MSO (médias mensais), na zona eufótica, nos diferentes meses de estudo. O MST correlacionou-se negativamente com o tempo de retenção ($r = -0.86$, $p < 0.05$, $n = 6$) e o MSI correlacionou-se negativamente com a profundidade do disco de Secchi ($r = -0.82$, $p < 0.05$, $n = 6$).

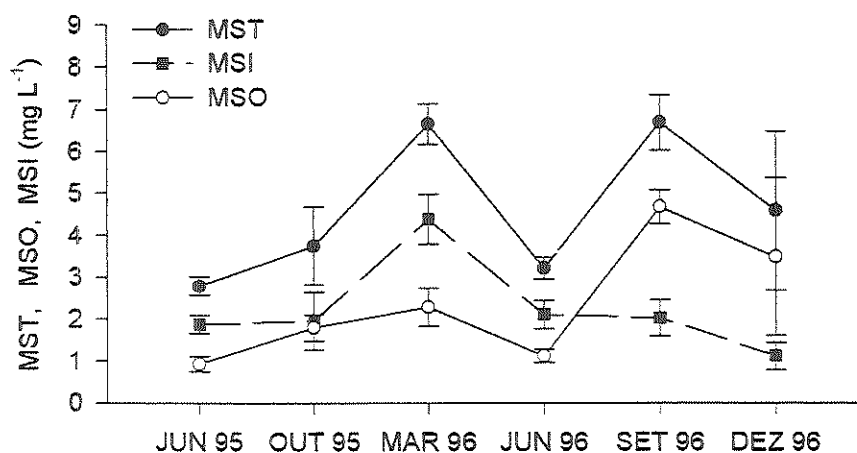


Figura 45. Variação temporal do material suspenso total (MST), inorgânico (MSI) e orgânico (MSO) na zona eufótica, no reservatório de Barra Bonita. (As linhas verticais correspondem ao desvio padrão da média das coletas, na superfície e final da zona eufótica)

A concentração média de clorofila α na zona eufótica variou entre 2.3 e 18.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ em junho e setembro de 1996 respectivamente (fig. 46). Todos os meses apresentaram diferenças significativas entre a concentração média de clorofila α na zona eufótica e no fundo (ANOVA, $p < 0.01$; em outubro de 1995, $p = 0.041$). Considerando as médias mensais deste parâmetro na zona eufótica, não foram obtidas correlações significativas com as outras variáveis.

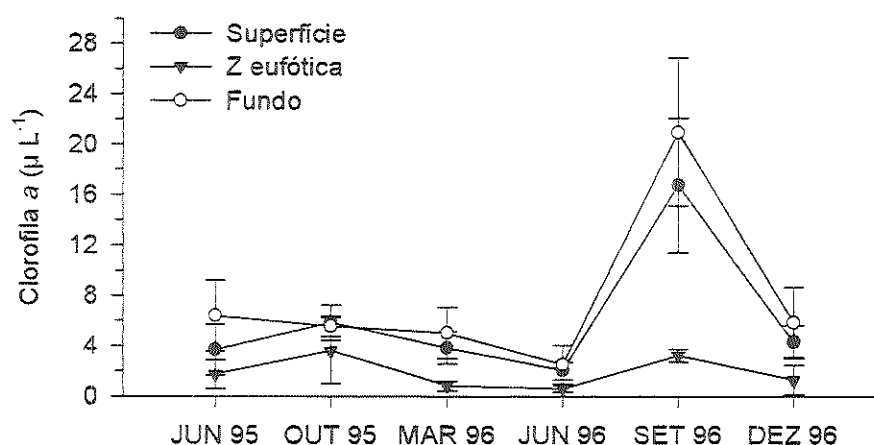


Figura 46. Variação da concentração de clorofila a na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses estudados, no reservatório de Barra Bonita. (As linhas verticais representam o desvio padrão da média das coletas de cada mês em cada profundidade)

Carbono total, inorgânico e orgânico dissolvidos.

O CTD em Barra Bonita, esteve composto aproximadamente por 50% de CID e 50% de COD em todas as coletas e profundidades. A maior concentração de CTD foi encontrada no mês de setembro, com uma média das coletas e da coluna de 11.4 mg L^{-1} e a menor em junho de 1995, com uma média de 3.5 mg L^{-1} . As variações sazonais (Tab. 5)

do CTD, CID e COD apresentaram diferenças significativas entre os meses de coleta (ANOVA, $p < 0.01$), porém em nenhum dos meses foram registradas variações verticais significativas destes parâmetros.

Tabela 5. Concentração de carbono total dissolvido (CTD), carbono inorgânico (CID) e orgânico (COD) dissolvido nos diferentes meses de estudo nas três profundidades de coleta, no reservatório de Barra Bonita. O desvio padrão (DP), corresponde à média das coletas de cada mês.

DATA	PROF.	CTD	DP	CID	DP	COD	DP
Junho 95	Superfície	3.59	1.06	1.85	0.76	1.74	0.57
	Zeuf.	3.96	0.91	2.17	0.64	1.79	0.43
	Fundo	2.99	1.15	1.50	0.90	1.49	0.34
Outubro 95	Superfície	11.12	1.44	5.08	0.26	6.04	1.19
	Zeuf.	10.76	0.64	5.11	0.50	5.64	0.15
	Fundo	10.86	0.68	5.46	0.30	5.40	0.36
Março 96	Superfície	8.73	0.52	4.40	0.34	4.33	0.57
	Zeuf.	8.99	0.29	4.42	0.23	4.57	0.47
	Fundo	7.57	4.00	4.16	2.10	3.41	1.90
Maio 96	Superfície	9.57	0.30	5.50	0.23	4.07	0.08
	Zeuf.	9.32	0.45	5.30	0.29	4.01	0.18
	Fundo	9.33	0.34	5.35	0.35	3.99	0.09
Setembro 96	Superfície	11.27	0.72	5.78	0.63	5.49	0.40
	Zeuf.	11.61	0.43	6.21	0.24	5.39	0.37
	Fundo	11.21	0.43	6.17	0.31	5.04	0.40
Dezembro 96	Superfície	9.11	0.95	4.56	0.63	4.55	0.37
	Zeuf.	9.05	0.95	4.40	0.68	4.65	0.35
	Fundo	8.66	0.68	4.32	0.60	4.33	0.29

- Nitrogênio total particulado, fósforo total, fósforo total dissolvido e fósforo total particulado.

A concentração de NTP apresentou um gradiente vertical com o máximo na zona eufótica e mínimo no fundo, no entanto este gradiente só apresentou diferenças significativas entre a zona eufótica e o fundo em setembro de 1996 (ANOVA, $p < 0.01$). O maior valor de concentração de NTP registrado na zona eufótica foi de $734 \mu\text{g L}^{-1}$ em dezembro de 1996 e o menor de $109 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho de 1995. No fundo o maior valor de NTP foi registrado em setembro de 1996 com $285 \mu\text{g L}^{-1}$ e o menor de $108 \mu\text{g L}^{-1}$ em junho de 1996. O NTP registrou diferenças altamente significativas entre os meses de amostragem (ANOVA, $p < 0.01$). A concentração média de NTP na zona eufótica correlacionou-se positivamente com o MSO ($r = 0.97$, $p < 0.05$, $n = 6$), o que pode ser observado na figura 47.

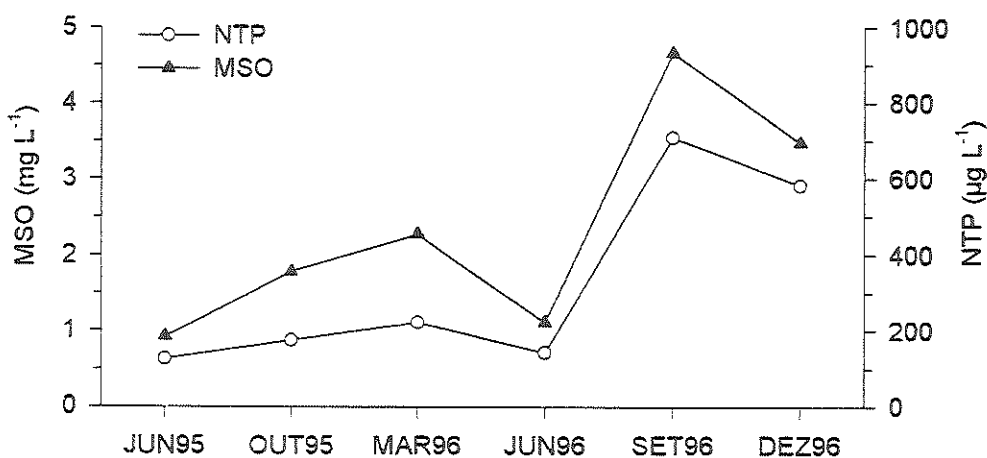


Figura 47. Variação do nitrogênio total particulado (NTP) e sua relação com o material suspenso orgânico (MSO), nos meses de coleta na zona eufótica do reservatório do Barra Bonita.

O PT teve diferenças significativas entre sua concentração na zona eufótica e o fundo só nos meses de junho (ANOVA, $p=0.03$) e setembro de 1996 (ANOVA, $p<0.01$). A concentração de PT variou entre, 33.7 e 111.7 $\mu\text{g L}^{-1}$ em junho de 1996 no fim da zona eufótica e outubro no fundo, respectivamente. O PTD, registrou diferenças verticais significativas só em outubro de 1995 ($p=0.017$) e sua concentração oscilou entre 16 e 75.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ em setembro e dezembro respectivamente, no fim da zona eufótica. O PTP (fig. 48), foi a fração predominante na coluna de água em março, junho e dezembro de 1996 (70, 75 e 82%, respectivamente), enquanto que em junho e outubro de 1995 e setembro de 1996 predominou a fração particulada (71, 73 e 58%, respectivamente). O PTP registrou diferenças verticais significativas, nos mesmos meses que o PT (junho e setembro de 1996, ANOVA, $p<0.014$). O menor valor de PTP, foi observado em maio de 1996 no fim da zona eufótica (7.27 $\mu\text{g L}^{-1}$) e o maior em outubro de 1995 no fundo (80.7 $\mu\text{g L}^{-1}$). Tanto o PT, o PTD como o PTP registraram diferenças significativas entre os meses estudados (ANOVA $p<0.01$).

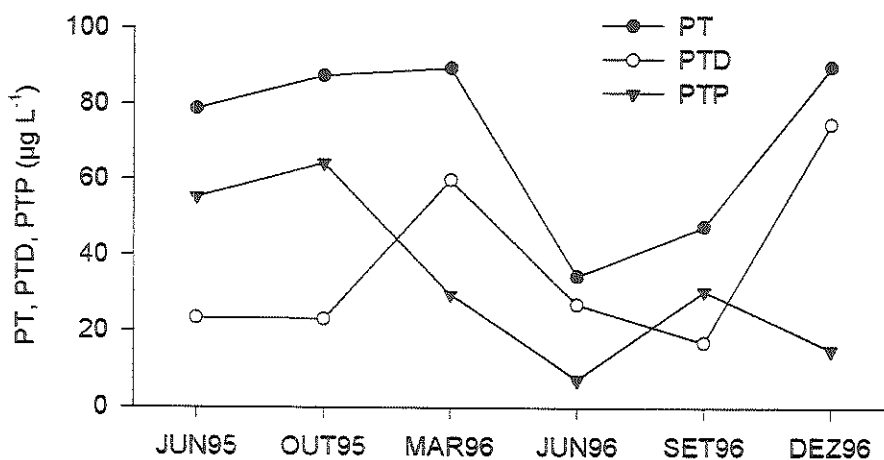


Figura 48. Variação das concentrações de fósforo total (PT), fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo total particulado (PTP) no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados. (Médias da zona eufótica)

- Metais totais (Ca, Mn, Fe, K e Al)

De maneira geral a concentração dos metais analisados foi sempre maior em Barra Bonita que no Broa (fig. 49). A concentração de cálcio máxima foi registrada em setembro (6.44 mg L^{-1}) e a mínima em março (1.95 mg L^{-1}), ambos valores no final da zona eufótica. A concentração de cálcio (média da zona eufótica), correlacionou-se negativamente com o MSI ($r=-0.88$, $p<0.05$, $n=6$). A concentração de ferro variou entre 0.22 e 2.06 mg L^{-1} no fundo, em maio e março respectivamente. O Fe registrou correlação positiva com a concentração de MSI ($r=0.86$) e negativa com a concentração de cálcio ($r=-0.83$, $p<0.05$, $n=6$). O manganês registrou o mínimo em setembro e dezembro na superfície (0.09 mg L^{-1}) e o máximo em dezembro no fundo (0.28 mg L^{-1}). O Mn correlacionou-se negativamente com a concentração de CID ($r=-0.81$, $p<0.05$, $n=6$). O alumínio atingiu o máximo em maio no fundo (2.7 mg L^{-1}) e o mínimo em setembro, no final da zona eufótica (0.23 mg L^{-1}). A concentração média de alumínio na zona eufótica correlacionou-se negativamente com a do Ca ($r=-0.85$) e positivamente com a do Fe ($r=0.99$, $p<0.05$, $n=6$).

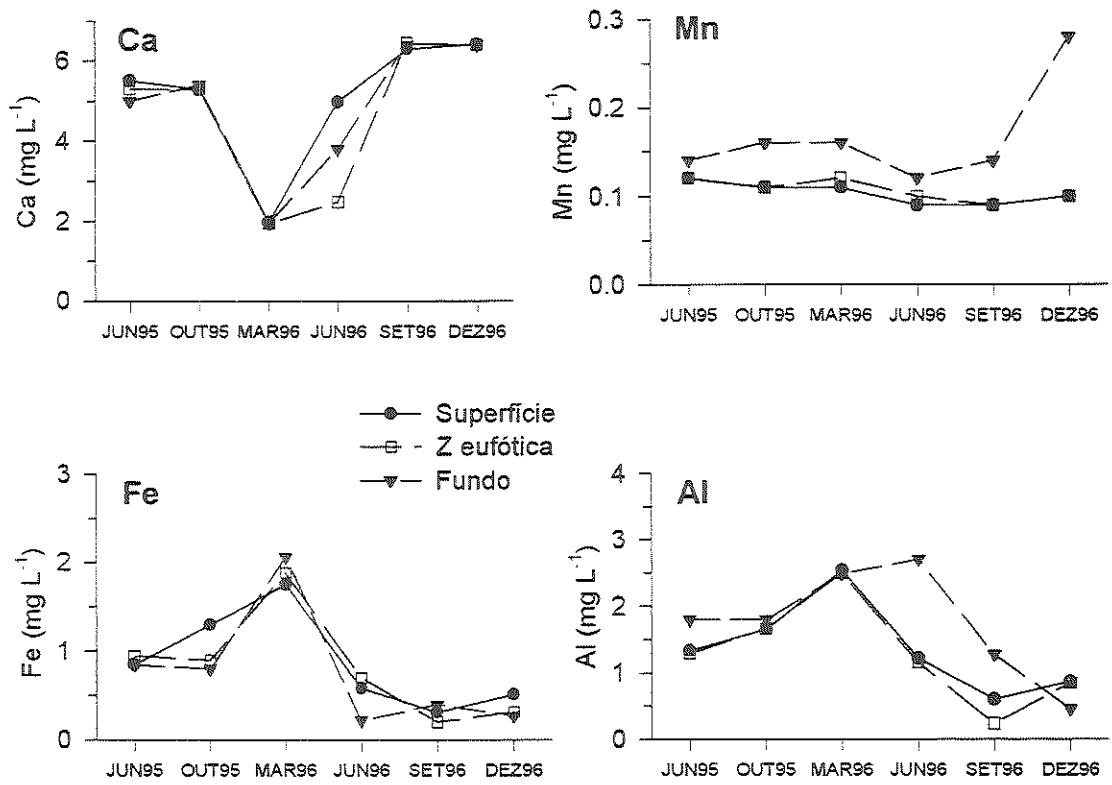


Figura 49. Variação da concentração de Ca, Mn, Fe e Al, na superfície, final da zona eufótica e no fundo, nos meses de coleta, no reservatório de Barra Bonita.

4.2.2- Taxas de sedimentação estimadas.

- Fluxo total de materiais.

A taxa de sedimentação total bruta em Barra Bonita foi sempre maior à do Broa, enquanto que, a sedimentação líquida foi da mesma ordem de magnitude. A sedimentação bruta mínima, registrada durante este estudo foi de $16.7 \pm 1.2 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em outubro de 1995 e a máxima $55.6 \pm 7.1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em março de 1996 (fig. 50). Como no Broa, também não foram registradas grandes diferenças entre as réplicas das armadilhas de sedimentação em nenhum mês.

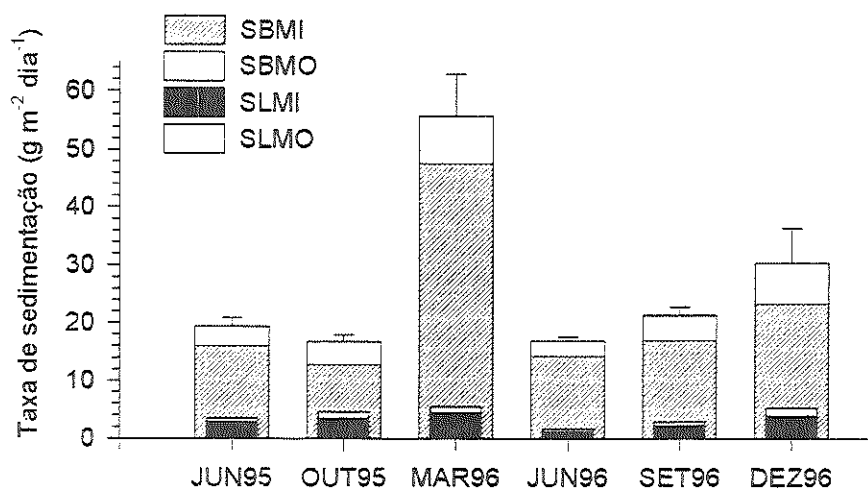


Figura 50 Taxa de sedimentação total bruta (SB) e líquida (SL) e suas frações orgânicas (MO) e inorgânicas (MI), no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados. O desvio padrão (linha vertical), corresponde à sedimentação total bruta.

A sedimentação total líquida (fig. 50) máxima, ocorreu em março de 1996 ($5.4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a mínima em junho de 1996 ($1.6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). A sedimentação total bruta anual (tabela 6), foi de $9.74 \text{ k m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que a sedimentação total líquida anual foi de $1.4 \text{ K m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. A maior porcentagem de sedimentação líquida, com relação à sedimentação bruta (mínima ressuspensão), ocorreu em outubro de 1995 (28%) enquanto que a mínima (máxima ressuspensão) foi registrada em maio de 1996 (9%). A média anual da sedimentação líquida foi de 16%. Diferente do encontrado no

Broa, o material inorgânico predominou amplamente no total sedimentado, com uma composição média de 82% de matéria inorgânica e 18% de matéria orgânica. A maior porcentagem de material inorgânico foi coletado em março de 1996 (85.4%) e a menor em outubro de 1995 (76.7%).

A sedimentação de clorofila *a* (fig. 51), foi menor à do Broa, a máxima foi registrada em setembro de 1996 ($10.9 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a mínima em junho de 1995 ($0 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), sendo que a sedimentação média anual calculada foi de $1.3 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Ao igual que no Broa, não se considerou a ressuspensão dos sedimentos como fonte de clorofila *a*, pelo qual a sedimentação bruta corresponde à sedimentação líquida.

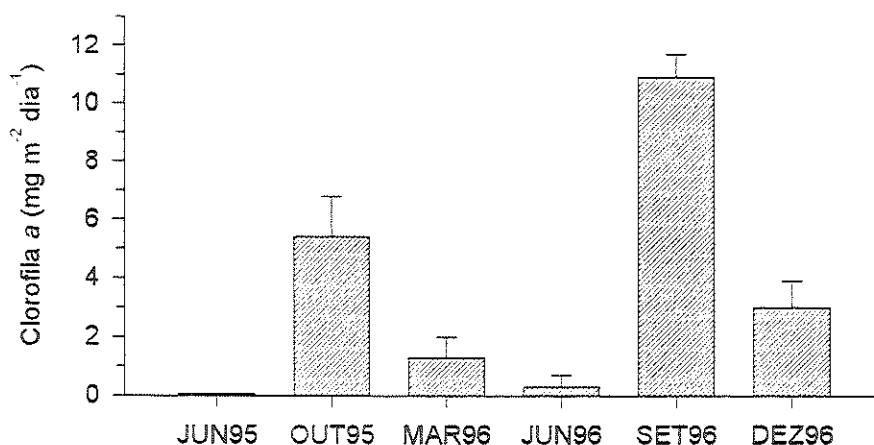


Figura 51. Taxa de sedimentação de clorofila *a*, nos distintos meses de coleta no reservatório de Barra Bonita. (As linhas verticais correspondem ao desvio padrão das réplicas das câmaras de sedimentação).

