

**"Fluxo do Nitrogênio e seu uso por duas Macrófitas Aquáticas
(*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*), no Reservatório de Salto
Grande (Americana-SP)".**



Alexandre Luccas Bitar

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

ORIENTADOR: Prof. Dr Bohdan Matvienko Sikar

DEDALUS - Acervo - EESC



31100013627

São Carlos

1998

Class.	TESE
Cutt.	0891
Tombo	0183198

✓ 31100013627

18106198

st 0984103

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

B624f Bitar, Alexandre Luccas
Fluxo do nitrogênio e seu uso por duas
macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e
Pistia stratiotes), no reservatório de Salto
Grande (Americana-SP) / Alexandre Luccas Bitar. --
São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar.

1. Nitrogênio. 2. Macrófitas aquáticas.
3. Ciclagem de nutrientes. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Bacharel **ALEXANDRE LUCCAS BITAR**

Dissertação defendida e aprovada em 18.06.1998
pela Comissão Julgadora:

Bohdan Matvienko

Prof. Assoc. **BOHDAN MATVIENKO SIKAR (Orientador)**
(Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo)

[Handwritten signature]

Prof. Doutor **IRINEU BIANCHINI JÚNIOR**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Antonio Fernando Monteiro Camargo

Prof. Doutor **ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO**
(UNESP - Campus de Rio Claro)

Maria do Carmo Calijuri

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

José Carlos A. Cintra

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho aos meus pais, Emília e Ebraim, e à minha avó, Adélia, que sempre me incentivaram constantemente nos estudos e foram pessoas muito importante para esta realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de maneira muito especial a minha tia Carime, que sempre ajudou na minha formação e principalmente por ser uma pessoa maravilhosa e de muita competência e coragem.

Ao Prof. Dr Bohdan Matvienko Sikar, pela orientação, paciência e às suas idéias que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos técnicos do CRHEA, Marcelo de Menezes Nogueira e Valdomiro Antônio Filho que nunca mediram esforços nos trabalhos de campo e laboratório; à Luci Aparecida Queiroz, Amândio de Menezes Nogueira e América, pelas análises de laboratório.

À secretária Claudete Ap. Poianas da Silva e à bibliotecária Regina C. Vidal Medeiros, pela dedicação e disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Aos amigos do laboratório de Limnologia da UFSCar, Prof. Dr Irineu Bianchini Jr., Marcela C. e Romilda M. pela ajuda neste trabalho e amizade.

Ao grande amigo e "irmão" Sérgio Sonoda (cabeção), pela imensa ajuda na realização final deste trabalho e pelas nossas conversas nos bares de São Carlos.

A Rosa Antônia, pela paciência, estímulo, carinho e sobretudo amor, que foi imprescindível durante a finalização deste trabalho.

Aos amigos Alfredo, Guilherme (Mêmo), Alexandre Schiavetti, Maurício, Ricardo (Araraquara), Abílio, Giovanna, André, Ricardo (Piracicaba), Elza, França Leonardo Rios e a todos aqueles que contribuíram para que este trabalho pudesse ser

realizado e para todo o aprendizado que estes anos trouxeram e que, com certeza não será esquecido.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e CNPq pela concessão de bolsa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Processos Básicos na Ciclagem do Nitrogênio.....	4
A) Amonificação.....	4
B) Nitrificação.....	4
C) Desnitrificação.....	5
D) Fixação.....	6
1.2 Balanço do Nitrogênio.....	7
1.3 Importância do Sedimento.....	9
1.4 Dinâmica das Macrófitas Aquáticas.....	10
1.5 Sílica.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
3. JUSTIFICATIVA.....	16
4. LOCAL DE ESTUDO.....	17
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
5.1 Local de Amostragem.....	22

5.2 Procedimento das Coletas.....	22
5.3 Método de Coleta das Macrófitas Aquáticas, Taxas de Crescimento e Taxas de Retiradas do Nitrogênio.....	23
5.4 Nitrogênio.....	24
A) Nitrato.....	24
B) Nitrito.....	24
C) Amônia.....	25
D) Nitrogênio Total (NTK).....	25
5.5 Carbono.....	25
5.6 Sílica.....	25
5.7 Uso do Cromatógrafo Gasoso e a Determinação da Desnitrificação.....	26
5.8 Armadilhas de Sedimentação.....	27
5.9 Balanço do Nitrogênio.....	28
6. Resultados e Discussões.....	30
6.1 Variáveis Físicas e Químicas.....	30
6.1.1 Temperatura.....	30
6.1.2 Oxigênio Dissolvido.....	31
6.1.3 pH.....	42
6.1.4 Condutividade Elétrica.....	52
6.1.5 Nitrato, Nitrito e Amônia.....	62
6.1.6 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) no Sedimento.....	65
6.2 Análise Quantitativa das Macrófitas aquáticas.....	67
6.3 Análise Qualitativa das Macrófitas aquáticas.....	72
6.3.1 Estoque de Nitrogênio Total em <i>Eichhornia crassipes</i>	72
6.3.2 Estoque de Nitrogênio Total em <i>Pistia stratiotes</i>	75
6.4 Determinação da Massa de Sílica e suas Taxas de Sedimentação nas Armadilhas.....	78
6.4.1 Determinação de Sílica no Sedimento.....	80

6.4.2 Cálculo da Taxa de Sedimentação Permanente.....	81
6.5 Balanço Estimado de Nitrogênio para o Reservatório de Salto Grande.....	82
6.5.1 Estimativa de Nitrogênio nos Vários Compartimentos do reservatório.....	82
6.5.2 Dinâmica do Nitrogênio no Metabolismo do Reservatório.....	83
7. CONCLUSÕES.....	90
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localização da área no estado de São Paulo.....	18
FIGURA 2. Reservatório de Salto Grande, Americana - SP e localização dos pontos de coleta.....	19
FIGURA 3. Modelo de "caixa preta" para o reservatório de Salto Grande.....	28
FIGURA 4. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	34
FIGURA 5. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	35
FIGURA 6. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	36
FIGURA 7. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	37
FIGURA 8. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	38
FIGURA 9. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	39
FIGURA 10. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	40
FIGURA 11. Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	41
FIGURA 12. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	44
FIGURA 13. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 2, no	

Reservatório de Salto Grande (SP).....	45
FIGURA 14. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	46
FIGURA 15. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	47
FIGURA 16. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	48
FIGURA 17. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	49
FIGURA 18. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	50
FIGURA 19. Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	51
FIGURA 20. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	54
FIGURA 21. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	55
FIGURA 22. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	56
FIGURA 23. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	57
FIGURA 24. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	58
FIGURA 25. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	59
FIGURA 26. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	60
FIGURA 27. Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP).....	61