A sedimentação bruta de NTP (fig. 52) registrou o máximo em outubro de 1995 ($1704 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e o mínimo em junho de 1995 ($110 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), enquanto que a sedimentação líquida de NTP (fig. 52) variou entre $14.5 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em maio de 1996 e $474.6 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em outubro de 1995. A taxa média anual de sedimentação bruta foi de $311 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e a líquida $70 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

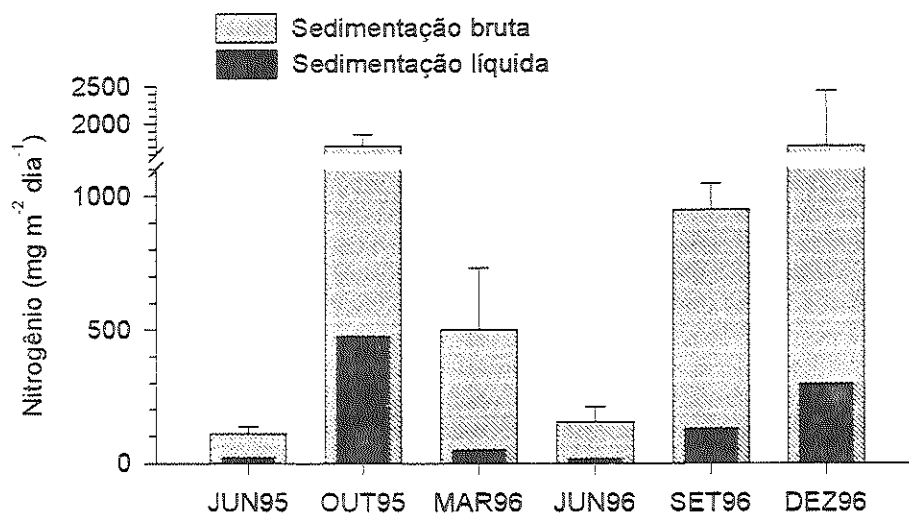


Figura 52. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de nitrogênio, no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados. O desvio padrão (linhas verticais), corresponde à média da sedimentação total bruta, das replicas das armadilhas de sedimentação.

A sedimentação bruta de fósforo (fig. 53) oscilou entre 33.5 e 79.7 mg m⁻² dia⁻¹, nos meses de junho de 1996 e março de 1996 respectivamente. A taxa de sedimentação líquida esteve compreendida entre 3.1 e 11.3 mg m⁻² dia⁻¹, em junho de 1996 e outubro de 1995, respectivamente. A taxa de sedimentação bruta anual estimada, foi de 19 g m⁻² ano⁻¹ e a líquida, 2.6 g m⁻² ano⁻¹.

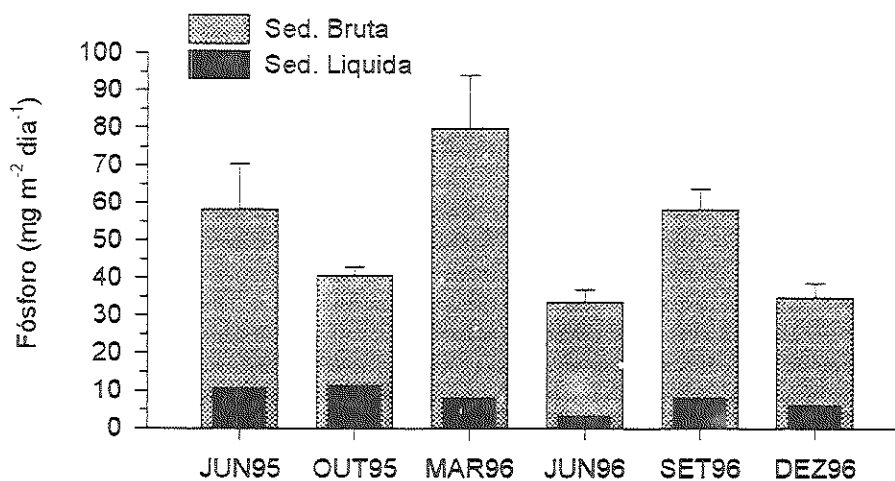


Figura 53. Taxa de sedimentação total bruta e líquida de fósforo, no reservatório de Barra Bonita, nos meses estudados. O desvio padrão (linhas verticais), corresponde à média da sedimentação total bruta, das replicas das armadilhas de sedimentação.

A figura 54, apresenta os valores percentuais do fracionamento de fósforo no reservatório de Barra Bonita. O PR-NH₄Cl, variou entre 1.3 e 13% em junho de 1996 e outubro de 1995, respectivamente. O PR-BD representou entre 11.6 e 29% do PT sedimentado em junho de 1996 e dezembro de 1996, respectivamente. O PR-NaOH foi a fração dominante das formas do fósforo analisadas, nos meses de junho de 1995 e março de 1996, registrando a maior porcentagem em março de 1996 (37.3%) e a menor em junho de 1996 (11.6%). Nos meses de outubro de 1995 e junho, setembro e dezembro de 1996, a fração dominante foi a orgânica (PNR). O PNR, registrou a maior porcentagem em junho de 1996 (88.8%) e a menor em junho de 1995 (11.1%). Como no reservatório do Broa o fósforo não reativo extraído com NaOH, foi a fração do PNR predominante em todos os meses exceto em setembro, quando o PNR-BD representou 77% do PNR total. O P-HCl, variou entre 3 e 20%, em setembro e março de 1996, respectivamente. O P-ref. teve sua máxima porcentagem em junho de 1995 e setembro de 1996 (14.7%). Nos meses de outubro de 1995 e março e junho de 1996, foram estimados valores negativos desta fração, devido a que o fósforo total, estimado separadamente mediante a digestão das amostras, foi menor que a soma das frações. No entanto, a máxima diferença foi de -8.9%, o que se encontra dentro do

erro da metodologia de extração seqüencial e pode-se supor que o P-ref nestes meses foi de 0%.

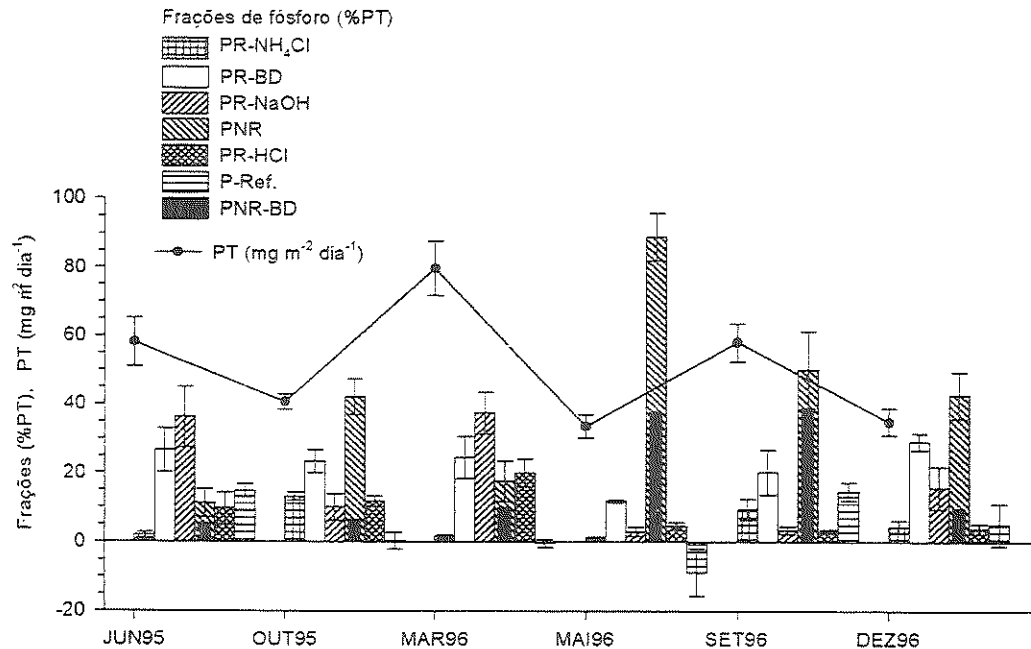


Figura 54. Taxa de sedimentação bruta de fósforo total (PT) e porcentagens das diferentes frações analisadas segundo Psenner, *et al.* (1988) - PR-NH₄Cl: P lábil, PR-BD: P-Fe, PR-NaOH: P-Al, PNR: P orgânico, PR-HCl: P-Ca, P-Ref.: P residual, PNR-BD: P orgânico extraído com ditionito tamponada (*buffer*) - no reservatório de Barra Bonita, nas datas de coleta (médias das armadilhas de sedimentação com seus desvios padrões).

- Sedimentação de metais.

De maneira similar ao acontecido no reservatório do Broa, mas sem exceções, os metais analisados registraram a sedimentação bruta mínima e máxima nos mesmos meses (fig. 55). Os mínimos aconteceram em junho de 1996, com os seguintes valores em g m⁻² dia⁻¹: Ca=0.45, Fe=0.13, Mn=0.02 e Al=0.44. Já a sedimentação bruta máxima foi registrada em março de 1996, com os seguintes valores, também em g m⁻² dia⁻¹: Ca=1.36, Fe=2.5, Mn=0.49 e Al=6.86.

A sedimentação líquida (fig. 55) máxima do Al, foi registrada em março de 1996 ($0.67 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a mínima em junho de 1996 ($0.04 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). A sedimentação líquida mínima de Ca, ocorreu em setembro de 1996 ($0.09 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a máxima em dezembro de 1996 ($0.17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), a de Fe, foi mínima também em setembro de 1996 ($0.09 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e máxima em outubro de 1995 ($0.3 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), enquanto que o Mn registrou a mínima em junho de 1996 ($0.002 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e a máxima em junho de 1995 ($0.06 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

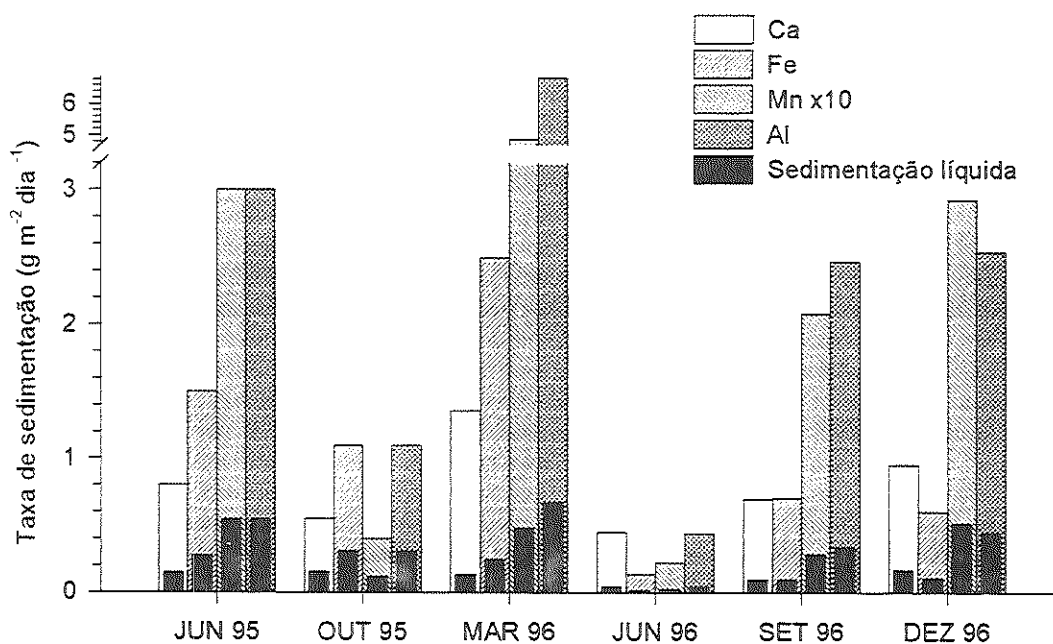


Figura 55. Taxas de sedimentação de cálcio, ferro, manganês (vezes dez) e alumínio, bruta e líquida nos meses de coleta no reservatório de Barra Bonita.

Tabela 6. Fluxo sedimentar bruto, ressuspensão e sedimentação líquida anual no reservatório de Barra Bonita.

Parâmetro	Sed Bruta	Ressuspensão	Sed Líquida
Sed Tot ($K m^{-2} ano^{-1}$)	9.7	8.3	1.4
SMI ($K m^{-2} ano^{-1}$)	7.9	6.8	1.1
SMO ($K m^{-2} ano^{-1}$)	1.8	1.5	0.3
SCI α ($g m^{-2} ano^{-1}$)	1.3	----	1.3
SN ($g m^{-2} ano^{-1}$)	310.6	251	59.6
SP ($g m^{-2} ano^{-1}$)	18.5	15.7	2.8
SCa ($g m^{-2} ano^{-1}$)	293	248	45
SFe ($g m^{-2} ano^{-1}$)	398	335	63
SMn ($g m^{-2} ano^{-1}$)	81	70	11
SK ($g m^{-2} ano^{-1}$)	712	611	101
SAI ($g m^{-2} ano^{-1}$)	998	856	142
Porcentagem total	100	85.6	14.4

4.2.1- Relações entre as taxas de sedimentação dos parâmetros analisados no reservatório de barra bonita.

Correlações com as frações de fósforo.

Das diferentes frações de fósforo analisadas, foram obtidas correlações significativas ($p < 0.05$) entre o PNR-BD e a SCI α , O PNR-NaOH e SN, e o PR-BD e a Sfe e a SCa (fig.56).

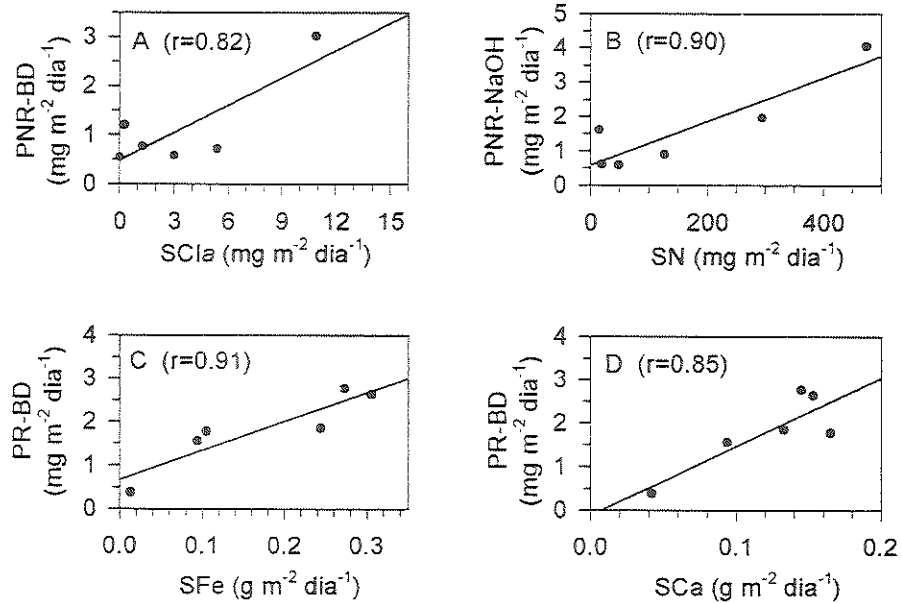


Figura 56. Correlações entre, a taxa de sedimentação líquida de fósforo orgânico, extraído com NaOH (PNR-NaOH) e A: taxa de sedimentação de clorofila a, B: sedimentação de nitrogênio e as correlações entre, taxa de sedimentação de fósforo complexado ao ferro extraído com ditionito (PR-BD) e taxa de sedimentação de ferro (C) e sedimentação de cálcio (D).

Análise de agrupamentos.

Na figura 57, se apresenta o resultado da análise de agrupamentos das variáveis estudadas do fluxo sedimentar. Para a interpretação desta análise, foi usado o mesmo critério de distância de dissimilaridade, de até 40% utilizado no Broa, para a formação dos agrupamentos. Com base neste critério ficaram três grupos. Dentro do primeiro podem-se observar três sub-agrupamentos, o primeiro sub-grupo integrado pela sedimentação de Fe e de P-BD(R), unidos à sedimentação de P-HCl, um segundo sub-grupo, unido ao primeiro, formado pela sedimentação de Ca e matéria orgânica,

aos quais se uniram à sedimentação de matéria inorgânica e um terceiro sub-grupo, formado pela sedimentação de Al e de Mn unido ao resto das variáveis deste primeiro grupo. O segundo grupo esteve formado pela união do PNR-NaOH sedimentado e a sedimentação de nitrogênio, ao qual se uniu o P-NH₄Cl, e o terceiro pela sedimentação de P-BD(NR) e clorofila α . Acima do 40% ficaria o PR-NaOH sedimentado unido ao primeiro grupo enquanto que o P-ref seria a variável mais dissimile.

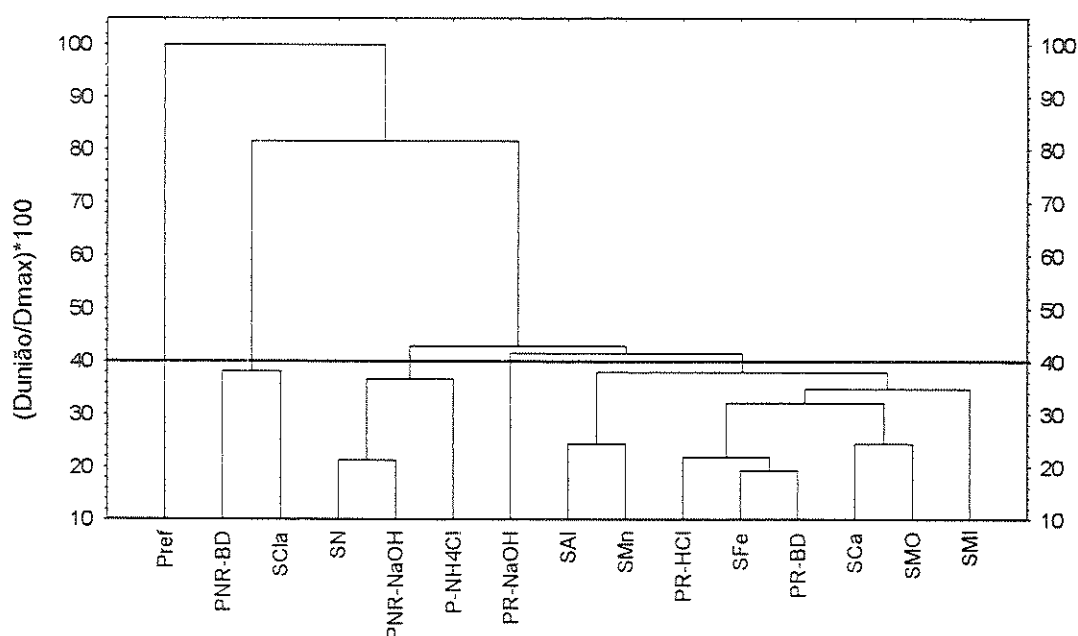


Figura 57. Análise de agrupamentos das taxas de sedimentação de, matéria inorgânica (SMI), matéria orgânica (SMO), cálcio (SCa), P-Fe (PR-BD), ferro (SFe), P-Ca (PR-HCl), manganês (SMn), alumínio (SAl), P-Al (PR-NaOH), P lábil (PR-NH₄Cl), P orgânico extraído com NaOH (PNR-NaOH), nitrogênio (SN), clorofila α (SCla), P orgânico extraído com ditionito tamponado (PNR-BD) e P residual (P-ref). (Reservatório de Barra Bonita).

Análise de componentes principais

Para a Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizado um total de 34 variáveis que geraram cinco fatores que explicaram 96% da variância total. Os dois primeiros componentes pode explicar 56.4% da variância total (fig.58).