FIGURA 28. Variação da biomassa de duas espécies de macrófitas aquáticas (<i>Eichhornia crassipes</i> e <i>Pistia</i>), durante 91 dias no reservatório de Salto Grande..	69
Figura 29- Quantificação da sílica no sedimento (%) nos 4 compartimentos do Reservatório de Salto Grande.....	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Dados hidrológicos (vazão de entrada ($m^3 \text{ mês}^{-1}$), vazão de saída ($m^3 \text{ mês}^{-1}$), média mensal de volume ($\times 10^6 m^3$), tempo de residência (dias) e pluviosidade mensal (mm) no reservatório de Salto Grande no período de 08/96 a 07/97.....	20
TABELA 2- Concentrações de amônia, nitrito e nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$), no Rio Atibaia entrada do Reservatório de Salto Grande.....	64
TABELA 3- Concentrações de amônia, nitrito e nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$), na saída do Reservatório de Salto Grande.....	64
TABELA 4- Concentração de nitrogênio total (%) no sedimento em quatro pontos do Reservatório de Salto Grande.....	65
TABELA 5- Peso úmido (g) de 10 indivíduos da <i>Eichhornia crassipes</i> , no período de 91 dias, no Reservatório de Salto Grande.....	68
TABELA 6- Peso úmido (g) de 10 indivíduos <i>P. stratiotes</i> no período de 91 dias, no Reservatório de Salto Grande.....	68
TABELA 7- Massa média por espécies (g. P.S./indivíduo) da <i>Eichhornia crassipes</i> e <i>Pistia</i> encontradas no Reservatório de Salto Grande.....	69
TABELA 8 - Número de indivíduos das duas espécies de macrófitas por amostragem de $0,25m^2$ (quadrado), no Reservatório de Salto Grande.....	77
TABELA 9- Determinação da massa de SiO_2 nas armadilhas recolhidas em 4 coletas e suas taxas de sedimentação, no Reservatório de Salto Grande, com período de amostragem de 24h.....	79
TABELA 10- Resultado dos valores das taxas de sedimentação da sílica, quantidade de sílica no sedimento e as taxa de sedimentação permanente nos meses de maio a agosto no Reservatório de Salto Grande.....	81
TABELA 11- Desprendimento do nitrogênio gasoso via desnitrificação no Reservatório de Salto Grande.....	85

TABELA 12- Balanço de nitrogênio estimado para o Reservatório de Salto Grande em 4 meses..... 87

RESUMO

No presente trabalho, foi realizado uma série de estudos envolvendo duas espécies de macrófitas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) e a ciclagem de alguns elementos importantes para o reservatório de salto Grande (22°44' Sul e 47°20' Oeste).

Na coleta das amostras de macrófitas para a determinação de nitrogênio e a produção primária de cada espécie foi utilizado o método do quadrado com área conhecida de 0,25 m². Na obtenção das taxas de crescimento foram montados 2 cercados flutuantes no reservatório de 1 m², contendo 10 indivíduos por espécie em cada cercado. O cálculo para a taxa de crescimento por indivíduo foi determinado através de uma curva teórica de crescimento que permitiu a estimativa da taxa de crescimento nos primeiros instantes do experimento.

Para a determinação da ciclagem do nitrogênio (balanço), quantificação da sedimentação permanente e da sílica no sedimento, foram escolhidos 4 pontos ao longo do reservatório, onde também foram analisados a liberação de gases pelo sedimento através de funis de captura de bolhas mensalmente, durante 1 ano e analisados cromatograficamente.

As populações de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* apresentaram uma capacidade de absorção de nitrogênio, respectivamente, 2394 kg N d⁻¹ e 403,2 kg N d⁻¹, e uma produção primária de 18,74 g C m² d⁻¹ e 5,81 g C m² d⁻¹ respectivamente. A taxa de crescimento foi de 30,93 g por dia por indivíduo para *Eichhornia crassipes* e 9,83 g por dia por indivíduo para *Pistia stratiotes*.

Os resultados indicam que a contribuição mais importante de entrada de nitrogênio foi através do rio Atibaia com 266,5.10³ kg N mês⁻¹. No balanço o valor do nitrogênio fixado foi de 123.10³ kg N a⁻¹ ou 22,7 mg N m⁻² d⁻¹, correspondendo a 4% do valor total de nitrogênio que entra pelo sistema através do rio Atibaia. A capacidade do sedimento em absorver nitrogênio foi basicamente uniforme com uma média de concentração de 0,748% e um coeficiente de variabilidade de 15%, justificando a suposição de uniformidade em toda extensão do reservatório. A taxa de formação

1,9
108,2
17,5

permanente de sedimento foi de $22,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, correspondendo a um assoreamento de cerca de 8 mm por ano. Os resultados da sílica no sedimento mostraram que para cada ponto de coleta obteve-se essencialmente um único valor nos diferentes meses de coleta.

Para o reservatório a retirada das macrófitas seria importante para fins estéticos, lazer, navegação, produção de energia e outros. Quanto ao nível de melhoria da qualidade da água através da saída adicional de N_2 da "caixa preta" através da remoção de macrófitas seria menor de 16% da entrada de N_2 no sistema se a colheita fosse feita a uma taxa igual à metade da taxa de crescimento das macrófitas. Mas se almejar retirar a metade desta produção, seria necessário colher um volume diário correspondente à carga de 207 toneladas quantidade admitidamente grande.

ABSTRACT

In this work a study was realized with two species of macrophytes (*Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) and with the cycling of some important elements for the Salto Grande reservoir (22°44' South and 47°20' West).

The concentration of nitrogen and the primary production of each species of macrophytes were determined using a square frame method, with an area of 0,25 m². To obtain the growth rates, two floating enclosures with 1 m² were made in the reservoir. In each enclosure 10 organisms of each specie were put. The growth rates per organism were calculated using a theoretical growth curve, which allowed growth rate estimates at the first instants of a run.

To determine the nitrogen cycling (balance), permanent sedimentation, and the concentration of silica in the sediment, samples were collected at 4 stations along the reservoir, where also gases liberated by the sediment were collected, which was done by a trap, in the shape of a funnel. The samples were collected monthly during 1 year and analyzed in the laboratory, using a chromatograph.

The population of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* showed a absorption capacity of 2394 kg N day⁻¹ and 403,2 kg N day⁻¹, respectively, which corresponds to a primary production of 18,74 g C m⁻² d⁻¹ and 5,81 g C m⁻² d⁻¹, respectively. The growth rate was 30,93 g d⁻¹ org⁻¹ for *Eichhornia crassipes* and 9,83 g d⁻¹ org⁻¹ for *Pistia stratiotes*.

The results showed that the most important input of nitrogen was the Atibaia river with 266,5.10³ kg N month⁻¹. Nitrogen fixation at a rate of 123.10³ kg N year⁻¹ was calculated by difference, which corresponds to 4% of the total nitrogen budget entering the system through the Atibaia river. The sediments nitrogen retention was basically uniform ever the reservoir with a concentration average of 0,748% and a variability coefficient of 15%, confirming uniformity. The sedimentation rate was 22,8 g m⁻² d⁻¹, which corresponds to a hight of 8 mm per year. The results of silica from the sediment for each sampling station showed similar values for different months of sampling.

For the reservoir, harvesting of macrophytes could be considered for reasons of aesthetics, leasure, navigation and others. Also better water quality due to the additional exit of N_2 from the "black box" would be obtained. But withdrawal of macrophytes would produce a decrease of about 16% of the input N_2 to the system if it were done at a rate equal to half the growth rate of the macrophytes. But, if removal of half of that production were desired it would be necessary remove a daily volume of 207 tons, a truly large amount of material.

97
16

113

1. INTRODUÇÃO

A superfície da Terra é coberta por três quartos de água e somente 3% é de água doce. As necessidades de alimento e energia para a população crescente, está exigindo um grande gasto da água cada vez maior, tratando-a, como se fosse um recurso ilimitado e barata (MELETTI, 1997). Muitos corpos de água (rios, reservatórios, represas e outros) vem sendo alterados devido a todo tipo de poluentes (esgoto urbano, efluentes industriais e agrícolas) que são jogados nestes locais, causando efeitos negativos para toda a população.

A sociedade tem se preocupado com a conservação e gerenciamento dos recursos hídricos, pois já estão aparecendo problemas de alterações na qualidade de água, que por sua vez levam a restrições dos usos tais como: recreação e irrigação. O uso racional dos recursos hídricos os preservará para as futuras gerações. Os pesquisadores nesta área (limnólogos, químicos, geólogos, engenheiros sanitaristas e outros), possuem a capacidade de viabilizar a utilização correta e também a recuperação de áreas degradadas através de uma visão holística do meio ambiente. Segundo STRASKRABA (1973), a importância dos reservatórios para a humanidade e a fusão dos aspectos teóricos e práticos durante os estudos é importante. Para um limnólogo teórico o estudo dos ecossistemas de reservatório oferece uma grande variedade de condições, a possibilidade de mudanças diretas e a organização de experimentos naturais. O limnólogo científico é levado a acumular mais e mais dados detalhados, a observar a complexidade qualitativa da estrutura do ecossistema e a particularidade dos exemplos estudados. Um engenheiro ou um limnólogo aplicado é requerido para resolver problemas imediatos, simplificando a expressão quantitativa do comportamento do sistema e descrevendo-o através de uma generalização.

Os reservatórios possuem um estado intermediário entre os funcionamentos verticais dos lagos e horizontais dos rios (MARGALEF, 1983). Os reservatórios possuem os mesmos princípios limnológicos de qualquer ambiente aquático (AGOSTINHO & GOMES, 1997). Com a construção de reservatórios o sistema antigo

(rios) sofre modificações em relação aos seus parâmetros físicos (sedimentação, temperatura), químicos (aporte e retenção de nutrientes, maior produção de gases) e biológicos (modificação nas comunidades aquáticas).

O estudo da dinâmica em ecossistemas muitas vezes engloba a ciclagem de nutrientes e dentro destes nutrientes muitas vezes é ressaltado a importância do nitrogênio, que mesmo em ecossistemas aquáticos ou terrestres pode constituir um fator de limitação da produtividade primária. O ambiente aquático também pode receber grandes quantidades de nitrogênio e fósforo, fazendo com que este ambiente sofra grandes alterações em suas características. Por isso, tem-se observado o grande interesse em aprender e conhecer os fatores que influenciam todo o processo do ciclo do nitrogênio e assim, unir a necessidade do manejo dos recursos com a preservação dos ambientes naturais.

As reservas de nitrogênio em nosso planeta estão divididas em diversos grandes reservatórios, representados por algumas rochas sedimentares, sedimentos marinhos, atmosfera e o reservatório solo-água (biosfera), onde é encontrado normalmente na forma de seus compostos (BURNS & HARDY, 1975). No entanto, basicamente os ecossistemas são abastecidos pelo N_2 contido na atmosfera (STEWART, 1968).

O nitrogênio é um dos elementos majoritários no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa.

As principais fontes naturais de nitrogênio para um lago podem ser: chuva, águas subterrâneas, fluxos hídricos através dos rios material orgânico e inorgânico de origem alóctone e o ar quando intervém na fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago. O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, por exemplo: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (purinas, peptídeos, aminoácidos, etc), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos). Todas estas formas estão envolvidas em processos caracterizados pelo ciclo microbiológico do elemento, representado, basicamente, pela fixação de nitrogênio

atmosférico, amonificação, nitrificação, desnitrificação e imobilização (ESTEVEZ, 1988). Segundo este mesmo autor, outras fontes de nitrogênio podem ser encontradas em ambientes aquáticos, é o caso do nitrogênio orgânico dissolvido que são originados da lise celular (herbivoria e senescência), decomposição e excreção pelo plâncton e macrófitas aquáticas. Todas as mudanças do nitrogênio são resultantes das atividades de microorganismos através dos processos bioquímicos com exceção das entradas e saídas deste elemento através dos fluxos de água.

O íon amônio, NH_4^+ , é uma forma importante para os organismos produtores, especialmente porque sua utilização é energeticamente menos dispendiosa. Não há necessidade de redução no interior da célula, como ocorre com o nitrato, que é reduzido pela nitrato-redutase até amônio; porém quantitativamente inexpressiva para o abastecimento dos organismos. Altas concentrações do íon amônio influenciam fortemente a dinâmica do oxigênio dissolvido, sendo que para a oxidação de 1 mg de íon amônio são necessários 4,6 mg de oxigênio. O íon amônio quando em pH básico se transforma em amônia que pode ser tóxica aos peixes em concentrações acima de 0,25 mg/L. Para que ocorram estes efeitos o potencial de oxirredução deve ser baixo, pH maior do que 9 e a temperatura maior que 26°C todos simultaneamente. A primeira etapa da oxidação da amônia a nitrito é representada pela hidroxilamina (NH_2OH). O nitrito é um dos compostos intermediários no processo de oxidação do nitrogênio a nitrato, representa portanto no balanço geral apenas uma fase intermediária. O nitrato representa o produto da última fase da oxidação do nitrogênio, denominada nitrificação; sendo uma das formas principais como nutriente para as plantas, juntamente com o íon amônio e outros nutrientes elementares como o fósforo e o enxofre.

O enriquecimento excessivo do nitrogênio em ambientes aquáticos pode ter como consequência a eutrofização que provoca aumento na biomassa das plantas, queda na diversidade de espécies, decaimento do oxigênio dissolvido e portanto uma piora da qualidade da água. Este aumento de nitrogênio na água está diretamente relacionada as fontes poluidoras como o despejo de esgoto doméstico e industrial, atividades agrícolas.

1.1 Processos Básicos na Ciclagem do Nitrogênio

O ciclo biogeoquímico do nitrogênio é o que apresenta maior dificuldade para se determinar qualitativamente e quantitativamente suas taxas dos processos e seus fluxos devido a sua grande complexidade pois, existe um complexo de processos bacterianos presentes nas transformações de todos os compostos nitrogenados.

Em todos os ciclos biogeoquímicos nenhum possui maior participação de microorganismos do que no ciclo do nitrogênio, em que é possível encontrar representantes de quase todos os grupos fisiológicos (autótrofos, heterótrofos anaeróbicos, aeróbicos, etc), que participam dos quatro processos (amonificação, nitrificação, desnitrificação e fixação).