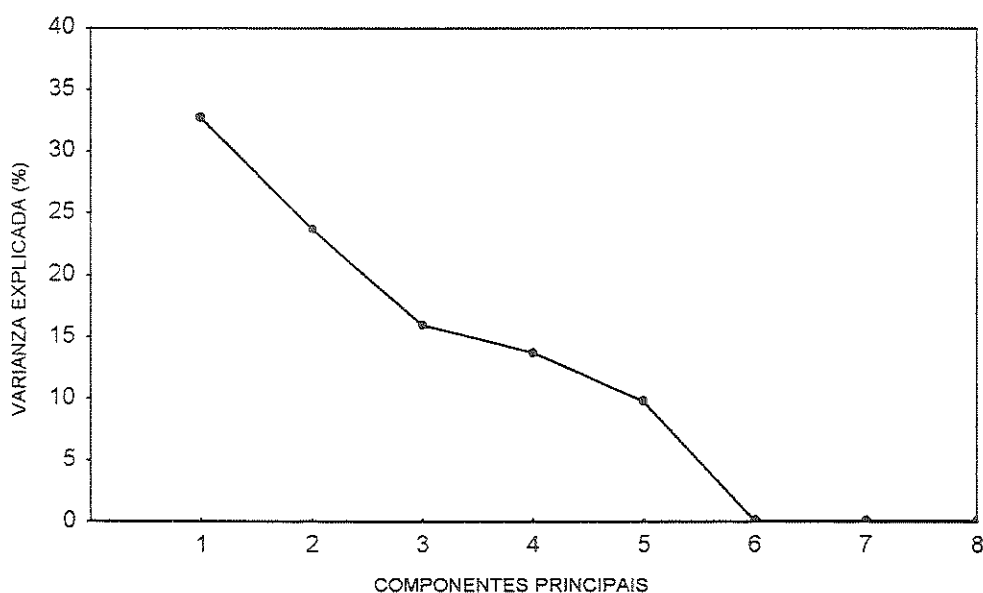


Figura 58. Porcentagem de variância total explicada por cada componente principal, no reservatório de Barra Bonita.

A posição das variáveis originais com respeito aos dois primeiros componentes principais, definiram quatro grandes grupos (fig. 59). O primeiro grupo correlacionou-se positivamente com o primeiro e segundo componente e ficou intergrado por Mn, PR-NaOH e PR-HCl. O segundo grupo, também correlacionado positivamente ao primeiro componente mas negativamente com o segundo ficou integrado por Al, Fe, MSI e SMI e vazão. O terceiro grupo correlacionou-se negativamente ao primeiro fator e foi integrado pela condutividade, Ca, NTP, Scla, SMO, MSO, pH, CID, Cla, PNR-BD, COD, SN, PR-NH₄Cl, DS, OD, e PNR-NaOH. O quarto grupo, teve sua maior contribuição positivamente com o segundo



componente, e ficou integrado pelas taxas de sedimentação de SCa, PR-BD, P-ref, SFe, PTP, tempo de retenção, SMn e SAl. Os parâmetros que mais contribuíram negativamente à formação do segundo componente principal foram o CID, vazão, PTD e a temperatura.

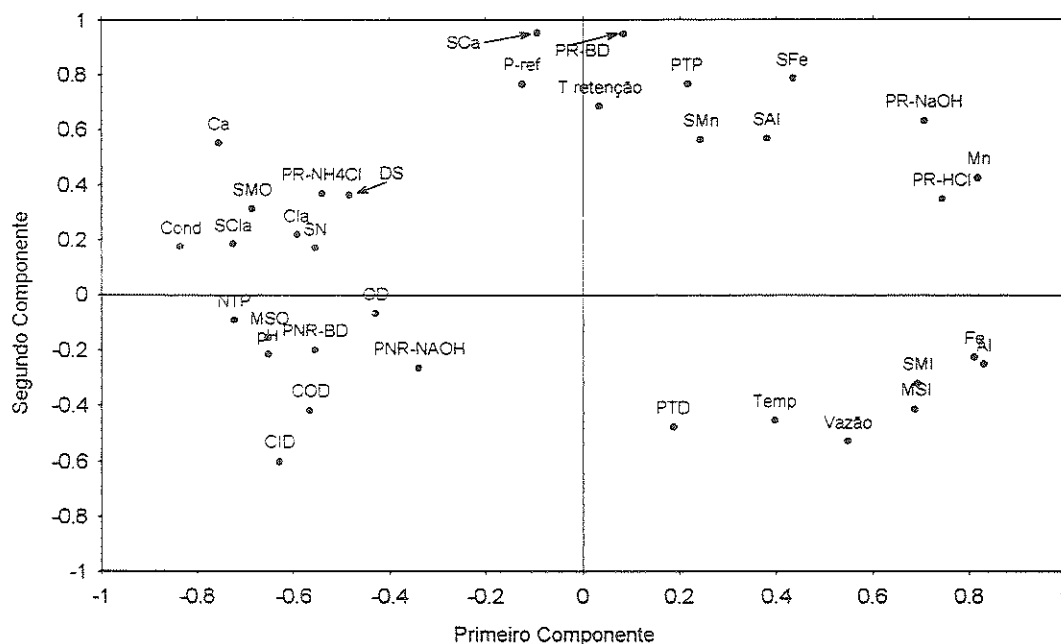


Figura 59. Correlação das variáveis originais com os dois primeiros componentes principais, no reservatório de Barra Bonita. Taxas de sedimentação de: matéria inorgânica (SMI), matéria orgânica (SMO), P lábil (P-NH₄Cl), P-Fe (PR-BD), P orgânico extraído com ditionito tamponada (PNR-BD), P-Al (PR-NaOH), P orgânico extraído com NaOH (PNR-NaOH), P-Ca (PR-HCl), P-refratário (P-ref), nitrogênio (SN), clorofila a (SCla), cálcio (SCa), ferro (SFe), manganês (SMn), alumínio (SAl). Dados da zona eufótica de: profundidade do disco de Secchi (DS), condutividade (Cond), temperatura (Temp), pH, oxigênio dissolvido (OD), carbono inorgânico (CID) e orgânico dissolvido (COD), fósforo total dissolvido (PTD) e particulado (PTP), nitrogênio total particulado (NTP), metais (Ca, Mn, Fe, Al), matéria suspensa inorgânica (MSI) e orgânica (MSO), clorofila a (Cla). Variáveis hidrológicas: vazão e tempo de retenção (T retenção).

As observações (fig. 60) ficaram correlacionadas com os dois primeiros componentes principais da seguinte maneira: junho de 1995 correlacionou-se positivamente com o primeiro e segundo componente; março de 1996, positivamente com o primeiro e negativamente ao segundo; setembro e dezembro de 1996, correlacionaram-se negativamente com o primeiro componente, outubro de 1995, positivamente com o segundo e junho de 1996 negativamente a este.

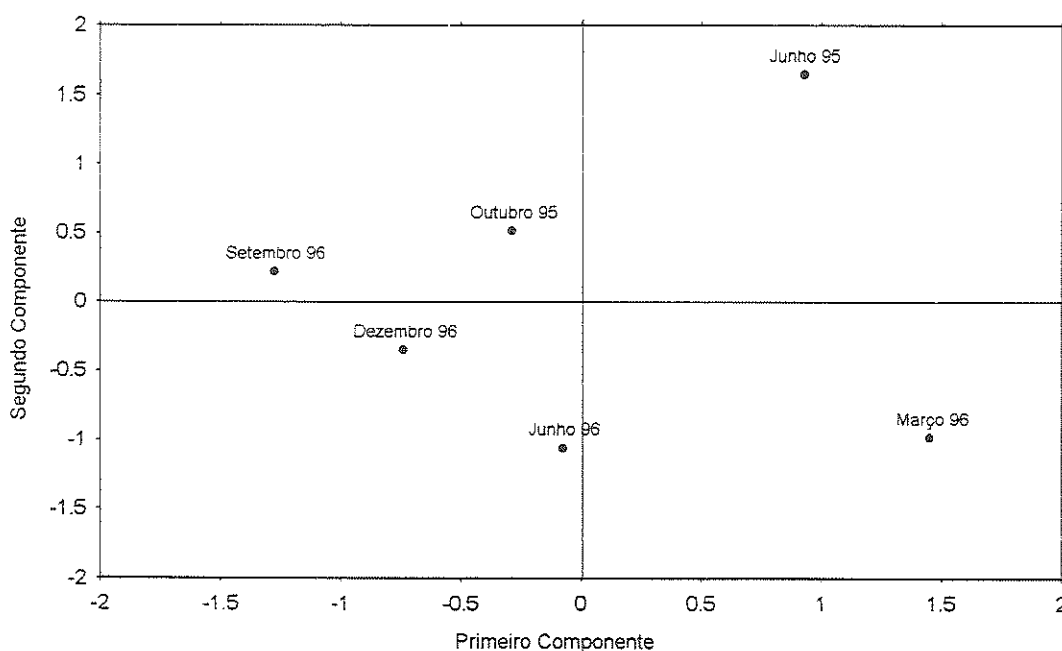


Figura 60. Correlação das observações com os dois primeiros componentes (meses de coleta), do reservatório de Barra Bonita.

4.2.4- Caracterização dos sedimentos.

- Conteúdo orgânico, inorgânico e de água.

Neste reservatório, os perfis de MI, MO apresentaram poucas variações verticais (fig. 61). A média do conteúdo orgânico, da coluna de sedimento dos três

testemunhos, analisados, foi de 12%ps. (CV=28%) e a média do primeiro centímetro 13% (CV=12%). O conteúdo de carbono total médio dos dez primeiros centímetros foi de 2.7% do peso seco (CV=9%), isto correspondo aproximadamente a 25% da matéria orgânica acumulada.

O conteúdo médio de água da coluna dos três testemunhos foi de 76% (CV=5%), observando-se uma tendência a diminuir com a profundidade do sedimento (fig. 61). O valor médio na superfície foi de 83% (CV=4%).

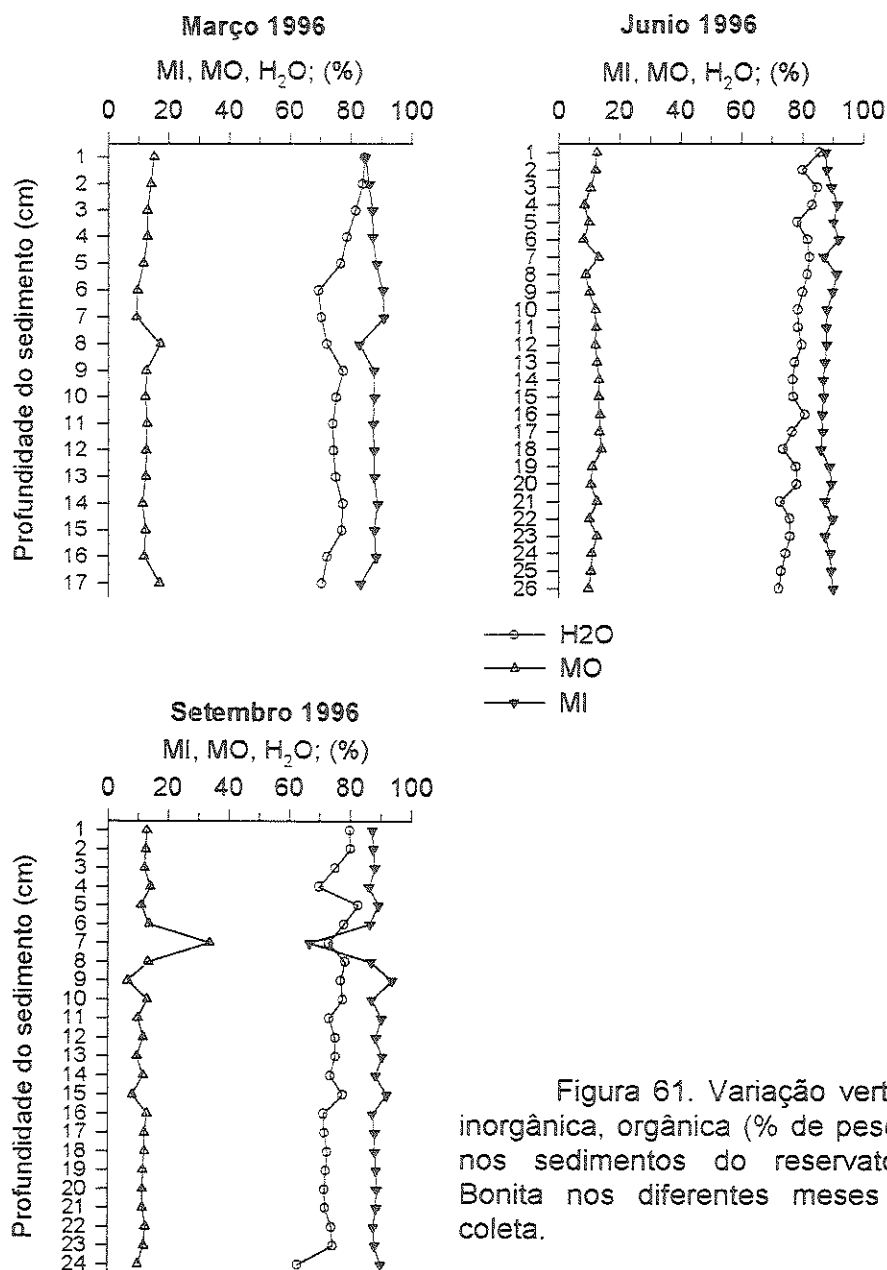


Figura 61. Variação vertical da matéria inorgânica, orgânica (% de peso seco) e água nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita nos diferentes meses no ponto de coleta.

- Nitrogênio e fósforo

O conteúdo de nitrogênio e fósforo foi maior na superfície do sedimento nos três testemunhos analisados, mostrando uma diminuição com oscilações, em função da profundidade (fig. 62). A média da coluna das três amostras, foi de 0.7%ps. (CV=57%) de nitrogênio e 0.05% (CV=60%) de fósforo e a média na superfície foi

de 1.24% (CV=42%) de nitrogênio e 0.1% (CV=50%) de fósforo. Tanto o nitrogênio como o fósforo total registraram concentrações menores no testemunho de março de 1996.

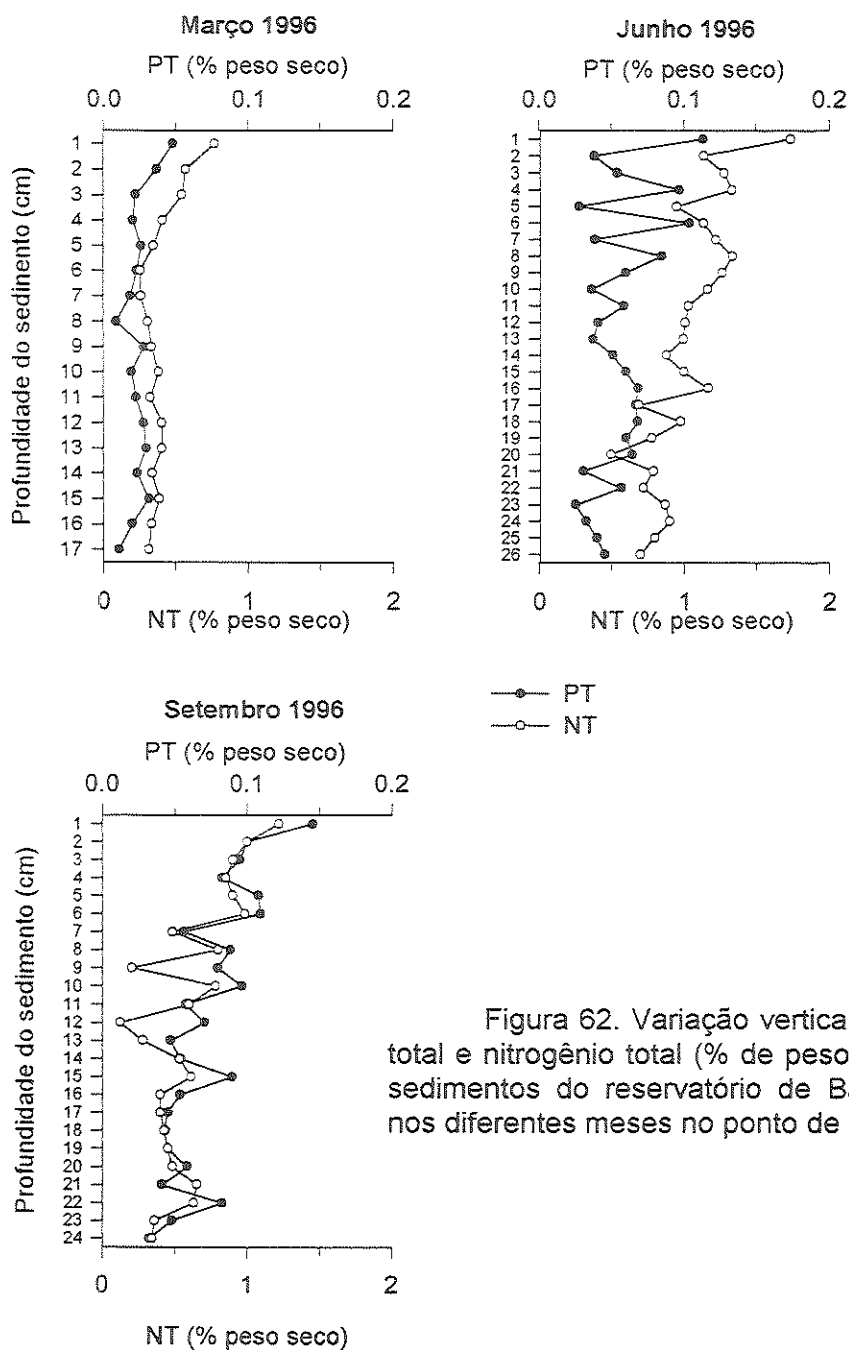


Figura 62. Variação vertical do fósforo total e nitrogênio total (% de peso seco), nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita nos diferentes meses no ponto de coleta.

Metais (Ca Fe, Mn e Al)

Dos metais analisados, a concentração de cálcio ficou abaixo do limite de detecção do método. O Fe, Mn e Al, tiveram um comportamento vertical similar, com maiores valores nas primeiras camadas e valores menores nas últimas (fig. 63). A concentração média de Fe na superfície do sedimento foi de 1.6%ps. (CV=6%), a de Mn 0.3% (CV=33%) e a de Al 5.5% (CV=1%).

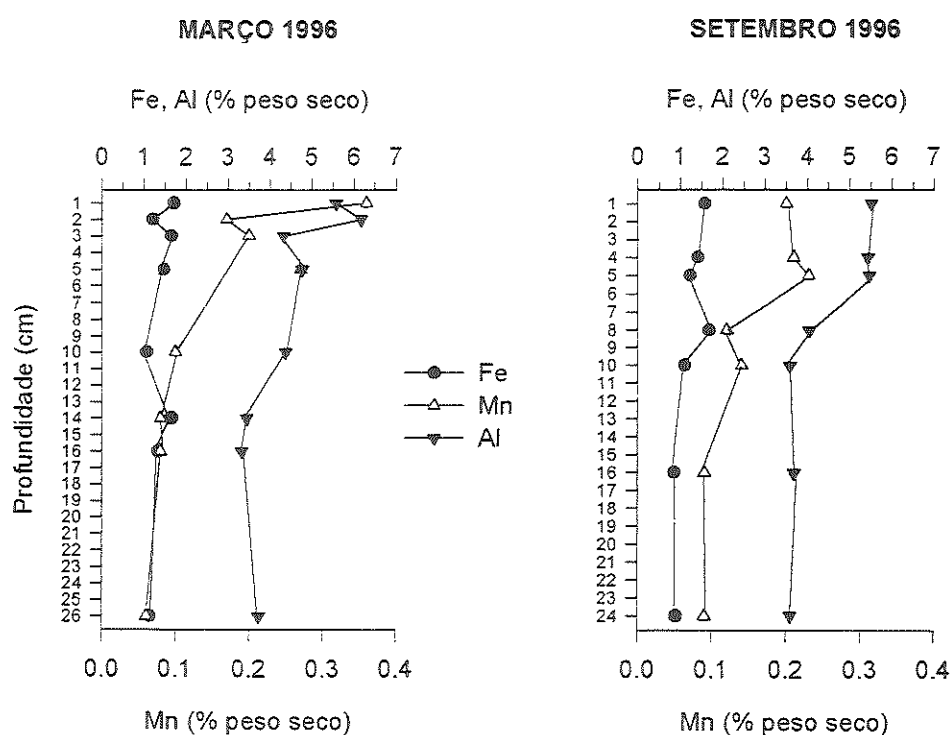


Figura 63. Variação vertical do ferro, alumínio e manganês nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita em março e maio de 1996, no ponto de coleta.