A) Amonificação

Amonificação é o processo de formação de amônia (NH_3) durante o processo de decomposição da matéria orgânica dissolvida e particulada. A amônia formada é resultante da decomposição tanto aeróbia como anaeróbia da parte nitrogenada da matéria orgânica por organismos heterotróficos. O sedimento é o principal sítio de realização deste processo.

Em ambientes aquáticos a amonificação e a excreção de amônia por animais aquáticos são as principais fontes deste composto, observa-se porém que a excreção por animais é quantitativamente insignificante, como fonte da amônia para estes ambientes (ESTEVES, 1988).

B) Nitrificação

A formação de compostos nitrogenados reduzidos, como a amônia decorrentes da decomposição aeróbia e anaeróbia, faz com que ocorra a oxidação biológica destes compostos a nitrato denominada nitrificação. Este processo se caracteriza pela utilização de compostos inorgânicos reduzidos, amônio, como doadores de hidrogênio e através da

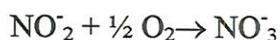
oxidação destes compostos, os microorganismos obtêm os equivalentes de redução para o processo de síntese.

Para a transformação do íon amônio para nitrato participam dois gêneros de bactérias:

Nitrossomas- íon amônio→nitrito



Nitrobacter- nitrito→nitrato



C) Desnitrificação

Algumas bactérias são capazes de utilizar o nitrato como acceptor de hidrogênio quando em condições anaeróbias. Assim estas bactérias utilizam o nitrato como um transportador de oxigênio, reduzindo-o a nitrogênio molecular ou amônia.

A capacidade de algumas bactérias em utilizarem nitrato como acceptor de elétrons na cadeia respiratória, ao invés de oxigênio, é conhecida como respiração de nitrato. Este nome evoca a respiração aeróbia, que utiliza oxigênio como acceptor de elétrons.

A desnitrificação é um fenômeno de grande significado ecológico, pois dele, grande parte do nitrogênio molecular, fixado e incorporado ao “pool” de nitrogênio do ecossistema lacustre, pode ser eliminado do sistema. Em condições de excesso de carga de nitrogênio trazida por afluentes a um lago, a desnitrificação contribui para a despoluição.

A desnitrificação possui uma importância única dentro do ciclo do nitrogênio, devido ao seu poder de prevenir à acumulação de nitrato que não foi assimilado pelas plantas (WHATLEY, 1981). O processo de desnitrificação pode ajudar a regulação da eutrofização em ambientes aquáticos que recebem grandes cargas de nutrientes impondo um limite nutricional contra o excessivo crescimento de algas e portanto regulando a produção primária deste ambiente (WHITAKER, 1993).

Os processos biológicos de fixação e desnitrificação ocorrem de maneira inversa, enquanto a fixação promove uma entrada de nitrogênio para o sistema a partir da forma de N_2 , a desnitrificação age de forma oposta ou seja, aquele nitrogênio que foi fixado é retirado do sistema. Estes dois processos em ambientes aquáticos vem sendo muito estudados e observa-se que a desnitrificação na maioria dos casos é sempre maior que a fixação.

D) Fixação

Segundo (WHITAKER, 1993), uma noção conceitual das formas de entrada do elemento, no papel da fixação de N_2 e do modo como o ecossistema metaboliza o nitrogênio, torna-se essencial para a compreensão dos processos relacionados à auto regulação das concentrações de nitrogênio dissolvido dos ecossistemas aquáticos.

A capacidade de alguns organismos procariontes (bactérias e algas cianofíceas), em transformar o nitrogênio molecular em nitrogênio proteico é denominado fixação, estes organismos em ambientes aquáticos podem viver em simbiose, ou semi-simbiose com as plantas aquáticas ou serem de vida livre. Na fixação do nitrogênio molecular o primeiro produto formado é a amônia, onde este processo é tipicamente redutor. Este processo todo é catalisado por enzimas denominadas nitrogenase e por ser muito sensível ao oxigênio os organismos fixadores aeróbios são providos de mecanismos especiais que protegem o sistema nitrogenase do oxigênio.

A fotossíntese, fermentação e respiração são as fontes necessárias de energia e elétrons para a fixação de nitrogênio. Os organismos fixadores de nitrogênio e fotossintetizantes obtêm elétrons para a fixação a partir da ferredoxina, que faz parte do sistema de transporte de elétrons da fotossíntese. Os organismos não fotossintetizantes utilizam-se de outros mecanismos, onde a energia (ATP), pode originar-se através da respiração e a ferredoxina fornece a hidrogenase.

1.2 Balanço do Nitrogênio

Para realização e balanço de nitrogênio adota-se o ecossistema como um modelo de "caixa preta". Segundo (ODUM, 1988) os ecossistemas são abertos, nos quais ocorrem uma entrada e uma saída necessária e são delimitados por uma linha divisória. No caso de reservatórios os limites seriam as suas margens e a interface ar/água.

Os estudos de balanços realizados para ambientes aquáticos determinando as entradas e saídas em um curto período de tempo são muito incertos. Devido a sua complexidade, seria necessário análises rigorosas de muitos anos para chegar a um balanço pormenorizado do ambiente. Os balanços já existentes apenas realizam inferências aproximadas da realidade do ambiente.

De acordo com o descrito anteriormente o nitrogênio se encontra nos lagos e reservatórios sob formas variadas que são provenientes de afluentes, precipitação na superfície das águas e da própria fixação biológica. As perdas ocorrem através dos efluentes, volatilização na superfície da água, desnitrificação e perdas para os sedimentos. Segundo HUTCHINSON (1975), a maior parte da entrada ocorre pelos afluentes e a maior parte da perda é através do efluente.

Segundo WETZEL (1983), os estudos do ciclo do nitrogênio em sistemas de água doce, incluindo as determinações quantitativas de entrada, dinâmica do metabolismo e saída não se encontram a disposição, devido a sua complexidade e também seria necessário análises rigorosas da dinâmica de todos os componentes feitos durante vários anos.

As entradas e saídas (HENRY, 1990), de natureza meteorológica, geológica e biológica dos elementos nos sistemas aquáticos são: os aportes da matéria orgânica particulada (sementes, galhos e folhas), introduzidas pelo vento, gases dissolvidos na água da chuva e radiação solar. As entradas geológicas, são na realidade as saídas do ecossistema terrestre circundante, ligados pelo escoamento superficial e a infiltração para os lençóis freáticos. Os tipos de solo, vegetação e o clima também afetam nestes processos. E as entradas e saídas biológicas são de difícil quantificação.

A importância do balanço do nitrogênio, apesar da sua complexidade, é de grande utilidade devido as suas informações sobre os excessos de nitrogênio nos ambientes aquáticos e sua interferência em relação aos organismos existentes nestes locais.

Estudos sobre balanço de nitrogênio em reservatórios e lagos ainda são escassos. Em geral as informações existentes dizem respeito aos sedimentos, à desnitrificação ou a outro processo isolado do ciclo do nitrogênio. OLSEN & ANDERSEN (1994), estudando o Lago Kvie, Dinamarca, concluíram que a capacidade de remoção de nitrogênio pela desnitrificação foi de 77% da entrada anual do mesmo no lago.

WHITAKER (1993) estudando a área alagada da Represa do Lobo concluiu que a capacidade de remoção de nitrato pela desnitrificação dependia do ambiente e estava entre 10% e 20% por dia, das concentrações existentes nos sedimentos dos locais estudados.

Portanto, o cálculo do balanço de nitrogênio na represa, pode ser feito a partir da quantificação de entrada e saída, sedimentação e fixação (entrada), desnitrificação, amonificação e difusão para o ar (saída).

Segundo FERESIN (1991), o processo de nitrificação supre parte do nitrato requerido pela comunidade aquática da Lagoa do Infernã, sendo o sedimento o principal fornecedor e estocador do sistema.

GIANOTTI (1994) estudando a desnitrificação em uma lagoa do Rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã), determinou que a perda de nitrogênio pela desnitrificação foi de 0,41% e a fixação contribui com uma entrada de 2% do total de nitrogênio na lagoa e que as taxas de desnitrificação são mais elevadas na época de chuva devido, talvez, a entrada de nutrientes e de materiais orgânicos de origem alóctone.

Os produtores primários podem assimilar além das formas inorgânicas de nitrogênio, formas orgânicas como: uréia, aminoácidos, etc. Estes compostos, juntamente com outros (muitos deles quimicamente ainda não identificados), formam um grupo de compostos denominado de nitrogênio orgânico dissolvido. As suas principais fontes são:

lise celular, decomposição e excreção pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas (ESTEVES, 1988).

1.3 Importância do Sedimento

A importância do estudo do sedimento através de várias abordagens (paleolimnologia, química no sedimento), permite que se entenda a origem geológica do ambiente, os efeitos causados pelo homem e seus impactos. Através do sedimento também pode-se conhecer e caracterizar um dos principais problemas ambientais causado pelo homem que é a eutrofização (COUTINHO & BARBOSA, 1986). O conhecimento do sedimento neste processo é muito importante para o controle da qualidade da água e recuperação do ambiente.

Nos ecossistemas aquáticos o sedimento é o compartimento que apresenta maior concentração de nutrientes, funcionando como reservatório de nutrientes para os demais compartimentos. A dinâmica dos nutrientes no sedimento ocorre devido à fatores biológicos, físicos e químicos. Estes fatores também favorecem a precipitação de íons, dentre estes, muitos nutrientes, a sua liberação da matéria particulada para água intersticial e desta, para a coluna d'água. A liberação de nutrientes do sedimento para a coluna d'água ocorre quando a parte inferior desta encontra-se com baixas concentrações de oxigênio, ou mesmo anaeróbia. Estas baixas concentrações são facilmente observadas em situações de altas taxas de carga orgânica quando, principalmente no sedimento, ocorre intensa atividade biológica, como a decomposição microbiológica e a respiração de organismos bentônicos.

De grande importância para a reciclagem de nutrientes em ambientes aquáticos são as distribuições de gases contidos na água do sedimento como, nitrogênio, metano e hidrogênio, onde sua produção depende da profundidade do local. O papel dos gases é importante, pois formam bolhas que são liberadas do sedimento perturbando as camadas sedimentares e promovendo a liberação de quantidades consideráveis de nutriente, que pode alcançar a zona eufótica, onde são utilizadas pelo fitoplâncton (OHLE, 1978).

O sedimento também vem sendo considerado um compartimento potencialmente importante na ocorrência nos processos do ciclo do nitrogênio, possuindo um efeito marcante na biota de um lago, particularmente, na demanda de O_2 através da nitrificação e na perda de nitrogênio orgânico via desnitrificação (ASHTON,1985).

Em ambientes aquáticos o sedimento apresenta-se como o local ideal para a desnitrificação, pois é nele onde ocorre a deposição de matéria orgânica proveniente da água, que com o tempo sofre um processo de decomposição realizado por microorganismos, onde ocorre a liberação da NH_4 que por sua vez fica disponível para os processos de nitrificação e depois para a desnitrificação.

SEITZINGER (1988), observou nos sistemas de água doce com condições aeróbias no fundo, cerca de 80% a 100% da NH_4 produzida no sedimento é nitrificado e logo a seguir sofre a desnitrificação.

Os nutrientes nos sedimentos de um reservatório e a variação sazonal dos mesmos foram estudados por TRINDADE (1980), que além de acompanhar a flutuação dos teores de nitrito e nitrato ao longo do ano demonstrou diferenças entre os processos que ocorrem nas regiões cobertas de macrófitas (que caracterizam o compartimento mais rico do sistema) e aqueles que ocorrem na região pelágica.

1.4 Dinâmica das Macrófitas Aquáticas

Os ambientes aquáticos na sua maioria, possuem condições ideais para o desenvolvimento das macrófitas aquáticas, que possuem uma participação no funcionamento do ecossistema. Os primeiros estudos só foram possíveis através da implementação do Programa Biológico Internacional, no qual se iniciou os trabalhos em relação ao papel das macrófitas na dinâmica dos sistemas aquáticos.

Nos primeiros trabalhos sobre as macrófitas aquáticas, a composição química e suas utilidades foram as mais estudadas. Os estudos da composição química destas plantas têm aumentado pois, seu papel na ciclagem dos nutrientes é importante. Muitos estudos atualmente demonstram a relação de absorção de compostos químicos na

biomassa das macrófitas, a relação das concentrações de nutrientes do meio aquático com sua biomassa, sua excreção e decomposição (HOWARD-WILLIAMS & JUNK, 1977; ESTEVES, 1986; NOGUEIRA, 1989; BITAR & BIANCHINI, 1994; LEMOS, 1995; PETRACCO, 1995).

A descrição das comunidades de macrófitas quanto a sua terminologia e sua definição de quais devem ser consideradas aquática, é motivo de muitas controvérsias (PETRACCO, 1995). Devido a sua plasticidade fenotípica, as macrófitas são normalmente classificadas quanto a sua forma de adaptação ao meio aquático, sendo:

- Macrófitas emersas: encontram-se enraizadas no solo com suas folhas ficando fora da água (*Typha*).
- Macrófitas com folhas flutuantes: enraizadas no solo com folhas flutuando na superfície (*Nymphaea*)
- Macrófitas submersas fixas: encontram-se fixadas no sedimento através de suas raízes, permanecendo totalmente submersa na água (*Elodea*).
- Macrófitas submersas livres: são plantas flutuantes submersas na água com raízes pouco desenvolvidas (*Utricularia*).
- Macrófitas flutuantes: são encontradas em locais de pouco vento flutuando na superfície (*Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*)

As macrófitas aquáticas possuem uma grande capacidade produzir elevadas quantidades de materiais particulados para o sistemas devido a sua senescência e morte. Contribuindo assim, para a ciclagem de nutrientes, retirando estes elementos da água ou do sedimento através das raízes e devolvendo-os para o ambiente através da excreção e decomposição.