- Fracionamento de fósforo

Na figura 64 se mostra o resultado do fracionamento do fósforo no sedimento superficial, do reservatório de Barra Bonita. A concentração de PT foi similar nas duas amostras analisadas (0.15 e 0.12% em março e setembro de 1996,

respectivamente). A concentração de PR-NH₄Cl foi baixa (menor que 1% em março e 1.7% em setembro). O PR-BD foi a fração dominante nas duas amostras (52 e 62% em março e setembro respectivamente) e a concentração de PR-NaOH foi de 12% em março e de 25% em setembro. A fração orgânica PRN total (soma do PNR-BD e o PNR-NaOH), variou entre 34 e 8%, sendo que a fração correspondente ao PNR-BD foi muito menor (3 e 1% do PT) à do PNR-NaOH nas duas amostras.. O PR-HCl foi baixo nas duas amostras (1.2 e 1.6%, em março e setembro de 1996, respectivamente). E o P-Ref (fósforo residual o refratário) foi baixo também, com valores menores ao 1% do PT.

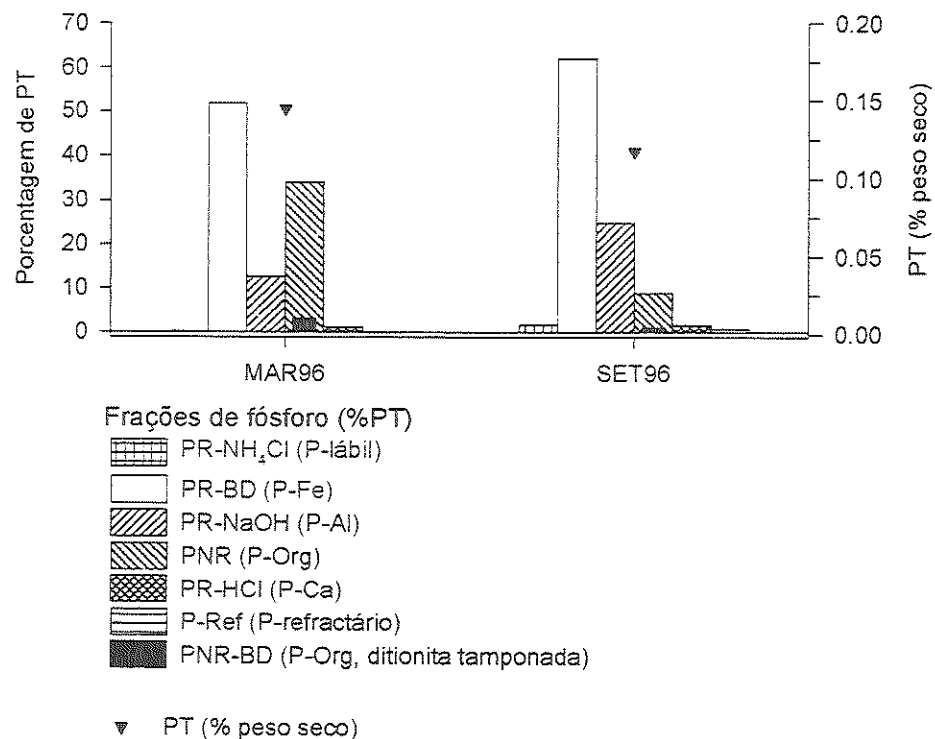


Figura.64. Fósforo total e porcentagens das diferentes frações analisadas segundo Psenner, *et al.*, (1988), no sedimento superficial do reservatório de Barra Bonita, no ponto de coleta, em março e dezembro de 1996. (As referências apresentam-se na figura).

5- Discussão

O transporte de materiais da coluna de água para os sedimentos é um processo lento de sedimentação, ressuspensão e re-sedimentação até sua acumulação nos sedimentos, onde com taxas mais lentas vai continuar transformando-se.

As armadilhas de sedimentação são instrumentos simples que têm sido utilizados com diversos objetivos, como foi relatado na introdução. Segundo Håkanson *et al.* (1989), a partir de 1981 o desenho das armadilhas e as precauções na coleta de dados tem melhorado significativamente. Neste trabalho foram tomadas as providências a respeito destes assuntos mas ainda resta a dificuldade de separar a sedimentação bruta da líquida e quantificar a ressuspensão. O método empregado neste estudo foi o proposto por Gasith (1976). As principais críticas ao uso desta metodologia segundo o próprio Håkanson (*op. cit.*) são três: 1- os aportes alóctones não deveriam interferir na relação entre a porcentagem de matéria orgânica do material autóctone e o originado por ressuspensão, 2- o material orgânico não se mantém com uma composição constante até o momento da decomposição, para depois adotar as características de um material já degradado e 3- muitas das diferenças entre a composição do material coletado nas armadilhas com relação à composição da água podem ser atribuídas à diluição por material sedimentado inorgânico. As outras duas alternativas propostas pelo mesmo autor são: 1- o estabelecimento de condições de base, de calmaria por exemplo, esta é utilizada principalmente em ambientes profundos 2- a estimativa da sedimentação acumulada nos sedimentos a longo prazo. Esta última metodologia é utilizada geralmente como complementar a outros métodos e também foi considerada neste estudo.

Os pontos de coleta escolhidos nos dois reservatórios não correspondem aos lugares de maior sedimentação dos aportes fluviais. A maior parte destes sedimenta

nas cabeceiras dos reservatórios onde existem grandes bancos de macrófitas (Petracco, 1995; Wtaker, 1987). Os pontos escolhidos têm uma menor influência das descargas diretas e características mais lânticas, sendo mais apropriados para o estudo do transporte vertical de materiais. Por outro lado, a região estudada é a mais profunda e de maior volume, pelo qual uma pequena diminuição da profundidade do corpo principal pode representar uma grande perda da capacidade de armazenamento de água.

As taxas de sedimentação líquida estimadas para ambos os reservatórios foram da mesma ordem de magnitude, coincidentemente com valores similares de sólidos suspensos totais na coluna de água. Os valores estimados neste trabalho foram, no Broa entre 2.1 - 3.4 g m⁻² dia⁻¹ e em Barra Bonita entre 1.6 - 5.4 g m⁻² dia⁻¹.

Saijo, *et al.*, (1997) reportam taxas de sedimentação sem correção da ressuspensão nos lagos do Vale do Rio Doce; lago Dom Helvécio, entre 0.1-0.9 g m⁻² dia⁻¹; lago Carioca entre 0.3-1.3 g m⁻² dia⁻¹; lago Jacaré, entre 0.-2.4 g m⁻² dia⁻¹; e lago Amarelo, único registro de 2.2 g m⁻² dia⁻¹. Henry & Maricato (1996) estimaram uma taxa de sedimentação sem correção da ressuspensão no reservatório de Jurumirim - oligotrófico, profundidade média de 12.9m- entre 2.4-9.2 g m⁻² dia⁻¹. Gasith, (1976), utilizando a mesma metodologia para a correção da ressuspensão no eutrófico e raso lago Wingra reporta dados de sedimentação entre 0 - 8.3 g m⁻² dia⁻¹ e Callieri *et al.*, (1991) no lago di Mergozzo, sem tributários importantes e profundo (profundidade média 45m), entre 0.3 - 1.2 g m⁻² dia⁻¹, sem correção da ressuspensão. Kamp-Nielsen (1976) determinou uma sedimentação corrigida de 2.2 g m⁻² dia⁻¹, no lago Esrom de 20m de profundidade. Todos estes registros são comparáveis aos estimados neste trabalho.

A ressuspensão média das coletas foi estimada para o Broa em 64% (máxima de 14 g m⁻² dia⁻¹, em setembro de 1996) e para Barra Bonita em 84% da sedimentação bruta (máxima de 50 g m⁻² dia⁻¹, em março de 1996). Os dados de taxas de ressuspensão encontrados na literatura foram poucos. Kristensen, *et al* (1992),

determinou num lago eutrófico e raso (profundidade máxima 5m), mediante modelagem matemática um fluxo médio de ressuspensão de $300 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, maior que os máximos deste trabalho. Gálvez & Niell (1992) registraram num reservatório profundo (profundidade máxima, 68m), uma taxa de ressuspensão de $12 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, valor comparável ao encontrado neste estudo.

A composição do material sedimentado foi qualitativamente diferente entre os dois reservatórios estudados. No Broa a matéria orgânica representou em média 57.5%, enquanto que em Barra Bonita foi de 12%. Tendo em consideração que a fração predominante na coluna de água do Broa é a orgânica, enquanto que em Barra Bonita é a inorgânica, os resultados encontrados são coerentes. Estes resultados coincidem com os encontrados por Oishi (1990, 1996), que destaca o predomínio geral do material orgânico nos sólidos suspensos totais, nos rios que abastecem o reservatório do Broa e da fração inorgânica nos rios da bacia de Barra Bonita.

Esta diferença deve estar relacionada às características muito diferentes de ambas bacias. A do Broa, pequena, encontra-se numa região de nascentes que forma parte de uma Área de Proteção Ambiental. Os córregos que a abastecem mantêm uma mata de galeria preservada que produz grandes quantidades de serapilheira que é carregada aos corpos de água. Estes aportes orgânicos vão decompondo-se em parte e produzindo substâncias húmicas, processo favorecido pelos baixos valores de pH e pelas altas concentrações de Fe e Al dos solos circundantes. O reservatório de Barra Bonita é o primeiro a receber os aportes de uma grande bacia, densamente povoada, com intensa atividade agrícola (cana de açúcar). Isto se traduz numa alta carga de águas residuais de origem doméstica, industrial e agrícola (Tundisi, 1986). Estes aportes somados à erosão dos solos determinariam a predominância dos materiais inorgânicos neste ambiente.

A taxa de sedimentação líquida média de nitrogênio foi maior em Barra Bonita ($163 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) que no Broa ($118 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), enquanto que a de fósforo foi similar em ambos os reservatórios (7 no Broa e $8 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em Barra Bonita). Os

dados obtidos neste trabalho foram menores que os reportados por Alvarez *et al* (1993), sem correção, para um lago raso hipereutrófico: $NT=0.36\pm 0.17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; $PT= 0.48\pm 0.49 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e maiores que os de Callieri, *et al.* (1986), em um lago profundo meso-eutrófico, de NT orgânico, de entre $7-48 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Kamp-Nielsen (op. cit) determinou uma sedimentação de PT corrigida da ressuspensão de $12.5 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo este valor próximo aos deste trabalho.

A taxa de sedimentação de clorofila *a* foi maior no Broa ($5.8 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) que em Barra Bonita ($3.6 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e foram da mesma ordem que os reportados por Callieri *et al.* (1991), entre 1.8 e $3 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

As partículas sedimentares nos lagos estão formadas por materiais de origem biológica e inorgânica tais como óxidos e hidróxidos ferro, manganês e alumínio e carbonatos de cálcio. Estes elementos possuem sítios nas suas superfícies onde outros íons podem ser adsorvidos e mais ainda, podem promover a coagulação de colóides favorecendo sua sedimentação (Sigg, 1987). Não existe um método direto para determinar a associação de determinado elemento com a fase que o transporta aos sedimentos. Sigg (op. cit.), interessada na determinação do transporte de elementos traço (Zn, Cu, Pb e Cd), correlacionou sua concentração no fluxo sedimentar com a concentração de outros elementos, no mesmo fluxo (Fe, P, Ca, matéria orgânica, etc.). Neste trabalho usou-se a mesma metodologia junto a uma análise de agrupamentos.

No reservatório do Broa a taxa de sedimentação de matéria orgânica correlacionou-se significativamente à taxa de sedimentação de cálcio, ambos os parâmetros foram os mais similares na análise de agrupamentos. Uma possibilidade para esta correlação, poderia ser a precipitação de CaCO_3 produzido pela atividade fotossintética, mas em ambientes com tão baixo conteúdo de carbono inorgânico dissolvido como este, baixos valores de pH e concentrações de Ca indetectáveis nos sedimentos, a precipitação de CaCO_3 , parece ser pouco provável. Além disto, segundo Bruce *et al.*, (op. cit), a cristalização do CaCO_3 acontece a altas taxas e os

cristais formados são relativamente grandes (diâmetro=5-30 μ m) e portanto oferecem uma superfície de adsorção pequena. A possibilidade mais simples é que a matéria orgânica sedimentar seja a fonte de Ca. Psenner (1998), também sugere que a fonte de Ca é o material sedimentar no lago Piburger See (de baixo pH e alcalinidade e concentração traço de Ca nos sedimentos).

Junto à sedimentação de matéria orgânica (SMO) e Ca (SCa), ficaram a sedimentação de fósforo não reativo extraído com hidróxido de sódio (PNR-NaOH), a sedimentação de ferro (SF) e a sedimentação de alumínio (SAI).

Segundo o método de fracionamento de fósforo utilizado, o PNR-NaOH corresponde ao fósforo associado à matéria orgânica e substâncias húmicas (Psenner, *et al.*, 1988; Psenner & Pucsko, 1988). A definição empírica das diferentes frações dada por estes autores, baseia-se em estudos de correlações entre o fósforo solúvel em determinada solução e outros parâmetros dos sedimentos (minerais, matéria orgânica e inorgânica, ferro e substâncias dissolvidas). O fracionamento de fósforo (este ou similares) tem sido utilizado principalmente para o estudo dos sedimentos, epipelon (Rijkeboer *et al.*, 1991) e materiais particulados em suspensão (Engle & Sarnelle, 1990). Na bibliografia consultada não foi registrada nenhuma referência a sua utilização em forma conjunta com armadilhas de sedimentação.

As correlações entre o PNR-NaOH e a SMO, SCa, SFe e SAI, sugerem uma composição característica nas substâncias húmicas, complexos orgâno-minerais de alto peso molecular que podem estar na forma de colóides ou dissolvidos. Correlações similares às encontradas neste trabalho, foram registradas em vários estudos de sedimentos (James & Barko, 1997; Pedrozo *et al.*, 1986; Lopez & Morgui, 1993).

Dos metais analisados na água o ferro e suas diferentes frações foram objetos de estudo de Witaker (1987), sendo as concentrações de ferro total registradas no seu

trabalho, na mesma região do reservatório (entre 0.2-0.86 mg L⁻¹), semelhantes às medidas neste. Witaker (op. cit) encontrou evidências de liberação de Fe⁻² dos sedimentos à coluna de água ainda sob condições de oxigenação, este Fe⁻² é oxidado para Fe⁻³ nas camadas superiores da coluna e precipita enriquecendo a água do fundo e acumulando-se nos sedimentos, facilmente reconhecível pela cor vermelha-marrom (também observada neste estudo). Davison *et al*, (1982), explicou por este mecanismo o aumento de ferro e manganês registrado nas armadilhas de sedimentação e conclui que estes dois elementos começam a ser liberados dos sedimentos antes da completa desoxigenação. A precipitação do ferro ao atingir a região trofогênica pode coprecipitar outros materiais tais como, fósforo, matéria orgânica, substâncias húmicas dissolvidas, etc., atuando como fase transportadora aos sedimentos. O PNR-NaOH estaria portanto, associado a estes materiais originados por processos autóctones.

Stone & English (1993), registraram maiores concentrações de fósforo total na primavera e durante períodos de isoterminia no lago Erie, estes autores atribuíram isto à ressuspensão das partículas dos sedimentos e à regeneração de fósforo dos sedimentos anóxicos.

Nos sedimentos o PNR-NaOH foi a fração dominante nas duas amostras estudadas (média=34%), o que estaria indicando que a forma principal de acumulação de fósforo nos sedimentos do reservatório do Broa é a orgânica, associada a substâncias húmicas. Esta forma de fósforo não seria uma fonte facilmente disponível para o fitoplâncton.

O segundo grupo da análise de agrupamentos uniu o fósforo não reativo extraído com ditionito (PNR-BD) e a sedimentação de clorofila *a* (SCla). De acordo com a metodologia utilizada, este fósforo seria principalmente orgânico e sua associação a SCl_a nos indicaria que sua principal origem é o material fitoplanctônico de sedimentação recente. Esta fração do fósforo só foi significativa em setembro (35% do fósforo sedimentado e 69% do PNR total, mês em que foi registrada a

máxima concentração de clorofila na coluna e nas armadilhas de sedimentação. Neste mês foi determinada como espécie dominante a diatomácea do gênero *Fragilaria* com uma abundância de 7×10^6 ind/L (Sonoda, *com. pers.*). Reynolds (1996), trabalhando com limnocurrais, registrou aumentos da densidade de *Fragilaria* conjuntamente com o aumento do vento em forma simulada. Este gênero costuma dominar nas florações da primavera por ter um rápido crescimento e estar adaptada a ambientes misturados (Goldman & Horne, 1983). Segundo os resultados obtidos neste trabalho o PNR-BD coletado nas armadilhas pode ser relacionado ao conteúdo de fósforo nas células do fitoplâncton vivas ou no início da sua decomposição. Esta forma de fósforo poderia ficar disponível para a biota na medida em que a decomposição do fitoplâncton avança e os nutrientes são liberados, podendo ser considerada uma fonte autóctone, potencialmente biodisponível. Nos sedimentos o PNR-BD foi em média 13% do PT e segundo as considerações realizadas pelo menos em parte pode ser biodisponível.

O terceiro grupo da análise de agrupamento ficou formado pela sedimentação de nitrogênio (SN) e do fósforo refratário (P-ref). O nitrogênio particulado sedimentar em sua maioria corresponde ao nitrogênio associado à matéria orgânica, enquanto que o fósforo refratário corresponde, segundo a metodologia de extração sequencial, ao fósforo residual e orgânico, representado principalmente por substâncias recalcitrantes de difícil decomposição. A correlação entre estes dois parâmetros não teria em princípio um significado explícito. Nos sedimentos a concentração de P-ref foi relativamente alta, se pensarmos que a maior parte do fósforo devia ter sido extraído nos passos anteriores. Uma explicação possível seria sua associação a moléculas orgânicas em avançado processo de humificação. Baldwin (1996), registrou valores de P-ref de até 30% em sedimentos de alguns sistemas aquáticos australianos, relacionando este fósforo a minerais recalcitrantes, considerando esta forma de fósforo não disponível a curto e médio prazo.

Unida ao grupo anterior ficou a taxa de sedimentação do PR-NH₄Cl, acima de 40% de dissimilitude. Esta fração é geralmente denominada fósforo lábil, debilmente ligado ou adsorvido. A sedimentação desta fração foi sempre muito pequena e só

correlacionou-se significativamente em forma negativa com a concentração média de alumínio da zona eufótica. Nos sedimentos o PR-NH₄Cl pode ser uma estimativa do fósforo imediatamente disponível. (p. ex. por ressuspensão, bioturbação ou bolhas de gases), nos sedimentos do Broa esta fração foi menor que 1%, pelo qual não teria importância quantitativa como carga interna nem como forma de armazenamento.

Das outras variáveis do fluxo sedimentar estudadas a sedimentação de PR-BD ficou unida à sedimentação de P-HCl, porém estes parâmetros não correlacionaram-se significativamente ($p < 0.05$).

O PR-BD segundo o método de extração empregado, corresponde principalmente ao fósforo que pode ser liberado sob condições redutoras, principalmente das superfícies dos hidróxidos de ferro. Esta fração teve correlação (positiva) significativa com a sedimentação total de fósforo e com a sedimentação de nitrogênio, porém não correlacionou-se nem com a concentração de ferro na água nem com sua taxa de sedimentação. A sua porcentagem na sedimentação total de fósforo foi baixa, o máximo valor registrado foi de 12% do fósforo total sedimentado, no mês de dezembro. Neste mês foi medida a máxima concentração de PTD na água ($21 \mu\text{g L}^{-1}$) coincidindo com os menores valores registrados de oxigênio dissolvido (no hipolimnion, 1 mg L^{-1}). Pode-se supor então, que neste mês (e talvez também em outubro) ocorreu a ciclagem clássica de liberação de manganês, ferro e fosfato dos sedimentos e precipitação junto ao ferro e manganês no epilimnion oxigenado (Mortimer, 1971, Emerson, 1976). Porém ainda sob estas condições favoráveis à ciclagem tradicional, a forma do fósforo sedimentar dominante não foi o PR-BD.

Nos sedimentos a concentração de PR-BD representou em média 11% do fósforo total, sendo a relação molar Fe:P=9. Segundo Jensen *et al.* (1992), os sedimentos de água doce com uma relação molar Fe:P maior que 8.5 são capazes de reter fósforo na superfície oxidada dos sedimentos, sendo que o fósforo é lixiviado a razões menores. Jensen & Thamdrup (1993) com base em experimentos de intercâmbios de fósforo com $^{32}\text{PO}_4^{-3}$ concluíram que o monohidróxido férrico amorfo

(am. FeOOH) é o fator mais importante no controle da concentração do fósforo reativo solúvel na água intersticial. Conclusões similares são reportadas por Psenner & Pucsko (1988) em lagos alcalinos, entando Golterman (1988), demonstrou que os hidróxidos de ferro conseguem extrair o fosfato da calcita controlando assim a concentração deste na água intersticial.

Segundo Gächter & Meyer, (1993) nas ciclagens descritas anteriormente as bactéria são vistas simplesmente como catalisadoras das reações de solubilização do fosfato por processos de oxidação de detritos e redução de vários oxidantes. Sua opinião pelo contrário, é que as bactérias desempenham um papel muito importante que pode ser sintetizado da seguinte maneira: 1- produzem fósforo orgânico não reativo a partir do PO_4 solúvel, removendo grande parte do fósforo disponível para outras comunidades, 2- as bactérias suspensas retardam a transferência de $^{32}\text{PO}_4^{-3}$ da água aos sedimentos; 3- as bactérias competem com o Fe^{-2} pelo oxigênio e produzem prótons ao mesmo tempo que decompõem a matéria orgânica, reduzindo assim a taxa de oxidação abiótica do Fe^{-2} ; 4- a demanda bacteriana de P aumenta a medida que aumenta a relação C:P do material sedimentado, sendo que em sistemas oligotróficos, as bactérias teriam que competir pelo PO_4^{-3} com os sítios abióticos e em sistemas eutróficos não; e por último, 5- o controle do fósforo pelo ferro seria mais importante em ambientes eutróficos, e pelas bactérias nos oligotróficos com um efeito líquido de produção de fósforo não reativo.

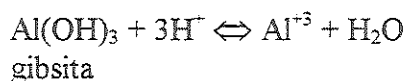
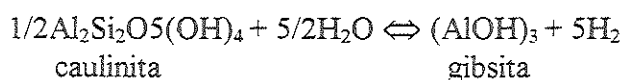
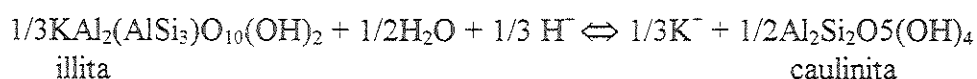
Este dados podem estar indicando que parte do PNR medido neste trabalho pode ser também de origem bacteriana e não só de substâncias húmicas (PNR-NaOH) e fitoplâncton (PNR-BD).

Levando em conta as considerações apresentadas, poderíamos dizer que 12% do fósforo dos sedimentos e até 12% do fósforo recentemente sedimentado pode ser incluído na ciclagem clássica do fósforo, controlado por reações relativas ao ferro e manganês de óxido-redução. Esta forma do fósforo é de origem autóctone e potencialmente disponível para os produtores primários.

O PR-NaOH foi a forma dominante da sedimentação total de fósforo, na maioria das coletas (junho, outubro, março e dezembro) atingindo 60% em março. Esta fração representa o fósforo adsorvido a óxidos de metais (Al_2O_3) e outras espécies superficiais intercambiáveis por OH^- e compostos fosfatados solúveis em bases.

As interações entre o ortho fosfato e o alumínio tem sido pouco estudadas. Os sais de alumínio são muito usados para flocular e precipitar PO_4 em plantas de tratamento e recuperação de lagos, neste contexto a precipitação de AlPO_4 é vista como dominante à precipitação de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Ulrich, 1997). Segundo este autor, estudos de laboratório realizados por Lijklema em 1980, mostraram que precipitados recentes de $\text{Al}(\text{OH})_3$ amorfo tem maior afinidade pelo ortho fosfato que o $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

A diferença do controle do fósforo pelo ferro que depende do potencial de óxido-redução, o do Al depende do pH do meio, com pH menores que 5.5 o Al se solubiliza, segundo as reações químicas:



Este mecanismo atua como tampão uma vez que o sistema do CO_2 foi exaurido e impede que o pH da água atinja valores muito baixos. Por outra parte, quando o Al^{+3} liberado dos sedimentos, alcança a região trofогênica com pH maiores a reação muda de sentido precipitando $\text{Al}(\text{OH})_3$, favorecendo a co-precipitação de fósforo. Na represa do Broa, onde o pH da água do fundo foi sempre menor que 6 e

registrou valores de 5.5 em vários meses, o controle do fósforo pelo Al seria muito importante. Os aportes alóctones de minerais ricos em alumínio também poderiam estar contribuindo para a precipitação de fósforo o que explicaria a grande dominância (60%) do PR-NaOH em março, quando nos três dias de coleta foi registrada uma precipitação acumulada de 19.4mm.

Nos sedimentos o PR-NaOH foi a segunda fração (média das amostras, 21.7% do PT) indicando a importância do alumínio na fixação de fósforo nos sedimento. Esta fração de fósforo é considerada autóctone e em ambientes como a represa do Broa pode ser uma fonte potencialmente disponível para o fitoplâncton.

O P-HCl representa o fósforo ligado a carbonatos, apatita e aquele liberado pela dissolução de óxidos (não adsorvidos na superfície). Esta fração foi sempre quantitativamente pequena, seu máximo aconteceu em outubro (23.3%), mês em que foi registrada a mínima sedimentação de fósforo ($4.6 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Esta fração de fósforo é considerada de origem alóctone e não biodisponível, sendo por estes motivos muito utilizada como traçador dos aportes externos (Armengol *et al.*, 1986). Nos solos ácidos como os da bacia do Broa, as quantidades de carbonatos e apatita seriam muito escassas e facilmente dissolvidas pela água de chuva ou nos córregos ricos em CO_2 livre. Nos sedimentos a concentração de PR-HCl foi baixa (3% do PT), indicando também baixos aportes externos deste material.

5.1- INTERRELAÇÕES ENTRE: SEDIMENTAÇÃO, RESSUSPENSÃO E TIPO DE CIRCULAÇÃO NOS RESERVATÓTIOS ESTUDADOS

Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (1995) o ciclo sazonal de produção primária na represa do Broa está intimamente associado à precipitação e à ação do vento. A análise de componentes principais neste reservatório correlacionou a precipitação negativamente com o primeiro fator.

De acordo com isto podemos assumir que as variáveis associadas negativamente com o primeiro fator (MSI, SMI, Al, Mn, Cla e MSO) estão vinculadas aos aportes alóctones trazidos diretamente pelo escoamento superficial ou tributários. No caso da clorofila pode-se inferir que estes aportes estimulam a produção primária aumentando sua concentração na água.

O incremento do material suspenso total e de suas frações orgânica e inorgânica, na época de maior precipitação, foi constatado em diversos estudos (Maier e Tolentino, 1988). Enquanto que Tundisi (1977) associou estes aportes a picos de produtividade primária do fitoplâncton.

Setembro foi o mês mais correlacionado negativamente com o primeiro fator. Durante os três dias de coleta a precipitação acumulada foi de 60.6 mm e foi caracterizada como de início da época de chuva. Neste mês foram registrados os máximos valores médios da zona eufótica de MST, MSO e MSI e também a máxima taxa de sedimentação de matéria inorgânica.

Com correlação positiva ao primeiro fator, teríamos uma situação na qual os aportes alóctones são mínimos, ou seja, estariam predominando os processos autóctones. Esta situação está caracterizada pelas variáveis que mais contribuíram positivamente à formação deste fator: SMO, SCa, NTP, PTP, PR-BD, PR-NH₄Cl, DS, pH e PR-HCl.

Neste estudo foram registradas correlações positivas significativas, entre as concentrações médias da zona eufótica de NTP e PTP e entre o NTP e a porcentagem de matéria orgânica. Estas relações estariam indicando uma origem comum destes materiais particulados. Estas variáveis ficaram, na análise de componentes principais, junto ao pH e profundidade do disco de Secchi. Podemos inferir então que ao aumentar a profundidade da zona eufótica, aumenta a produção primária o que leva a aumentar o pH desta zona. Portanto a matéria orgânica, o NTP e o PTP estariam associados aos organismos do fitoplâncton.

Os meses que mais correlacionaram-se positivamente com este fator foram dezembro de 1996, outubro de 1995 e junho de 1995.

As coletas de dezembro e outubro caracterizaram-se pela forte estratificação da coluna de água durante todo o tempo de amostragem. Nestes meses foram estimadas as menores taxas de ressuspensão e as maiores taxas de sedimentação de matéria orgânica. A anoxia desenvolvida em dezembro explica o aumento da sedimentação do PR-BD pelos mecanismos discutidos anteriormente e sua correlação positiva com o primeiro fator.

A velocidade do vento correlacionou-se negativamente com o segundo fator principal. As variáveis mais correlacionadas negativamente com este fator, foram a concentração de oxigênio e a sedimentação de clorofila. O vento favoreceria determinadas populações do fitoplâncton adaptadas a condições de águas turbulentas (*Fragilaria*), incrementando a sedimentação de clorofila α . Enquanto que a ação do vento, também favoreceria a oxigenação da coluna de água. Tundisi & Matsumura-Tundisi (1995) ressaltaram a importância da ação do vento neste reservatório e mostraram o acoplamento entre a velocidade do vento e o ciclo sazonal da produção primária e de *Melosira italica*. Estes autores, também salientam o efeito do vento na manutenção de uma coluna de água bem oxigenada.

Positivamente com este fator temos uma situação em que o vento não provoca turbulência e menores concentrações de oxigênio dissolvido. Sob estas condições aumentam as concentrações de Ca, CID, Fe e Condutividade e a sedimentação de Al, Fe e PR-NaOH. Witaker (1987), estudando a ciclagem do ferro na represa do Broa, observou que sua variação sazonal não esteve associada exclusivamente aos aportes externos, evidenciando processos de liberação dos sedimentos e precipitação ao atingir a oxiclina, já discutido anteriormente. Segundo a autora, isto acontece principalmente no período entre março e julho, quando ocorrem sucessivos períodos de estratificação e circulação da coluna de água, em pequenos espaços de tempo em função da velocidade do vento. Isto coincide com maiores valores de alcalinidade e

condutividade. Estes dados concordam com os resultados obtidos neste trabalho. Este mecanismo também seria importante na mobilidade do fósforo, o qual seria liberado dos sedimentos e precipitaria principalmente junto ao alumínio, aumentando o PR-NaOH sedimentado.

Os meses que mais correlacionaram-se com este fator foram março e maio. Neste foram constatadas as condições descritas anteriormente: baixa velocidade do vento, estratificações temporárias, alta condutividade e aumento do ferro pelo qual estariam dadas todas as condições para a ocorrência destes processos.

Barra Bonita

A análise de agrupamentos das variáveis do reservatório de Barra Bonita apresentou algumas associações similares às encontradas no Broa e também algumas diferentes.

A sedimentação de cálcio ficou unida à sedimentação de matéria orgânica. Como no Broa, estaria indicando a sedimentação de cálcio associado a detritos orgânicos. Neste reservatório a concentração de cálcio nos sedimentos também ficou abaixo do limite de detecção do método, pelo qual a precipitação de carbonatos, se bem que não se descarta, não seria tão importante.

Outro grupo ficou formado pela sedimentação do PR-BD e a do ferro. Diferente do Broa, em Barra Bonita estes correlacionaram-se significativamente sendo sua relação molar nas armadilhas, $Fe:PR-BD = 50$. Como já foi discutido o PR-BD representa o fósforo adsorvido ao ferro e manganês redutível. Esta fração representou entre 12 e 29% do fósforo sedimentado total, sendo por tanto uma via de sedimentação de fósforo relevante.

Nos sedimentos sua porcentagem foi muito maior, dominando em ambas as amostras (52 e 62%). A relação molar entre Fe:PR-BD nos sedimentos foi igual a 20. Esta diminuição da relação, indica um enriquecimento relativo de PR-BD em relação ao ferro, nos sedimentos. Este enriquecimento, poderia indicar a transformação por decomposição ou processos químicos, de outras formas de fósforo (P-NaOH, P-orgânico) em P-Mn,Fe. Segundo Pettersson *et al.* (1988), uma grande parte do fósforo orgânico depositado nos sedimentos é transformado em fósforo mineral, o que explicaria a diminuição da relação Fe:PR-BD. Jensen & Tamdrup (1993), registraram relações molares de Fe:PR-BD em sedimentos marinhos entre 15-16 e correlações negativas entre o fósforo solúvel reativo da água intersticial e a concentração de PR-BD e a de ferro. Segundo estes autores, esta fração é a mais importante na regulação da mobilidade do fósforo nos sedimentos. Nos sedimentos de Barra Bonita esta forma, foi a mais importante quantitativamente e dadas suas características redox-dependentes, representa uma fonte potencial de fósforo biodisponível, enquanto que sua principal origem é autóctone.

Junto ao grupo anterior ficou unido o PR-HCl sedimentado, esta fração foi mais importante em Barra Bonita que no Broa. Sua máxima porcentagem (19% do PT sedimentado) foi registrada em março, coincidentemente com a maior vazão e menor tempo de residência no reservatório. Esta fração é tipicamente alóctone e aumentaria com os maiores aportes de água. Nos sedimentos sua concentração foi baixa, de 1.2 - 1.6% nas duas amostras estudadas. O PR-HCl não é considerado como disponível para os organismos.

A taxa de sedimentação de PNR-NaOH correlacionou-se significativamente com a sedimentação de nitrogênio, ficando ambos os parâmetros unidos na análise de agrupamentos. O nitrogênio sedimentado pode ser considerado principalmente de origem orgânica, porém o PRN-NaOH, também correlacionou-se significativamente à sedimentação de Fe, Ca e Al. Como no reservatório do Broa, a fonte deste fósforo pareceria ser a precipitação de compostos orgânicos e inorgânicos. Isto estaria confirmando a definição desta fração como vinculada a substâncias húmicas.

A taxa de sedimentação de PR-NH₄Cl atingiu os mais altos valores em outubro (13%) e setembro (9.2%), coincidentemente com as taxas de sedimentação mais altas de clorofila, sendo esta fração facilmente biodisponível. Segundo Schwoerbel (1987), somente uma pequena fração do fósforo orgânico particulado sedimenta junto aos organismos mortos sendo em sua maioria reciclado no próprio epilimnio. A grande intensidade da reciclagem do fósforo na zona trofotônica deve-se principalmente à rápida autólise das células e à baixa taxa de sedimentação do plâncton. A sedimentação de fitoplâncton senescente poderia estar relacionada aos altos valores de PR-NH₄Cl nestes meses. Nos sedimentos esta fração foi baixa (máxima de, 1.7% do PT sedimentado).

Igual ao reservatório do Broa, a sedimentação de PNR-BD correlacionou-se com a sedimentação de clorofila. Nos sedimentos a concentração do PNR-BD foi baixa (1-3%) e menor à registrada no Broa. Isto pode ser relacionado com a menor sedimentação de clorofila neste reservatório.

A taxa de sedimentação do PR-NaOH foi a fração dominante do PT sedimentado em junho de 1995 e março de 1996. Esta não correlacionou-se como poderia ser esperado, com a sedimentação de Al, nem com a de outro metal. Apesar disso, nestes meses foram registradas as máximas taxas de sedimentação de alumínio.

A análise de componentes principais realizada com as variáveis do reservatório de Barra Bonita, resultou em termos gerais muito parecida com a da represa do Broa.

Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (1990), o ciclo sazonal no reservatório de Barra Bonita está dominado por fatores climatológicos como precipitação e vento e pelo tempo de retenção. Lamentavelmente, os dados de precipitação e vento correspondentes a região deste reservatório não foram conseguidos, por isso, destas variáveis, só foram consideradas o tempo de retenção e a vazão.

A vazão total vertida correlacionou-se positivamente com o primeiro fator e negativamente com o segundo, com coeficientes muito próximos. Porém, em março foi registrada a maior vazão do estudo (1400 m³ s⁻¹), este mês teve sua maior contribuição positivamente com o primeiro fator. Portanto pode-se considerar que positivamente com este fator estão correlacionadas as variáveis relacionadas aos

aportes alóctones (Fe, Al, Mn, PR-NaOH, PR-HCl, SMI, MSI). Sob estas condições de grande vazão, predomina a entrada de materiais inorgânicos carreados pelos tributários, aumentando as concentrações destes na água. As taxas de sedimentação que aumentam nestas circunstâncias são as de matéria inorgânica, PR-NaOH (P-Al) e PR-HCl (P-apatita). Isto estaria confirmando a origem alóctone do P-apatita e a importância da precipitação do P-Al, propiciada pelo aumento da concentração de Al na água.

Com correlação negativa ao primeiro fator teríamos as variáveis representativas da produção autóctone do reservatório (condutividade, Ca, SCl₂, NTP, SMO, MSO, pH, CID, Cl₂, COD, PNR-BD, SN, PR-NH₄Cl, DS, OD e PNR-NaOH).

Os meses que maior contribuição tiveram negativamente ao primeiro fator foram, setembro e dezembro. Estes meses se caracterizaram por apresentarem uma forte estratificação durante todos os dias de coleta.

Tundisi & Matsumura-Tundisi (op. cit), associaram, condições de baixa taxa de renovação (baixa vazão), a aumentos da produção primária, clorofila, concentração de oxigênio dissolvido, pH e condutividade.

Os resultados encontrados neste trabalho coincidem com os destes autores. Quando a produção autóctone predomina, o efeito no fluxo sedimentar é o aumento da sedimentação de matéria orgânica, clorofila, nitrogênio e das formas lábeis e orgânicas do fósforo (PR-NH₄Cl, PNR-NaOH, PNR-BD, P).

Positivamente com o segundo fator estariam representadas as condições do reservatório com menores tempos de retenção. De acordo com o mês que mais correlacionou-se a este (junho de 1995) o ambiente se caracterizou por uma alternância diária de estratificação durante as horas de maior radiação e mistura à noite. O mês de outubro também teve sua maior correlação com este fator. Neste mês

foi registrada a mudança da coluna de água, de uma condição fortemente estratificada para sua mistura quase completa. A ocorrência de estratificações temporárias, de igual forma como foi discutida para o reservatório do Broa, estaria promovendo a liberação de fósforo dos sedimentos e de suas fases associadas (Ca, Fe, Al e Mn). Estes elementos precipitariam novamente ao atingir a zona trofогênica e à hora da mistura da coluna de água, com um efeito líquido de aumento das suas taxas de sedimentação. Diferente do encontrado no Broa, o fósforo total particulado se agrupou às variáveis deste fator, indicando a predominância da ciclagem inorgânica sob a orgânica. Sua fase transportadora de volta aos sedimentos seria principalmente adsorvido ao ferro (PR-BD), o que pode explicar a dominância do P-Fe com respeito às outras frações nos sedimentos.

Negativamente com este fator teríamos uma situação de baixo tempo de retenção e alta vazão o que poderia estar indicando um ambiente turbulento com mistura permanente da coluna. As variáveis que mais se correlacionaram foram o CID, PTD e a vazão. O mês que maior correlação teve com este fator foi junho de 1996. No mesmo a taxa de sedimentação líquida foi mínima e quase todo o material coletado foi inorgânico. Observações realizadas em amostras de plâncton revelaram baixíssimas densidades de organismos do fitoplâncton e zooplâncton (Espindola, *com. pers.*).

5.2- SEDIMENTAÇÃO HISTÓRICA ACUMULADA

- Represa do Broa.

Com base nos dados de sedimentação da tabela 4 da represa do Broa e conhecendo a taxa de sedimentação histórica no reservatório (3mm ano^{-1}) e a

densidade do sedimento (1.2 g cm^{-3}), pode-se calcular quanto do que está sendo sedimentado vai ficar finalmente retido, o que pode ser uma medida da eficiência da decomposição no reservatório.

Um metro quadrado de sedimento com 3mm de altura, originado da sedimentação de um ano, possui uma massa de (densidade vezes volume), $1.2 \text{ g cm}^{-3} \times 3000 \text{ g} = 3600 \text{ g}$. Se o conteúdo de água dos sedimentos é em média 86%, este volume corresponde aproximadamente a 500g em peso seco, de material total acumulado. Se a sedimentação anual líquida estimada é de 1100g, a eficiência da decomposição do reservatório do Broa é, $600/1100=0.545$ ou de 54.5% e a retenção, por conseguinte, é de 45.5% do total líquido sedimentado.