Muitos estudos demonstram a importância destas plantas para o metabolismo dos ambientes aquáticos que possuem capacidade de armazenar e ciclar nutrientes (DAVIS & VAN DER VALK, 1983; ESTEVES, 1986; NOGUEIRA, 1989; e outros). Devido a eficiência das plantas aquáticas em estocar nutrientes, os reservatórios em que a eutrofização se encontra acelerada, a retirada destas macrófitas vem sendo necessária

para que assim, ocorra uma diminuição nos nutrientes encontrados na água, causados pela decomposição ou excreção destas.

Existem ocorrências de espécies do fitoplâncton e também outros microorganismos associados às macrófitas aquáticas devido aos compostos excretados. Já foi encontrada grande densidade de bacterioplâncton em local próximo às macrófitas e foi atribuído a fatores decorrentes do metabolismo dessas plantas. Estes organismos fitoplanctônicos são outra via de fornecimento de material particulado para o sistema aquático.

As algas por apresentarem grandes quantidades de estruturas lábeis sofrem uma rápida decomposição e portanto liberam substâncias solúveis para a coluna de água contribuindo assim também para o "pool" de matéria dissolvida neste ambiente (LEMOS, 1995).

Durante a decomposição das plantas, a liberação rápida de minerais e compostos orgânicos é seguida por uma fase de processos biológicos. As macrófitas aquáticas são grandes fornecedoras de material dissolvido orgânico e inorgânico, constituem-se, ainda fontes de detritos refratários e lábeis. Na mineralização destas frações há, usualmente, a liberação de nitrogênio e fósforo. O material liberado na decomposição destas plantas é considerado como matéria prima para a formação de grandes quantidades de húmus, o que evidencia a condição orgânica e redutora do solo local. A provável influência desse fato seria sobre o pH das águas rasas marginais que se apresentam levemente ácidas.

No ambiente aquático, a deficiência de nitrogênio é evidenciada, geralmente pela existência de uma baixa diversidade fitoplanctônica. No caso das macrófitas aquáticas, especialmente as espécies enraizadas, o estabelecimento das comunidades parece não depender de altas concentrações tanto de nitrogênio como de fósforo, mas de outros fatores ambientais como intensidade luminosa e transparência da água. O nitrogênio presente na água não atua como fator limitante para as macrófitas aquáticas, pois dispõem de outras fontes de compostos nitrogenados, além da água. Absorção de compostos a partir do sedimento ocorre na rizosfera, onde se encontra o local de maior fixação de N_2 (SANTOS, 1981).

1.5 Sílica

A sílica dissolvida ocorre moderadamente em água doce em níveis cerca de 1mg/L, ela é assimilada pelas diatomáceas em seu crescimento. Elas estão presentes em grandes quantidades em muitos lagos e por isso há sedimentação de sílica proveniente de suas carapaças. A variação da sílica dissolvida pode influenciar na produtividade e sucessões das populações de algas.

A solubilização de minerais de silício ocorre moderadamente com pH em torno de 7 a 9 e o aumento desta solubilização ocorre em valores alcalinos acima de pH 9,0. Os carbonatos da água ao serem gastos na fotossíntese deixam seus cátions Ca, Mg, Na, K que reagem com o material silicato formando assim, sílica dissolvida. Nos trópicos parte dos cations são sequestrados pelos ácidos húmicos e fúlvicos presentes na água, mantendo o pH abaixo de 7. A utilização da sílica dissolvida na zona trofогênica dos lagos pelas diatomáceas muitas vezes reduzem as concentrações do epilímnio e contribuem para as sucessões sazonais das diatomáceas e outras espécies de algas (WETZEL & LIKENS, 1991).

No meio aquático, a sílica, sob a forma solúvel, é um composto de fundamental importância, pois é utilizada pelas diatomáceas na elaboração de sua carapaça. Alguns estudos sobre a dinâmica de sílica em lagos alemães, mostraram que durante a primavera (período de desenvolvimento das diatomáceas), 90% do estoque de sílica (insolúvel) dos lagos são incorporados ao sedimento (camadas anóxicas e pH baixo), sob a forma de carapaça..

Para a determinação da idade de camadas no sedimento é importante verificar a velocidade de sedimentação da sílica pelas diatomáceas e estabelecer a quantidade de sílica depositada anualmente por metro quadrado. O sedimento é um compartimento, onde são feitos depósitos de compostos e estruturas animais e vegetais, que ao longo da evolução de um sistema aquático, formam camadas no sedimento, contendo compostos químicos e estruturas biológicas que representam as diferentes fases deste processo.

Na realização destas análises é importante que as amostras de sedimento sejam tomadas sob a forma de testemunhos cilíndricos com posterior seccionamento para estabelecer seus perfis. Este método permite coletar amostras sem perturbar suas características podendo assim identificar as diferentes camadas do material sedimentado através da presença de sílica (carapaças de diatomáceas sedimentada).

2. OBJETIVOS

Se vê do exposto anteriormente, que a ciclagem de nutriente em ambientes aquáticos é um fator que explica o funcionamento e a importância destes ecossistemas. Desta forma, neste trabalho foi realizado uma série de estudos envolvendo a ciclagem de alguns compostos nitrogenados importantes para o reservatório de Salto Grande.

Estes estudos envolveram:

- a) balanço do nitrogênio.
- b) taxas de crescimento e produção primária das macrófitas aquáticas.
- c) determinação da razão Si/N no sedimento.
- d) estimativa da taxa de sedimentação de nitrogênio e sílica.

3. JUSTIFICATIVA

A vantagem de estudar uma represa é que nela existe uma heterogeneidade orientada, organizada pelo seu fluxo principal (MARGALEF, 1975), determinando um gradiente quando ocorre a entrada de poluentes, como no caso de Salto Grande. Uma análise observando diversos pontos escolhidos neste gradiente facilitaria o entendimento, como por exemplo, o poder de autodepuração do reservatório.

O processo de eutrofização no reservatório de Salto Grande vem crescendo devido aos despejos industriais, agrícolas e lançamentos de esgotos sanitários no rio Atibaia. Estes despejos estão prejudicando o reservatório, pois não sofrem tratamento antes de serem eliminados para o rio, fazendo com que ocorra um aumento de nutrientes, acelerando o processo de eutrofização. A atividade antrópica na bacia do rio Atibaia é muito intensa e alguns estudos já realizados demonstraram que a água encontra-se fora dos padrões para o consumo.

4. LOCAL DE ESTUDO

O local em estudo é o Reservatório de Salto Grande, situado na região centro-oeste do estado de São Paulo, no município Americana. O reservatório se localiza entre as coordenadas 22° 44' de latitude Sul e 47° 20' de longitude Oeste, apresentando uma altitude de 530 metros (Figura 1). É represa do rio Atibaia, principal formador do reservatório. A jusante da barragem, o rio Atibaia continua poucas centenas de metros e conflui com o Jaguari, formando o rio Piracicaba. A bacia hidrográfica abrange uma área total de 2724 km², o comprimento da represa é de 14 km, área alagada de 13 km², volume total de 106.000.000 m³, profundidade média de 8 metros e máxima de 19 metros (Figura 2). A potência elétrica instalada é de 30 MW (10 MW por unidade geradora), com uma vazão mínima de 20 metros cúbicos por segundo.