Um outro método de determinar a eficiência da decomposição (Gasith, 1976) baseia-se na diferença entre, a fração orgânica do material sedimentado (0.45) e a fração orgânica do material particulado do sedimento (0.28). Segundo isto, a eficiência total da decomposição foi de $0.17/0.45 \cong 0.38$ ou 38% e a retenção por conseguinte de 62%. Se a sedimentação líquida estimada foi de 1100g ps então 38% ainda vai ser liberado por decomposição ou por outros mecanismos químicos, a acumulação líquida nos sedimentos seria de $1100 \text{ g} \times 62/100 = 682 \text{ g}$ de material total (em peso seco) por metro quadrado por ano. A diferença entre este procedimento e o anterior é de 182g, isto representa uma sobrestimativa da acumulação de 36%, o que pode ser considerado um resultado aceitável.

Com base no primeiro procedimento descrito, no qual a sedimentação foi medida no testemunho e usando o mesmo raciocínio, pode-se estimar a porcentagem de retenção de nutrientes nos sedimentos (tab. 7). No caso do carbono, que não foi determinado nas armadilhas, utilizou-se o valor citado na bibliografia, de 50% da matéria orgânica (Serruya, 1976).

Tabela 7. Fluxos de sedimentação líquida, acumulação e porcentagem de retenção nos sedimentos do reservatório do Broa.

Parâmetro	Sedimentação líquida (g ps m ⁻² ano ⁻¹)	Acumulação* (g ps m ⁻² ano ⁻¹)	Retenção (%).
Material particulado total	1100	500	45.5
Matéria orgânica	500	140	28
Carbono (50%MO)	250	44	18
Nitrogênio	43	5	12
Fósforo	3	0.4	13

(*)Corresponde ao material acumulado em um ano, em 1m² com 3mm de altura.

- Represa de Barra Bonita

Nos testemunhos retirados dos sedimentos de Barra Bonita não foi observada nenhuma camada, que permitisse diferenciar os sedimentos originados após a criação do reservatório dos pertencentes ao antigo leito do rio. E em princípio, também não foi registrada nenhuma variação no perfil vertical dos parâmetros analisados nestes sedimentos. Por conseguinte não foi possível aplicar o método de datação empregado no Broa e só se utilizou a metodologia proposta por Gasith (1976).

A diferença entre a fração orgânica do material sedimentado (0.21) e a fração orgânica do material particulado do sedimento (0.12) foi de 0.09 e a eficiência total da decomposição do material sedimentado seria de $0.09/0.21 \cong 0.43$ ou 43%. Se a sedimentação líquida estimada foi 1400g então 43% ainda vai ser liberado por decomposição ou por outros mecanismos químicos, a acumulação líquida nos sedimentos seria de $1400 \times 57/100 \cong 800$ g de material total (em peso seco) por metro quadrado por ano.

Se o conteúdo de água do sedimento superficial de Barra Bonita é de 83%, 800g de material seco equivalem a 4700g de sedimentos em peso úmido. Se a densidade estimada dos sedimentos superficiais, foi de 1.3g cm⁻³, em um metro quadrado teriam uma altura de aproximadamente 5mm a qual seria a taxa de

sedimentação anual. Se o enchimento do reservatório foi em 1963, nestes 33 anos teriam sido acumulados aproximadamente 17cm de sedimentos no fundo do reservatório, na região de coleta.

Apesar de que nos perfis verticais dos três testemunhos (fig. 50) há um aumento da matéria orgânica aos 8cm de profundidade acompanhado de um incremento do conteúdo de água, não há evidências suficientes que corroborem os cálculos anteriores, como poderiam ser encontradas nos perfis do fósforo e nitrogênio ou dos íons, que não foram determinados em todos os centímetros. Por isto esta taxa calculada indiretamente, poderá servir como hipótese de futuros trabalhos nos quais a observação microscópica do sedimento e análises completas da coluna, poderiam confirmar ou não estes cálculos.

De toda forma e somente como uma estimativa para a comparação com o reservatório do Broa, também foi calculada a capacidade de retenção dos sedimentos de Barra Bonita (tab. 8). Como no Broa para o carbono total, que não foi determinado nas armadilhas, utilizou-se o valor citado na bibliografia de 50% da matéria orgânica (Serruya , 1976).

Tabela 8. Fluxos de sedimentação líquida, acumulação e porcentagem de retenção nos sedimentos do reservatório de Barra Bonita.

Parâmetro	Sedimentação líquida (g ps m ⁻² ano ⁻¹)	Acumulação* (g ps m ⁻² ano ⁻¹)	Retenção (%).
Material particulado total	1400	800	57
Matéria orgânica	300	96	32
Carbono (50%MO)	150	22	15
Nitrogênio	60	6	10
Fósforo	3	0.4	13

(*)Corresponde ao material acumulado em um ano, em 1m² com 5mm de altura.

Segundo os cálculos realizados, a represa do Broa tem uma eficiência de decomposição (54.4%) maior que Barra Bonita (43%). Ambos valores são menores ao estimado por Gasith (1976) no eutrófico Lago Wingra, de 70%. A acumulação estimada por este, foi de 200 g sólidos totais ps $m^{-2} \text{ ano}^{-1}$, e de 20 g de carbono $m^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Bruce & Goldman (1976), estimaram uma acumulação no lago Castle (oligo-mesotrófico), de 7.75 g de carbono $m^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e 0.57 g de nitrogênio $m^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Os resultados de acumulação de matéria orgânica e carbono no Broa foram maiores que os de Barra Bonita, enquanto que a acumulação de nitrogênio e fósforo, foi muito similar. As estimativas realizadas para ambos os reservatórios são comparáveis aos dados citados da bibliografia.

6- CONCLUSÕES

A composição do material sedimentado mostrou grandes diferenças entre ambos os reservatórios.

No que tange à represa do Broa, observou-se a importância do material orgânico como fase transportadora de nutrientes da coluna de água aos sedimentos. Estes se acumulam principalmente em forma de complexos orgânicos e minerais que funcionam como armadilhas de nutrientes. O controle do fósforo neste reservatório é em grande parte feito pelo alumínio. Portanto é redox-independente, o que também contribui para retê-lo nos sedimentos. Porém as características ácidas do reservatório são propícias para a dissolução do alumínio podendo representar uma carga interna de fósforo importante. As características gerais da represa se correspondem com o pequeno tamanho da mesma e com sua localização numa região de nascentes incluída numa Área de Proteção Ambiental. Sob estas condições, nos córregos que a abastecem, predominam os aportes alóctones de matéria orgânica e a produção heterotrófica. Estes aportes, determinam em grande parte, as características físicas, químicas e biológicas do reservatório.

Na represa de Barra Bonita, predominou o material inorgânico. Neste reservatório, a fase inorgânica é muito importante no transporte de fósforo da coluna de água aos sedimentos. Além disso, quando a fase transportadora é a matéria orgânica, o resultado das transformações que ocorrem nos sedimentos (decomposição e interações químicas) é um enriquecimento do fósforo redox-dependente (P-Mn, P-Fe). Nos sedimentos a maior parte do fósforo acumulado é redox-dependente o que

representa uma carga interna potencial de grande importância. Estas características, estão relacionadas à grande densidade de habitantes e aos usos do solo da bacia de drenagem deste reservatório.

Os ambientes estudados apresentaram quatro cenários diferentes, em função da estabilidade da coluna de água e da predominância dos aportes alóctones ou autóctones (fig.65). As diferentes condições de funcionamento impostas por fatores externos (precipitação, vazão, tempo de retenção e vento), determinam os processos predominantes e suas intensidades, os quais são sintetizados na tabela 9.

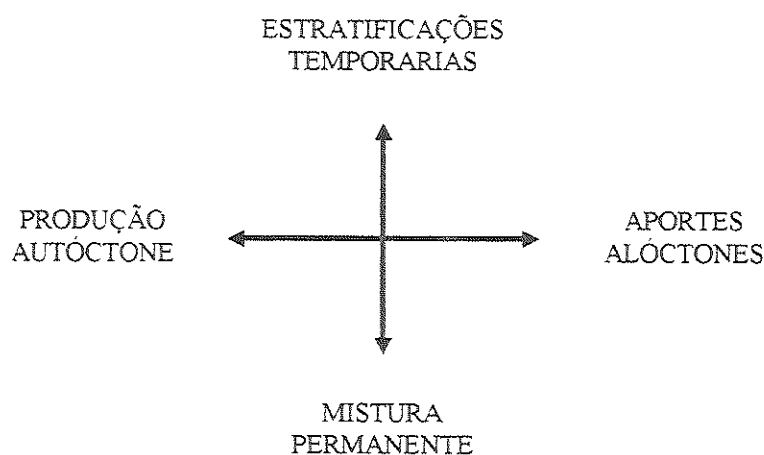


Figura 65. Cenários determinados pelas funções de força nos reservatórios do Broa e Barra Bonita.

Tabela 9. Características físicas e químicas da zona eufótica e processos que predominam, nas diferentes condições encontradas, nos reservatórios do Broa e Barra Bonita.

CENÁRIO	BROA	BARRA BONITA
PRODUÇÃO AUTÓCTONE	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta estabilidade da coluna de água (baixo OD no hipolímio). -Maior campo lumínico. -Predomínio da produção fitoplânctônica (N e P particulado, PTD). <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Sedimentação de materiais orgânicos sintetizados na zona eufótica (N, P-lábil). -Liberação dos sedimentos e re-precipitação (SMn, SFe, PR-BD; SCa). 	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta estabilidade da coluna de água (baixo OD no hipolímio). -Maior campo lumínico. --Predomínio da produção fitoplânctônica. (Cl_a, MSO, N particulado). <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Sedimentação de materiais orgânicos sintetizados na zona eufótica (Cl_a, N, fósforo orgânico e lábil).
APORTES ALÓCTONES	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta precipitação (MSO, MSI, Mn). -Menor campo lumínico. <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Predomínio do transporte de materiais e ressuspensão. -Aumento da sedimentação de materiais alóctones (SMI) 	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta vazão (MSI, Fe, Al, Mn). -Menor campo lumínico. -Diluição e exportação da produção autóctone. <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Predomínio do transporte de materiais e ressuspensão. -Aumento da sedimentação de materiais alóctones (P-apatita, P-Al e SMI)
ESTRATIFICAÇÕES TEMPORARÁRIAS	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Pouco vento (CID, Ca, Fe). <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Liberação dos sedimentos durante a estratificação e ressuspensão e sedimentação quando se mistura (SFe; SAl, PR-NaOH). 	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alto tempo de retenção, pouco vento? (PTP). <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Liberação dos sedimentos durante a estratificação e ressuspensão e sedimentação quando se mistura (SMn, SFe, PR-BD; SAl, PR-NaOH; SCa; P-ref).
MISTURA PERMANENTE	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Muito vento (OD). <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ambiente turbulento, sedimentação mínima, ressuspensão máxima - Fitoplâncton adaptado (SCl_a) 	<p>Zona eufótica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta vazão, muito vento? (PTD). <p>Fluxo vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ambiente turbulento, sedimentação mínima, ressuspensão máxima

7- BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, M., Velasco, J.L. & Rubio, A. 1993. Settling seston in a hypertrophic lake. *Arch. Hydrobiol.* **127(3)**:327-343.
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. Byrd Prepress Springfield, Washington
- Armengol, J., Crespo, M. & Morgui, J.A. 1984. Phosphorus compounds in the sediment of Sau reservoir (Barcelona, NE Spain) throughout its twenty-year existence. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **22**:1536-1540.
- Armengol, J., Crespo, M., Morgui, J.A. Vidal, A. 1986. Phosphorus budget and forms of phosphorus of Sau reservoir sediment. An interpretation of the limnological record. *Hydrobiologia* **143**:331-336.
- Baines, S.B., Pace, M.L. & Karl, D.A. 1994. Why does the relationships between sinking flux and planktonic primary production differ between lakes and ocean. *Limnol and Oceanogr.*, **39(2)**:213-226.
- Baldwin, D.S. 1996. The phosphorus composition of a diverse series of Australian sediments. *Hydrobiologia*, **335**:63-73

- Bloesch, J., Armengol, J., Giovanoly, F., & Stabel, H. 1988. Phosphorus in suspended and settling particulate matter of lakes. *Archiv f. Hydrobiologie, Beih.* **30**:43-59.
- Blomqvist, S. & Hakanson, L. 1988. A review on sediment traps in aquatic environments. *Arch. Hydrobiol.* **91**:101-132.
- Blomqvist, S., von Bodungen, B., Floderus, S., Friman, H., Hall, P., Heiskanen, A., Kannevorff, E., Larsson, U., Petterson, M. & Uotila, J. 1990. Resuspension-Characterization of possible sources. IN: *Proceedings of the symposium. Sediment traps in marine ecological research and monitoring.* (Eds.) Wassmann, P., Heiskanen, A & Lindahl, O. Nurmijärvi, 49-60.
- Bruce, D.J, Kranck, K & Muschenheim, D.K. 1994. Physicochemical factors in particle aggregation. IN: *The biology of particles in aquatic systems.* (Ed) Wottom, R.S.. Lewis Publishers. London.
- Bruce, L., Kimel & Goldman, C.R. 1976. Production, sedimentation and accumulation of particulate carbon and nitrogen in a sheltered subalpine lake. IN: *Interactions between sediment and freshwater.* (Ed.) H.L. Golterman & W. Junk. BV Publishers, The Hague and Center for Agricultural. Netherlands, 149-155.
- Calijuri, M. & Tundisi, J.G. 1990 . Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: Mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Rev. Brasil. Biol.* **50(4)**:893-913
- Callieri, C., Bertoni, R & Contesini, M. 1986. Settling rates of particulate matter in Lago di Mergozzo (Northern Italy). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* **44**:147-164.

- Callieri, C., Bertoni, R., De Marco, C. & Contesini, M. 1991. Settling flux and sinking velocity of seston in Lago di Mergozzo (Norther Italy) and influence of microbial activity on the decomposition of entrapped organic material. *Hydrobiologia*, **213**:155-165.
- Coale, K.H. 1991. Labyrinth of doom: a device to minimize the "swimmer" component in sediment trap collections. *Limnol. and Oceanogr.***35**:1376-1380.
- Davison, W., Woolf, C. & Rigg, E. 1982. The dynamics of iron and manganese in a seasonally anoxy lake, direct measurement of fluxes using sediment traps. *Limnol and Oceanog.* **27(6)**:987-1003
- Dillon , P.J. & Rigler, F.H. 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration of a lake water. *J. Fish. Res Board. Can.* **31**:1771-1778.
- Emerson, S., 1976. Early diagenesis in anaerobic lake sediments: chemical equilibria in interstitial waters. *Geochemica et Cosmochimica Acta* **40**:925-934pp
- Engle, D.L. & Sarnelle, O. 1990. Algal use of sedimentary phosphorus from Amazon floodplaine lake: Implications for total phosphorus analysis in turbid water. *Limnol. and Oceanogr.***30(2)**:485-490.
- Flower, R.J. 1990. Seasonal cahanges in sedimenting material collected by high aspect ratio sediments traps operated in a holomictic eutrophic lake. *Hidrobiologia* **214**: 311-316
- Gächter R. & J.S. Meyer, 1993. The role of microorganisms in movilization and fixation of phosphorus. *Hydrobiologia*, **253**:103-121.
- Gálvez, C. & Niell, F.X. 1992. Sediment resuspension in a monomictic eutrofic reservoir. *Hydrobiologia*, **253/236**:133-141

- Gasith, A. 1976. Seston dynamics and tripton sedimentation in the pelagic zone of a shallow eutrophic lake. *Hydrobiologia* **51**:225-231.
- Goldman, C.R. & Horne, A.J. 1983. Limnology. McGraw-Hill Book Company. New York. 464p.
- Golterman H.L., 1988. The calcium and iron bond-phosphate diagram. *Hydrobiologia*, **59**:140-151.
- Gundersen, K. 1990. Sampling precision and preservation of sediment trap material. IN: *Proceedings of the symposium. Sediment traps in marine ecological research and monitoring.* (Eds.) Wassmann, P., Heiskanen, A & Lindahl, O. Nurmijärvi, 6-35.
- Håkanson. L., Floderus, S. & Wallin, M., 1989. Sedimente trap assemblages- a methodological description. *Hydrobiologia*, **176/177**:481-490
- Henry, R. & F.E. Maricato. 1996. Sedimentation rates of tripton in Jurumirim reservoir (São Paulo, Brazil). *Limnologica* **26(1)**:15-25
- Hieltjes, A.H.M & Lijklema, L. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *J. Environ. Qual.* **9**:405-407
- Horn W. & H.Horn, 1990. A simple and reliable method for the instalation of sediment traps in lakes. *Int. Revne ges. Hydrobiol*, **75(2)**:269-270.
- James, W.F. & Barko, J.W. 1997. Net and gross sedimentation in relation to the phosphorus budget of Eau Galle reservoir, Wisconsin. *Hydrobiologia*, **345**:15-20
- Jensen H.S., P.Kristensen, E.Jeppesen & A.Skytthe. 1992. Iron-phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediment in shallow lakes. *Hydrobiologia*, **235/236**:731-743.

- Jensen H.S. & B. Thamdrup, 1993. Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. *Hydrobiologia*, **253**:47-59
- Johnson, M.G. & Brinkhurst, R.O. 1971. Benthic community metabolism in bay of Quinteand Lake Ontario. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **28(11)**:1715-1725.
- Kamp-Nielsen, L. 1976. Modelling the temporal variation in sedimentary phosphorus fractions. IN: *Interactions between sediment and freshwater*. (Eds.) Golterman, H. L. & W. Junk. The Hague and Center for Agricultural. Netherlands, 277-285.
- Kristensen, P., Sondegaard, M. & Jeppesen, E. 1992. Resuspension in a shallow eutrophic lake. *Hydrobiologia*, **228**:101-109
- Livingston, D. & Reynolds, C.S. 1981. Algal sedimentation in relation to phytoplankton periodicity in Rostherner Mere. *Br. phycol. J.* **16**:195-206.
- Lopez, P. & Morgui, J.A. 1993. Factors influencing fractional phosphorus composition in sediments of spanish reservoirs. *Hydrobiologia*, **253**:73-82
- Maier, M.H. & Tolentino, M. 1988. Aspectos climatológicos e limnológicos da bacia do rio Jacaré Pepira, São Paulo, Brasil. *Acta Limnol. Brasil.*, **II**:261-300
- Margalef, R. 1991. *Teoria de los sistemas ecológicos*. Publicacions de la Universitat de Barcelona. Barcelona, 290p.
- Mitsch W.J., B.C. Reeder & D.M. Klarer, 1989. The role of wetlands in the control of nutrients with a case study of western lake Erie. IN: *Ecological engineering: An introduction to ecotechnology*. (Eds.) Mitsch W.J. & S.E. Jorgensen. John Wiley & Sons, Inc. New York, 120-155.
- Moed, J.R. & Hallegraef, G.M. 1978. Some problems in the estimation of chlorophyll *a* and phaeopigments from pre and postacidification spectofotometric measurements. *Int. Rev, ges Hydrobiol.*, **63**:(6)787-800

- Mortimer, C.H., 1971. Chemical exchange between sediments and water in the Great Lake. Speculation on probable regulatory mechanisms. *Limnol and Oceanogr.*, **16**:387-404
- Nush, E.A. 1990. Comparison of different methods for chlorofyll phaeopigments determination. *Arch. Fur Hydrobiol.*, **14**:14-36
- Oishi, M., 1990. *Determinação do potencial trófico das águas dos componentes da bacia hidrográfica da represa do Lobo (Itiprapina -SP), através de ensaio algal*. Dissertação de Mestrado. PPG-CEA, EESC - USP 131p.
- Oishi, M., 1996. *Caraterização do meio físico, das características físicas e químicas e de fluxo de nutrientes em tributários da bacia hidrográfica do reservatório de Barra Bonita (Médio Tietê- SP)*. Tese de Doutoramento, EESC- USP. 199p.
- Pace, M.L., Knauer, G.A., Karl, D.M. & Martin, J. 1987. Primary production, new production, and vertical flux in the eastern Pacific ocean. *Nature* **325**:803-804.
- Pedrozo, F.L., Bonetto, C.A., Ramos, A. & Minzoni, F. 1986. Fijación de fósforo en sedimentos de fondo de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo. *Ecosur*, **12(13)**:59-68
- Petracco, P. 1995. *Determinação da biomassa e estoque de nitrogênio e fósforo de *Polygonum spectabile* Mart e *Paspalum repens* Berg da represa de Barra Bonita (SP)*. Dissertação de Mestrado. PPG-CEA, EESC - USP. 108p.
- Petterson, K., Bostrom, B. & Jacobsen O. 1988. Phosphorus in sediments- speciation and analysis. *Hydrobiologia* **170**:91-101
- Prado, H.1995. Manual de Classificação de solos do Brasil. 2^{da} ed. Jaboticabal:FUNEP. 197p

- Prarie, Y.T. 1988. Statistical models for the estimation of net phosphorus sedimentation in lakes. *Aquatic Sciences* **51(3)**:192-210
- Psenner R. & Pucsko, R 1988. Phosphorus fractionation: advantages and limits of the method for the study of sediment P origins and interactions. *Arch. Hydrobiol. Beih* **30**:43-59
- Psenner, R. 1988. Alkalinity generation in a soft-water lake: Watershed and in-lake processes. *Limnol and oceanogr.* **33(6, part 2)**: 1463-1475.
- Psenner, R., Bostrom, M., Dinka, M., Pettersson, K., Pucsko & R., Sager, M. 1988 Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. *Arch. Hydrobiol. Beih* **30**:98-111
- Reddy K.R. & E.M. D'Angelo, 1994. Soil processes regulating water quality in wetlands. IN: *Global wetlands: old world and new*. (Ed) Mitsch W.J. Elsevier Science B.V. New York 309-324 pp.
- Reynolds, C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridg.
- Reynolds, C.S. 1996. Phosphorus recycling in lakes: evidence from large limnetic enclosures for the importance of shalow sediments. *Freshwater Biology.* **35**:623-645
- Rijkeboer, M., De Bles, F. & Gons, J. 1991. Role of sestonic detritus as a P-buffer. *Mem. Ist. Ital. Idriobiol.*, **48**:251-260.
- Saggio, A.A. 1992. *Estudo da eutrofização do reservatorio do Barra Bonita (Rio Tietê - SP) através de simulação numérica*. Universidade de São Paulo, **Dissertação de Mestrado**, São Carlos, 105p.

- Saijo, Y., Mitamura, O. & Barbosa, F.A.R. 1997. Chemical studies on sediments of four lakes. IN: *Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. (Eds.) Tundisi, J.G. & Saijo, Y. Braziliam Academy of Sciences. Rio de Janeiro. 161-167
- Serruya, C. 1976. Rates of sedimentation and resuspension in Lake Kinneret. IN: *Interactions between sediment and freshwater*. (Eds.) Golterman, H. L. & W. Junk. The Hague and Center for Agricultural. Netherlands, 48-56.
- Sigg, L. 1987. Surface chemical aspects of the distribution and fate of metals ions in lakes. IN: *Aquatic surface chemistry* (Ed.) Stumm, W. John Wiley & Sons. New York. 319-349
- Soutar, A., Kling, S.A., Crill, P.A., Duffrin, E. & Bruland, K.W. 1977. Monitoring the marine environment through sedimentation. *Nature*, **256**:136-139.
- Stone, M. & English, M.C. 1993. Geochemical composition, phosphorus speciation and mass transport of fine-grained sediment in two Lake Erie tributaries. *Hydrobiologia*, **253**:17-29
- Schwoerbel, J. 1987. Handbook of limnology. Ellis Horwood Limited. Southampton, 228p.
- Thingstad, T.F. 1991. An idealized model of biologically mediated storage of dissolved inorganic carbon in the ocean's interior. IN: *Proceedings of the symposium. Sediment traps in marine ecological research and monitoring*. (Eds.) Wassmann, P., Heiskanen, A & Lindahl, O. Nurmijärvi, 49-60.
- Tundisi, J.G. 1977. Produção primária, standing-stock, fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial. (Represa do Broa, São Carlos). Tese de Livre Docência - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP. Ribeirão Preto, SP. 410

- Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T., Henry, R., Rocha, O. & Hino, K. 1980. Comparações do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: eutrofização e manejo. IN: (Ed.) Tundisi, J.G. *Limnologia e manejo de represas*. Série: Monografias em Limnologia, 1(1):165-204
- Tundisi, J.G. 1986. Limnologia de represas artificiais. *Boletim de Hidráulica e Saneamento*. EESC-USP. 11:1-46
- Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. 1990. Limnology and eutrofication of Barra Bonita reservoir, S. Paulo State, Southern Brazil. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, 33:661-676
- Tundisi, J.G. 1994. Tropical South America: Present and Perspectives. IN: *Limnology Now: A paradigm of the planetary problems*. (Ed.) Margalef, R. Elsevier Science B.V. 353-424.
- Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. 1995. The Lobo-Broa ecosystem research. IN: *Limnology in Brazil*. (Eds.) Tundisi, J.G., Bicudo, C.E.M. & Matsumura-Tundisi, T. ABC/SBL. Rio de Janeiro, 219-243.
- Ulrich, K-U. 1997. Effects of land use in the drainage area on phosphorus binding and mobility in the sediments of four drinking-water reservoirs. *Hydrobiologia*, 348:21-38.
- Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrofication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33:53-83.
- White, W.S. & Wetzel, R.G. 1973. A modified sedimentation trap. *Limnol. and Oceanogr.* 18:986-988.
- Williams, J.H.D, Mayer, T & Nigrau, J.O. 1980. Extractability of phosphorus from phosphates minerals common in soils and sediments. *Soil Sci. Amer. Proc.* 44:462-464.

Witaker, V A. 1987. Ciclo sazonal das espécies químicas do ferro no reservatório do Lobo (Broa). Universidade de São Paulo, **Dissertação de Mestrado**, São Carlos, 152.

ANEXOS

Anexo I. Matriz de correlaciones múltiples. RESERVAFOFO DE BROSA.
Coeficiente de Pearson, α significativo = 0,05000
Número de casos = 6

Variable	DS	Chuva	Vento	pH	Cond	OD	Temp	MST	MSI	MSL	MSO%	CTD	CHD	GGD	HPL	PT
DS	1,00															
Chuva	-.55	1,00														
Vento	-.01	.71	1,00													
pH	.44	-.41	-.16	1,00												
Cond	.00	.27	-.16	-.40	1,00											
OD	.46	-.23	.37	.29	-.65	1,00										
Temp	.02	.09	-.04	.27	-.38	.73	1,00									
MST	-.86	.61	.15	-.74	-.04	-.05	-.49	1,00								
MSI	-.64	.78	.43	-.60	.17	.03	-.46	.88*	1,00							
MSO	-.79	.35	-.12	-.72	-.32	-.11	-.46	.91*	.61	1,00						
MSL	-.27	.67	.53	-.25	.39	.09	-.36	.47	.84*	.07	1,00					
MSO%	.28	-.67	-.53	.25	-.40	-.08	.35	-.47	-.83*	-.07	-.10*	1,00				
CTD	-.28	.28	.14	.43	.34	-.63	.74	-.25	-.69	-.36	.01	-.16	1,00			
CHD	-.50	-.24	-.70	-.54	.03	-.17	-.47	.55	.29	.67	.00	-.33	1,00			
GGD	-.21	.31	.22	.45	.45	-.59	.77	-.30	-.11	-.42	-.2	-.43	1,00			
NPP	.73	-.72	-.31	.33	-.33	.26	.18	-.68	-.86*	-.23	-.88*	-.38	-.26	1,00		
PT	.28	-.46	-.13	.32	-.65	.19	.24	-.38	-.69	-.63	-.9*	-.24	-.24	-.21	1,00	
PTD	-.04	-.31	-.20	.09	-.65	.04	.20	-.08	-.49	.79	-.9*	.24	-.01	-.24	.63	1,00
PTP	.89*	-.54	.08	.68	-.25	.39	.26	-.89*	-.81*	-.79	-.5	-.07	-.67	.00	.83*	.94*
Cl _a	-.30	.80	.82*	-.37	-.19	.35	-.36	.63	.73	.42	.5	-.25	-.24	-.21	-.43	-.17
Fe	-.04	.34	-.09	-.39	-.99*	-.61	-.32	.01	.26	-.26	.5	.36	.02	.37	-.42	-.73
Mn	-.37	.75	.74	-.41	-.25	.40	-.50	.73	.86	.52	.6	-.32	-.09	-.29	-.48	-.22
Ca	-.43	-.34	-.79	-.54	-.05	-.22	-.34	.46	.10	.69	-.3	-.40	.95*	-.49	-.02	.03
Al	-.68	.87*	.31	-.73	.93	-.46	.01	.75	.84*	.54	.7	.18	.18	.17	-.79	-.63
SEDF	-.47	-.07	-.25	-.48	-.57	.23	-.56	.66	.77	.87*	-.3	.63	.65	-.69	.02	.32
SrI	-.66	.37	.95	-.68	-.26	.19	-.69	.95*	.79	.9*	.3	-.50	.64	-.55	-.49	-.22
SrO	-.03	-.56	-.49	-.03	-.67	.18	-.43	.02	-.43	.41	.8*	-.50	.37	-.54	.61	.81
SCl _a	-.24	.73	.75	-.45	-.18	.40	-.44	.65	.73	.45	.5	-.39	-.18	-.34	-.56	-.17
PR-HH9Cl	.74	-.84*	-.34	.38	-.39	.67	-.46	-.51	-.53	-.39	-.4	.57	.07	-.57	.95	.32
PR-FD	.63	-.47	-.25	-.08	-.12	.17	.13	-.43	-.62	-.18	-.7	.55	-.26	-.50	.90*	.04
PR-BD	-.27	.50	.52	-.48	-.44	.44	-.48	.66	.54	.61	.2	.58	-.00	-.36	.11	.16
PR-NaOH	.07	.14	-.37	-.57	.69	-.65	.52	-.05	-.13	.03	-.2	.00	-.02	.03	.20	.02
PR-NaOH	-.05	-.71	-.79	-.16	-.41	.06	-.28	.06	-.36	.41	-.7	-.51	.69	-.59	.47	.50
PR-HCl	.83*	-.28	.25	.37	-.19	.39	.23	-.68	-.62	-.59	-.4	-.25	-.73	-.16	.81	.61
Prof	.46	-.71	-.64	-.11	.11	.30	-.53	-.19	-.21	-.13	-.1	-.57	.52	-.60	.31	-.14

Anexo 1. Matriz de correlaciones múltiples. RESERVATORIO DE BROSA. Coeficiente de Pearson, * significativo, p < .05000 Número de casos = 6																		
STAT. BASIC STATS	Variable	DS	Chuva	Vento	pH	Cond	OD	Temp	MST	RESI	MSO	MS18	MSO8	CTP	GTD	COD	PTP	PT
	SPT	.26	-.33	-.48	-.53	.08	-.08	-.01	-.02	-.31	.24	-.6	.6	-.64	.24	-.63	.62	.45
	SNTP	.44	-.74	-.74	-.27	-.02	.19	-.33	-.18	-.41	.03	-.5	.5	-.71	.48	-.73	.62	.29
	SFe	-.29	-.48	-.80	-.35	-.33	-.35	-.08	.21	-.24	.37	-.7	.7	-.35	.74	-.43	.31	.44
	SMn	.58	-.48	-.29	.40	.45	.04	.01	-.61	-.33	-.75	.22	-.22	.19	-.06	.19	.08	-.41
	SCa	.00	-.71	-.72	.03	-.48	-.02	-.01	-.13	-.56	.23	-.9*	.9*	-.34	.46	-.40	.62	.72
	SAl	-.49	-.18	-.45	-.50	-.46	.07	-.46	.60	.18	.39*	-.3	.3	-.36	.77	-.63	.04	.40

Anexo 1. Matriz de correlaciones múltiples. RESERVATORIO DE BROSA. Coeficiente de Pearson, * significativo, p < .05000 Número de casos = 6																			
STAT. BASIC STATS	Variable	PTD	PTP	Cl1a	Fe	Mn	Ca	Al	GEDT	SMI	SMO	SC1a	PR- M04Cl	PR- ED	PR- ED	PR- H2O8H	PR- H2O8H	PR- H2O8H	PR- H2O8H
	DS	-.04	.89*	-.30	-.04	-.37	-.43	-.68	-.47	-.66	-.03	-.24	.74	.63	.27	.07	-.05	.83*	
	Chuva	-.31	-.54	.80	.34	.75	-.34	.87*	-.07	.37	-.56	.73	-.34*	-.47	.50	.14	-.71	-.28	
	Vento	-.20	.08	.82*	-.09	.74	-.79	.31	-.25	.65	-.49	.75	-.34	-.25	.52	-.27	-.79	.25	
	pH	.09	.68	-.37	-.39	-.41	-.54	-.73	-.48	-.68	-.03	-.45	.38	-.08	-.48	-.57	-.16	.37	
	Cond	-.65	-.25	-.19	.99*	-.25	-.05	.53	-.57	-.76	-.67	-.18	-.38	-.12	-.44	-.69	-.31	-.19	
	OD	.04	.39	.35	-.61	.40	-.22	-.46	.23	.19	.18	.40	.67	.17	.44	-.65	.06	.39	
	Temp	.20	.26	-.36	.32	-.50	-.34	.01	-.56	-.69	-.15	-.34	-.46	.13	-.48	-.52	.28	.23	
	MST	-.08	-.89*	.63	.01	.73	.46	.75	.66	.95*	.67	.65	-.51	-.43	.66	-.05	.06	-.68	
	MSI	-.49	-.81*	.73	.26	.80	.10	.84*	.27	.77	-.43	.73	-.53	-.62	.54	-.13	-.36	-.62	
	MSO	.29	-.79	.42	-.20	.52	.69	.53	.87*	.92*	.41	.45	-.39	-.18	.64	.63	.41	-.59	
	MS18	-.86*	.51	.54	.50	.57	-.28	.66	-.26	.33	-.83*	.57	.36	.16	.16	-.21	-.68	-.45	
	MSO8	.86*	.52	.54	-.50	-.57	.38	-.66	.26	-.33	.83*	-.52	.37	.70	-.16	.31	.68	.45	
	GTD	-.24	-.07	-.25	.36	-.32	-.40	.18	-.63	-.50	-.50	-.39	-.57	-.55	-.58	-.00	-.51	-.25	
	GOD	-.01	-.67	-.24	.02	-.09	.95*	.18	.65	.64	.37	-.18	.07	.20	-.00	-.02	.69	-.73	
	COD	-.24	.00	-.21	.37	-.29	-.49	.17	-.69	-.55	-.54	-.34	-.57	-.56	-.56	.03	-.59	-.16	
	NTP	.63	.83*	-.43	-.42	-.48	-.02	-.79	.02	-.49	.61	-.36	.66	.90*	-.11	-.20	.17	.81	
	PT	.94*	.59	-.17	-.73	-.32	.03	-.63	.32	.22	.81	-.07	.32	.19	.02	.62	.50	.61	
	PTD	1.00	.28	-.08	-.72	-.09	.26	-.41	.55	.65	.80*	-.18	.11	.56	.31	.06	.60	.34	
	PTP	.28	1.00	-.31	-.30	-.41	-.53	-.80	-.43	-.76	.16	-.30	.62	.53	-.03	-.03	.60	.91*	
	Cl1a	-.08	-.31	1.00	-.12	.98*	-.31	.58	.26	.58	-.23	.99*	-.41	-.18	-.13	-.17	-.00	-.00	
	Fe	-.72	-.30	-.12	1.00	-.18	-.09	.58	-.58	-.22	-.74	-.11	-.41	-.21	-.41	.62	-.18	-.24	

STAMP BASIC STAMP	Anexo1. Matriz de correlações múltiplas. RESERVATÓRIO DE EROA. Coeficiente de Pearson, * significativo p < .05000. Número de Casos = 6									
Variable	Pref	SPT	SHTP	SFe	SMh	SCa	SAI			
MST	-.19	-.02	-.18	.21	-.61	-.15	.60			
MSI	-.21	-.31	-.41	-.24	-.33	-.56	.18			
MSO	-.13	.24	.09	.57	-.75	.38	.85*			
MSIh	-.10	-.57	-.51	-.66	-.18	-.87*	-.34			
MSOa	.10	.57	.51	.66	-.18	.87*	.34			
CFD	-.57	-.64	-.71	-.35	-.19	-.34	-.56			
CID	.52	.24	.48	.74	-.06	.46	.77			
COD	-.60	-.63	-.73	-.43	.19	-.40	-.63			
HPP	.31	.62	.62	.31	.08	.62	.04			
PT	-.14	.45	.29	.44	-.41	.72	.30			
PTD	-.23	.48	.25	.62	-.64	.79	.55			
PTP	.13	.16	.23	-.24	.35	.16	-.47			
ClA	-.49	-.14	-.47	-.42	-.61	-.52	.66			
Fe	.08	-.01	-.16	-.30	.45	-.57	-.48			
Mh	-.40	-.17	-.41	-.33	-.60	-.46	.19			
Ca	.48	.47	.61	.90*	-.19	.67	.86*			
Al	-.41	-.10	-.44	-.17	-.37	-.55	.04			
SEDT	.12	.39	.36	.72	-.68	.60	.97*			
SMI	.02	.09	.04	.34	-.59	.07	.76			
SR0	.19	.57	.57	.83*	-.46	.95*	.78			
SCLa	-.37	-.03	-.34	-.36	-.59	-.47	.12			
PR-RH4CL	.78	.26	.70	.15	.49	.41	.07			
PR-BD	.28	.86*	.68	.33	-.09	.49	.13			
PR-BD	-.30	.23	-.09	.02	-.79	-.06	.46			
PR-NaOH	-.02	.68	.38	.21	-.07	.03	-.07			
PR-NaOH	.54	.57	.77	.93*	-.15	.94*	.81*			
PR-HCl	.00	.38	.23	-.26	.08	.06	-.39			
Pref	1.00	.38	.84*	.33	.61	.31	.21			
SPT	.38	1.00	.79	.61	-.23	.55	.45			
SHTP	.84*	.79	1.00	.64	.23	.65	.45			
SFe	.33	.61	.64	1.00	-.32	.90*	.85*			
SMh	.61	-.23	.23	-.32	1.00	-.24	-.58			
SCa	.31	.55	.65	.90*	-.24	1.00	.70			
SAI	.21	.45	.45	.85*	-.58	.70	1.00			

STAT. BASIC STATS	Anexo1. Matriz de correlaçoes múltiplas. RESERVATÓRIO DE BRQA.															
	Coeficiente de Pearson, r significativo p = .050000 Número de casos = 6															
Variable	PTD	PTP	Cl-a	Fe	Mh	Ca	Al	SEPT	SMI	SRO	SCa	PR- NH4Cl	PR- ED	PR- NaOH	PR- HCl	
Mu	-.09	-.41	.90*	-.18	1.00	-.18	.57	.48	.76	-.17	.90*	-.36	-.15	.89*	-.33	-.13
Ca	-.26	-.53	-.31	-.09	-.18	1.00	1.00	.73	.57	.53	-.24	.11	.05	.63	.13	-.55
Al	-.41	-.80	.58	.58	.57	.07	1.00	.66	.52	-.50	.56	-.83*	-.46	.56	.36	-.45
SEPT	.55	-.43	.26	-.58	.38	.73	.66	1.00	.82*	.75	.32	.07	.17	.64	-.17	.71
SMI	.05	-.76	.58	-.22	.70	.57	.52	.82*	1.00	.11	.67	-.32	-.28	.72	-.20	.38
SRO	.89*	.16	-.33	-.74	-.17	.59	.59	.75	.14	1.00	-.13	.38	.54	.35	-.46	.88*
SCa	-.08	-.50	.99*	-.11	.93*	-.24	.56	.32	.06	-.13	1.00	-.32	-.09	.91*	-.48	.39
PR-NH4Cl	.11	.62	-.41	-.41	-.36	.11	-.83*	.07	-.22	.38	-.42	1.00	.47	-.18	-.33	.48
PR-ED	.56	.63	-.18	-.21	-.35	.05	-.46	.12	-.28	.54	-.09	.47	1.00	.14	.50	.40
PR-NaOH	.31	-.25	.87*	-.41	.89*	.03	.36	.64	.72	.29	.91*	-.18	.14	1.00	-.08	-.00
PR-HCl	.06	-.03	-.13	.62	-.23	.13	.36	-.17	-.20	-.06	-.08	-.33	.59	-.08	1.00	-.02
Pref	.60	-.03	.47	-.48	-.36	.84*	-.45	.71	.28	.80*	-.39	.48	.40	-.40	-.02	1.00
SPT	.34	.13	-.00	-.24	-.13	-.55	-.55	-.31	-.58	.15	.03	.45	.79	.08	.20	-.11
SFP	.48	.16	-.14	.06	-.40	.48	-.41	.12	.02	.19	-.37	.78	.28	.30	-.02	.54
SMP	.25	.23	-.47	-.10	-.17	.47	-.10	.39	.09	.57	-.03	.26	.86*	.23	.68	.57
SFe	.62	-.24	-.42	-.30	-.41	.61	-.44	.36	.04	.57	-.34	.70	.68	.09	.28	.77
SMh	-.64	.35	-.61	.45	-.33	.90*	-.17	.72	.34	.83*	-.36	.15	.53	.02	.21	.93*
SCa	.79	.16	-.52	-.57	-.46	.67	-.37	-.69	-.59	-.46	-.59	.49	-.09	-.79	-.07	-.15
SA1	.55	-.47	.06	-.48	.19	.86*	.04	.97*	.07	.95*	-.47	.41	.49	-.06	.03	.94*
									.76	.78	.12	.07	.13	.46	-.07	.81*

STAT. BASIC STATS	Anexo1. Matriz de correlaçoes múltiplas. RESERVATÓRIO DE BRQA.													
	Coeficiente de Pearson, r significativo p = .050000 Número de casos = 6													
Variable	Pref	SPT	SPTP	SFe	SMh	SCa	SA1							
DS	.46	.26	.44	-.29	.58	.00	-.49							
Chuva	-.71	-.33	-.74	-.48	-.48	-.71	-.18							
Vento	-.64	-.48	-.74	-.80	-.29	-.72	-.45							
pH	-.11	-.53	-.27	-.35	.40	.03	-.50							
Cond	.11	.08	-.02	-.23	.45	-.48	-.46							
OD	.30	-.08	.18	-.25	.04	-.02	.07							
Temp	-.53	-.01	-.33	-.08	.01	-.01	-.46							

ANEXO 2. Tabela de correlações múltiplas. RES DE BARRA BOHITA
 Coeficiente de Pearson, * significativo, p < .05
 Número de casos = 6.