Na Tabela 1 estão os dados hidrológicos do reservatório de Salto Grande no período de coleta de agosto de 1996, à julho de 1997.

Os estudos limnológicos no reservatório de Salto Grande tiveram início em 1969 através do departamento de Zoologia do Instituto de Biociências da USP, liderado na época pelo Dr. Cláudio G. Froehlich em convênio com a CETESB.

A região represada é altamente industrializada, principalmente no trecho do rio Atibaia; ocorrendo assim uma grande atividade antrópica sobre este ecossistema. A represa recebe o efluente urbano não tratado da cidade de Campinas, Paulínia, Atibaia e outros, correspondendo a cerca de 1 milhão de habitantes. A agricultura é praticada em alta intensidade e se localiza na sua maior parte a direita do reservatório. Com todo este desenvolvimento, surgiram em seu entorno da margem esquerda casas, clubes, praias e lanchonetes fazendo com que acarretassem outros problemas, além daqueles causados pelas indústrias e pelas atividades agrícolas, como: lançamento de esgotos sanitários, despejos de rejeitos plásticos, latas e vidros, aumentando assim o processo de eutrofização e resíduos sólidos da represa.

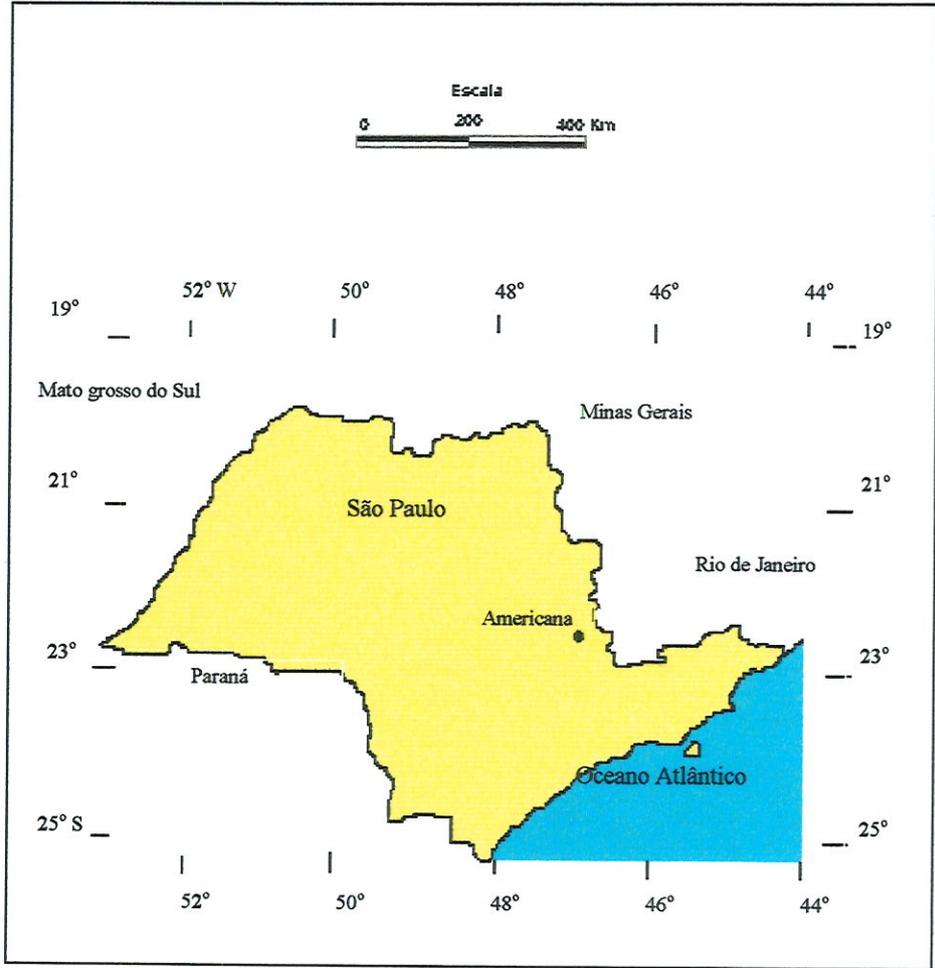


FIGURA 1. Localização da área no estado de São Paulo

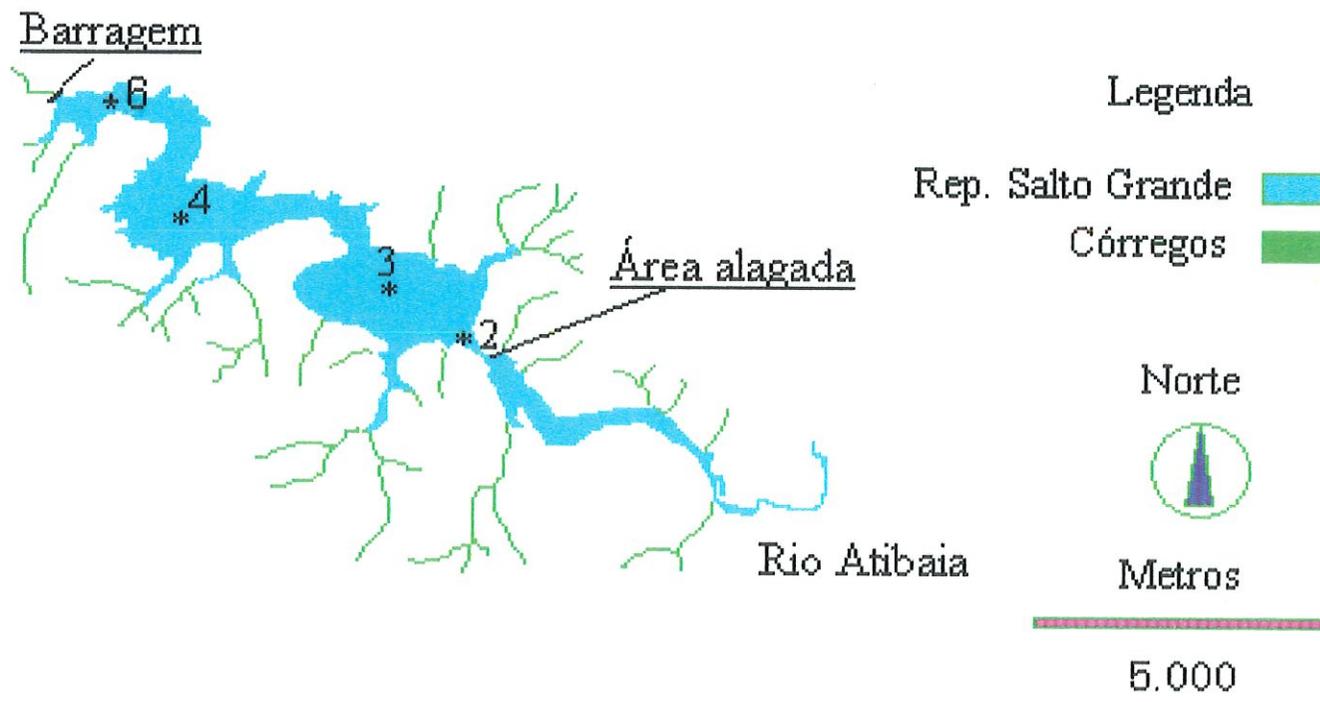


FIGURA 2 - Reservatório de Salto Grande, Americana - SP e localização dos pontos de coletas

TABELA 1 Dados hidrológicos (vazão de entrada ($\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$), vazão de saída ($\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$), média mensal de volume ($\times 10^6 \text{m}^3$), tempo de residência (dias) e pluviosidade mensal (mm) no reservatório de Salto Grande no período de 08/96 a 07/97.