STAT. BASIC STATS	Variable	DS	Vazão	p. Nete ção	pH	Cond.	OD	Temp	HST	MSI	MRD	MLK	MSC%	CTD	CID	COD	BFP	PTP
DS	DS	1.00	-.81*	.51	.26	.61	-.08	-.32	-.67	-.36*	-.16	-.3	.5	.00	-.00	.16	-.05	.12
Vazão	Vazão	-.81*	1.00	-.79	-.25	-.47	-.33	.78	.72	.91*	.11	.2	-.7	.11	.07	.14	-.02	.33
pretensão	pretensão	.51	-.79	1.00	-.36	-.05	.13	-.77	-.86*	-.54*	-.60	-.4	-.4	-.58	-.52	-.60	-.47	-.23
pH	pH	.26	-.05	-.76	1.00	.35	.70	.05	.14	-.66	.63	-.8*	.8*	.23	.36	.19	.77	-.07
Cond.	Cond.	.61	-.47	-.05	.35	1.00	-.07	-.23	.11	-.56	.56	-.7	.7	.69	.58	.74	.55	-.03
OD	OD	-.08	-.33	.12	.70	-.07	1.00	-.43	-.60	-.47	.39	-.4	-.4	-.13	.05	-.30	.02	.57
Temp	Temp	-.32	.78	-.77	.05	-.23	-.43	1.00	.47	-.54	.76	-.1	.1	.11	-.03	.24	.02	.73
HST	HST	-.67	.72	-.86*	.14	.11	-.00	.47	1.00	.54	.54	-.4	.4	.52	.48	.52	.32	.66
MSI	MSI	-.82*	.91*	-.54	-.60	-.56	-.47	.54	.54	1.00	.13	.5	-.5	.03	.02	.03	-.32	.16
MSC%	MSC%	-.16	.14	-.66	.63	.56	.36	.14	.76	-.13	1.00	-.9*	.9*	.59	.55	.58	.97*	-.65
MLK	MLK	-.31	-.22	-.36	-.84*	-.72	-.41	-.65	-.38	.55	-.87*	1.0	-1.0*	-.50	-.44	-.52	-.92*	-.96
MSC%	MSC%	.31	-.22	-.36	-.84*	.72	-.41	-.65	-.38	-.55	.87*	-1.0*	1.0	-.50	-.44	-.52	-.92*	-.96
CTD	CTD	-.08	.11	-.58	.23	.69	-.13	.11	.52	.03	.59	-.5	.5	1.00	.97*	.52	.92*	.46
CID	CID	-.00	.07	-.52	.26	.58	.05	-.03	.48	.02	.55	-.4	.4	.97*	1.00	.87*	.47	.48
COD	COD	.16	.14	-.66	.63	.56	.36	.14	.76	-.13	1.00	-.9*	.9*	.59	.55	.58	.97*	.46
HST	HST	-.05	-.02	-.47	.77	.95	.54	.02	.62	-.32	.97*	-.9*	.5*	.48	.47	.45	1.00	-.11
PTP	PTP	.12	.33	-.23	-.07	-.03	-.57	.73	.06	.16	-.09	-.1	.1	-.25	-.48	-.02	-.11	1.00
PTD	PTD	-.15	.51	-.63	.50	-.25	.04	.84*	.27	.16	.70	-.3	.3	-.03	-.10	.04	.11	.87
Cl a	Cl a	.29	-.19	.42	-.61	.23	-.66	-.11	-.23	-.00	-.27	.2	-.2	-.23	-.41	-.07	-.54	.48
Fe	Fe	-.46	.76	-.34	-.70	-.50	-.78	.66	.19	.86*	-.43	.6	.6	.45	.43	.39	.76	.31
Mg	Mg	-.09	.27	.24	-.62	-.51	-.60	.35	-.28	.38	-.62	.5	-.6	.13	-.22	-.02	-.60	.51
Ca	Ca	.64	-.74	.34	.59	.71	.42	-.46	-.18	-.88*	.47	-.7	.7	.69	.81*	.53	-.67	.70
Al	Al	-.39	.71	-.29	-.68	-.54	-.77	.66	.09	.81	-.51	.7	-.7	.17	-.26	-.07	-.67	.91
SEDT	SEDT	-.02	.51	-.52	.06	.03	-.51	.87*	.33	.26	.18	-.7	.2	.01	-.23	.20	.16	.90*
SMI	SMI	-.15	.61	-.55	-.02	-.09	-.53	.90*	.37	.38	.14	-.1	.1	-.07	-.27	.13	.04	.93*
SMO	SMO	.41	.09	-.35	.32	.44	-.39	.62	.14	-.19	.31	-.5	.5	.17	-.06	.38	.38	.84*
SCLOK	SCLOK	.06	-.13	-.38	.26	.81	.09	-.22	.57	-.20	.83*	-.7	.7	.69	.64	.69	.75	.29
PR-NH4Cl	PR-NH4Cl	.54	-.31	.08	-.22	.82*	-.58	-.12	-.00	-.24	.17	-.5	.3	.50	.33	.63	.68	.21
PR-BD	PR-BD	.24	-.06	.24	-.33	.14	-.53	.17	-.12	-.04	-.11	-.0	-.0	-.39	-.55	-.17	-.15	.76
PR-BD	PR-BD	-.28	-.06	-.19	.19	.43	.42	.86	.56	-.05	.69	-.4	.4	.53	.63	.41	.66	-.65
PR-HaOH	PR-HaOH	-.32	.32	.21	-.50	-.65	-.31	.27	-.13	.39	-.46	.5	.5	.87*	-.70	-.88*	.59	-.67
PR-NaOH	PR-NaOH	.80	-.40	.12	-.03	.68	-.54	.02	-.55	-.38	-.12	-.2	.2	.47	.33	.58	-.15	.23
PR-HCl	PR-HCl	-.25	.55	-.14	-.76	-.27	-.89*	.52	.11	.67	-.38	.5	-.5	-.20	-.36	-.03	-.55	.67
Prof	Prof	-.04	-.33	.45	.05	.04	.37	-.47	-.02	-.31	.21	-.2	.2	-.51	-.50	-.48	.29	.00

ANEXO 2. Matriz de correlações múltiplas, RES DE BARRA BOHITA
Coeficiente de Pearson, * significativo p < .050000
Número de casos = 6.

STAT. BASIC STATS	ANEXO 2. Matriz de correlações múltiplas, RES DE BARRA BOHITA Coeficiente de Pearson, * significativo p < .050000 Número de casos = 6.																
Variable	DS	Vazão	T. Rete nção	pH	Cond.	OD	Temp	MST	MSI	MSO	MSL8	MSOE	CTD	GTD	COB	JTP	PT
SPT	.20	-.07	.26	-.49	.24	-.62	.03	-.06	.64	-.16	.1	-.1	-.24	-.43	-.04	-.18	.60
SNTF	.72	-.28	-.10	.17	.79	-.19	.21	-.07	-.39	.21	-.5	.5	.48	-.28	.65	.17	.48
SFe	.06	.19	.14	-.64	-.05	-.80	.31	-.09	.30	-.33	.4	-.4	-.34	-.53	-.13	-.44	.75
SMu	-.32	.34	.16	.20	-.40	.15	.45	.22	.12	.17	-.1	.1	-.60	-.68	-.50	.20	.62
SCa	.28	.10	-.10	.08	.16	-.41	.54	.02	-.10	.09	-.3	.3	-.36	-.48	-.02	.08	.95*
SAI	-.46	.61	-.33	-.16	-.38	-.28	.64	.39	.47	.16	.1	-.1	-.44	-.57	-.28	.03	.77

ANEXO 2. Matriz de correlações múltiplas, RES DE BARRA BOHITA
Coeficiente de Pearson, * significativo p < .050000
Número de casos = 6.

STAT. BASIC STATS	ANEXO 2. Matriz de correlações múltiplas, RES DE BARRA BOHITA Coeficiente de Pearson, * significativo p < .050000 Número de casos = 6.																
Variable	PTD	JTP	Cl2	Fe	Mn	Ca	Al	SETP	SMU	SBO	SCla	PK- NH4Cl	PK- ED	PK- ED	PK- H2O8	PK- H2O8	PK- HCl
DS	-.15	.29	-.18	-.46	-.09	.64	-.39	-.02	-.15	.41	.06	.54	.34	-.28	-.32	.80	-.25
Vazão	.51	-.19	-.07	.76	.27	-.74	.71	.51	.61	.09	-.13	-.31	-.06	-.06	.32	-.40	.55
Tretença	-.63	.42	-.19	-.34	.24	.34	-.29	-.52	-.55	-.35	-.28	.08	.34	-.19	.21	.12	-.14
pH	.50	-.61	.23	-.70	-.62	.59	-.68	.06	-.02	.32	.26	-.22	-.33	.19	-.59	-.03	-.76
Cond.	-.25	.23	.55	-.50	-.51	.71	-.54	.03	-.09	.44	.81	.82*	.14	.43	-.65	.68	-.27
OD	.04	-.66	.31	-.78	-.60	.42	-.77	-.51	-.53	-.39	.09	-.58	-.53	.42	-.31	-.54	-.89*
Temp	.84*	-.11	-.33	.66	.35	-.46	.66	.87*	.90*	.62	-.22	-.12	.17	-.46	.27	.02	.52
MST	.27	-.23	.60	.19	-.38	-.18	.09	.33	.37	.14	.57	.00	-.12	.56	-.13	-.45	.11
MSI	.16	-.00	-.13	.86*	.38	-.89*	.81	.26	.38	-.19	-.20	.23	-.04	.05	.39	-.48	.67
MSO	.20	-.27	.80	-.43	-.62	.47	-.51	.18	.14	.31	.82*	.17	-.11	.69	-.16	-.12	-.38
MSL8	-.28	.24	-.58	.65	.61	-.75	.68	-.21	-.11	-.52	-.69	-.26	.03	-.43	.54	-.18	.54
MSOE	.28	-.24	.58	-.65	-.61	.75	-.68	.21	.11	.52	.69	.26	-.03	.43	-.54	.18	-.54
CTD	-.03	-.24	.43	-.13	-.69	.07	-.17	-.01	-.07	.17	.69	.50	-.49	.53	-.82*	.47	-.70
GTD	-.10	-.41	.43	-.22	-.81*	.03	-.26	-.23	-.27	-.06	.64	.33	-.59	.63	-.89*	.53	-.56
COB	.04	-.07	.39	-.02	-.53	.11	-.07	.20	.13	.38	.69	.63	-.17	.41	-.70	.58	-.03
JTP	.21	-.34	.76	-.60	-.67	.60	-.67	.10	.04	.28	.75	.08	-.15	.66	-.48	-.15	-.55
PT	.57	.48	-.31	.51	.70	-.93*	.29	.93*	.84*	.58	-.20	.21	.76	-.65	.59	.23	.67
PTD	1.00	-.45	-.39	.25	.12	-.19	.29	.70	.71	.58	-.33	-.42	-.05	-.48	-.13	-.10	.66
PTP	-.45	1.00	.08	.29	.64	.18	.25	.28	.26	.30	.13	.68	.89*	-.20	.50	.36	.66
Cl2	-.39	.08	1.00	-.47	-.52	.51	-.59	-.18	-.21	-.06	.92*	.34	.04	-.32	-.20	-.29	-.29
Fe	.25	.29	-.47	1.00	.70	-.83*	.99*	.51	.60	.12	-.43	-.02	.27	-.49	.56	-.61	.90*

STAT. BASIS STATS	ANEXO 2. Matriz de correlaciones adimensionales. RES DE BARRA TORRETA Coeficiente de Pearson, * significativo p < .05000 Número de casos = 67									
	Variable	Pref.	SPT	SNTP	SFe	SHn	SCa	SAI		
MST	-.02	-.06	-.07	-.09	.22	.02	.39			
MSI	-.31	.04	-.39	-.30	.12	-.16	.47			
M30	.21	-.10	.21	-.33	.17	.09	.10			
MSI%	-.17	.10	-.48	.35	-.13	-.26	.06			
M30%	.17	-.10	.48	-.35	.13	.26	-.06			
CTD	-.51	-.24	.48	-.34	-.60	-.26	-.44			
G10	-.50	-.43	.78	-.53	-.68	-.48	-.57			
G30	-.48	-.04	.65	-.13	-.59	-.02	-.28			
HTE	.29	-.18	.17	-.44	.29	.08	.03			
PT	.00	.60	.48	.75	.62	.95*	.77			
PTH	-.37	-.30	.10	-.67	.54	.46	.47			
PTP	.40	.97*	.41	.89*	.10	.55	.33			
Clta	.54	.17	.03	-.17	-.00	-.11	-.01			
Fe	-.41	.30	-.06	.63	.15	.24	.53			
Mn	.16	.65	-.03	.86*	.50	.59	.68			
Ca	.57	.22	.45	-.13	.03	.28	-.20			
Al	-.47	.24	-.06	.59	.13	.24	.48			
SRDT	-.13	.44	.48	.60	.59	.88*	.76			
SHI	-.13	.42	.37	.61	.63	.83*	.82*			
SHO	-.09	.43	.79	.45	.38	.88*	.44			
SCLOK	.28	.21	.39	-.12	-.21	-.02	-.15			
PR-RHACI	.00	.64	.82*	.46	-.40	.32	-.16			
PR-BD	.50	.95*	.42	.91*	.50	.85*	.64			
PHR-BD	.31	-.17	-.17	-.47	-.29	-.51	-.31			
PHR-NaOH	.41	.56	-.31	.72	.72	.53	.80			
PHR-NaOH	-.45	.27	.90*	.24	-.55	.25	-.41			
PR-HCI	-.11	.68	.16	.89*	.24	.50	.63			
Pref	1.00	.48	-.24	.21	.52	.24	.31			
SPT	.48	1.00	.42	.91*	.29	.68	.51			
SNTP	-.24	.42	1.00	.34	-.22	.95	-.10			
SFe	.21	.91*	.34	1.00	.34	.71	.63			
SHn	.52	.29	-.22	.34	1.00	.66	.88*			
SCa	.24	.68	.55	.71	.66	1.00	.71			
SAI	.34	.51	-.10	.63	.88*	.71	1.00			

ANEXO 2. Matriz de correlações múltiplas. RES DE FARRA BORITA
Coeficiente de Pearson, * significativo p < .05000
Número de casos = 6.

STAT. BASIC STATS	PTD	PVP	Cl-a	Fe	Mn	Ca	Al	SEDF	SHI	SHD	SHa	PR-HHCl	PR-ED	PR-ED	PR-HaOH	PR-HCl	PR-ED	PR-HaOH	PR-HCl
Mn	.12	.64	-.52	.70	1.00	-.37	.72	.51	.56	.11	-.58	-.02	.73	-.72	-.05	.63	-.05	.63	
Ca	-.19	.18	.51	-.33	-.57	1.00	-.85*	-.08	-.23	.23	.55	.39	.77	-.30	-.31	.53	-.53		
Al	.29	.25	-.59	.99*	.72	-.85*	1.00	.50	.59	.11	-.53	-.07	.24	-.59	.02	.87*	.02		
SEDF	.70	.28	-.18	.51	.51	-.08	.50	1.00	.99*	.89*	-.05	.18	.59	-.49	.41	.19	.60		
SHI	.71	.26	-.21	.60	.56	-.20	.59	.99*	1.00	.89*	-.12	.33	.57	-.50	.49	.68	.66		
SHD	.58	.30	-.06	.12	.24	.33	.17	.88*	.86	1.00	-.17	.44	.57	-.36	.08	.51	.40		
SHa	-.33	.13	.92*	-.43	-.58	.55	-.53	-.05	-.12	.17	1.00	.61	.05	.82*	-.53	.18	-.74		
PR-HHCl	-.42	.68	.34	-.02	-.02	.39	-.07	.18	.10	.44	.61	1.00	.49	-.16	-.76	.38	.78		
PR-ED	-.05	.89*	.04	.27	.73	.27	.24	.59	.57	.15	.65	.49	1.00	-.36	.66	.21	.64		
PR-HaOH	-.48	-.20	.91*	-.49	-.72	.30	-.59	-.49	-.50	-.29	.82*	.16	-.36	1.00	-.54	-.26	-.46		
PR-HCl	.13	.50	-.32	.56	.92*	-.31	.55	.41	.49	.08	-.53	-.36	.66	-.41	1.00	-.41	.68		
PR-HaOH	-.10	.36	-.20	-.01	-.05	.26	.02	.19	.08	.51	.18	.79	.21	-.26	-.41	1.00	.12		
PR-HCl	.06	.66	-.29	.90*	.83*	-.54	.87*	.60	.66	.30	-.24	.28	.64	-.46	.68	.12	1.00		
Pref.	-.37	.40	.54	-.41	.16	.57	-.47	-.13	-.13	-.06	.28	.00	.50	-.31	.41	-.45	-.41		
SPT	-.30	.97*	.17	.30	.65	.22	.24	.44	.42	.43	.21	.64	.96*	-.17	.56	.27	.68		
SPTP	.10	.41	.03	-.06	-.03	.45	-.06	.48	.37	.79	.39	.82*	.42	-.17	.30	.00	.16		
SFe	-.07	.89*	-.17	.63	.86*	-.13	.59	.60	.61	.45	-.12	.46	.91*	-.47	.72	.24	.89*		
SMn	.54	.10	-.00	.15	.50	.08	.13	.59	.63	.36	-.21	-.40	.56	-.29	.72	-.55	.34		
SCa	.46	.55	-.11	.24	.59	.28	.24	.88*	.83*	.88*	-.02	.32	.85*	-.51	.52	.25	.50		
SAI	.47	.33	-.01	.53	.68	-.20	.48	.76	.82*	.44	-.15	-.16	.64	-.41	.80	-.41	.63		

ANEXO 2. Matriz de correlações múltiplas. RES DE FARRA BORITA
Coeficiente de Pearson, * significativo p < .05000
Número de casos = 6.

STAT. BASIC STATS	Pref.	SPT	SPTP	SFe	SMn	SCa	SAI
DS	-.04	.20	.72	.06	-.32	.28	-.46
Variação	-.33	-.07	-.28	.19	.34	.10	.61
Tretença	.45	.26	-.10	.14	-.16	-.10	-.53
pH	.05	-.49	.17	-.64	.20	.08	-.16
Cond.	.04	.24	.79	-.65	-.40	.16	-.38
OD	.37	-.62	-.49	-.80	.15	-.41	-.28
Temp	-.47	.03	.21	.31	.45	.54	.64