Mês	vazão de entrada no mês (m^3)	vazão de saída no mês (m^3)	média mensal de volume ($\times 10^6 \text{m}^3$)	vazão média mensal ($\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$)	tempo de residência (dias)	pluviosidade de (mm)
08/96	36 919 548	35 346 528	96,7543	1 178 217	82,12	32,90
09/96	89 484 984	92 496 960	94,6736	3 083 232	30,72	140,40
10/96	88 042 392	83 444 724	95,8973	2 691 765	35,63	174,90
11/96	84 125 088	86 081 688	96,7003	2 869 386	33,70	221,80
12/96	113 850 396	112 138 884	97,8185	3 617 383	27,04	194,40
01/97	195 096 384	187 759 332	97,9077	6 056 752	16,17	367,10
02/97	184 692 348	196 165 548	97,5944	7 005 912	13,93	143,10
03/97	77 553 576	77 923 512	94,5121	2 513 661	37,60	20,90
04/97	50 122 188	44 864 640	97,7996	1 495 488	65,40	42,30
05/97	46 427 688	44 817 120	100,6686	1 445 713	69,63	60,60
06/97	86 974 452	85 831 092	102,4988	2 861 036	35,83	128,10
07/97	36 295 776	36 794 736	102,5175	1 186 926	86,37	21,10
média	90 798 735	90 305 397	97,9452	3 000 456	44,51	144,80
total anual						1 737,50

Fonte: Dados coletados por Leonardo Rios, Maurício Leite, Alexandre L. Bitar e outros. Dentro de um acordo mútuo para o uso por qualquer membro deste grupo.

O clima da bacia sofre influências das massas de ar tropical atlântica, tropical continental e polar atlântico, onde suas intensidades variam com as estações do ano. A fisiografia desta região está ligada a dinâmica da atmosfera envolvendo assim estas massas de ar, que controlam as mudanças climáticas.

A temperatura média anual varia de 18°C , no trecho superior da bacia, a 20°C , no trecho inferior. As precipitações são maiores nos meses de novembro, dezembro, janeiro



e fevereiro coincidindo com o período mais quente, os meses de junho, julho e agosto são os períodos mais secos e frios. O reservatório de Salto Grande apresenta um acúmulo de chuva de 1737,5 mm/ano (Tabela 1).

Na região próxima a barragem, bem como na região dos alagados (Figura 2) são encontrados extensos bancos de macrófitas aquáticas flutuantes, constituídos principalmente por *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, estes vegetais são frequentes nesta região, devido talvez, ao processo de eutrofização que neste reservatório é muito alto devido as atividades antrópicas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Local de Amostragem

Para determinação da ciclagem de nitrogênio na água e a quantificação da sílica no sedimento do Reservatório de Americana, foram determinados 4 pontos de amostragem (Figura 2). Este trabalho por ser parte de um projeto maior chamado “Projeto Integrado” em que existem vários outros locais de amostragem, os pontos de coletas indicados a seguir, serão os mesmos para todos os trabalhos que estão sendo realizados no reservatório, fazendo com que ocorra uma uniformidade nos pontos de coletas para todos os trabalhos.

O primeiro ponto se localiza no rio Atibaia (ponto 2) que é afluente do reservatório é uma região onde ocorre a entrada do rio no reservatório já mostrando o efeito do represamento e onde possui uma maior concentração de esgoto, o segundo (ponto 3) e o terceiro (ponto 4) se localizam nos dois maiores compartimentos do reservatório, o quarto (ponto 6) é uma região próxima a barragem e que possui uma maior quantidade de macrófitas que variam com a estação do ano aumentando ou diminuindo a concentração destes vegetais neste ponto.

5.2 Procedimento das Coletas

Em cada ponto da coleta a cada dia de amostragem foram feitas, medidas de oxigênio dissolvido, temperatura, turbidez e pH através do método potenciométrico. A seguir foram coletadas amostras de água para determinar a quantidade de nitrogênio dissolvido. Foram colocadas armadilhas para quantificar a taxa de sedimentação de nitrogênio e sílica segundo HORN & HORN, (1990). Nestes pontos também foram analisados a liberação de gases pelo sedimento através de funis de captura de bolhas mergulhados na água e deixados durante 24h, nas extremidades destes funis foram adaptadas garrafas para a coleta dos gases (oxigênio, nitrogênio, metano e gás

carbônico), que posteriormente foram analisados em laboratório através de cromatografia.

O sedimento também foi coletado através de "cores", onde foi analisado e quantificado a presença de sílica, nitrogênio total (método Kjeldahl).

5.3 Método de Coleta das Macrófitas Aquáticas, Taxas de Crescimento e Taxas de Retiradas do Nitrogênio

Para a coleta das amostras, utilizou-se como amostrador um quadrado de madeira de 0,25 m² para a *E. crassipes* e a *P. stratiotes*. A coleta foi feita na região próxima a barragem, sendo realizadas 5 amostras (quadrados A, B, C, D, E), de modo aleatório, portanto em cada quadrado eram recolhidas as duas espécies e quantificado o número de indivíduos das duas espécies por amostragem. As amostras foram então acondicionadas em sacos plásticos não sofrendo lavagem.

Recolhidas em laboratório, as plantas foram colocadas para secar ao sol inicialmente sem sofrer lavagem e a seguir levadas para a estufa em temperatura máxima de 60°C, até atingir peso constante. Após a retirada do material da estufa, foram pesadas todas as amostras, sendo que cada espécie de cada amostra foi pesada, determinando assim o peso seco. A seguir, calculou-se para cada quadrado (amostra) a massa média de cada espécie, dividindo o peso seco obtido pelo número de indivíduos de cada espécie.

As plantas após as pesagens foram trituradas em um moinho para a determinação do nitrogênio total (NTK) que participa do método de cálculo da taxa de retirada de nitrogênio de cada espécie de macrófita, que será explicado nos resultados através de exemplo numérico.

Para a obtenção da taxa de crescimento de cada espécie de macrófita aquática foram montados 2 cercados flutuantes no próprio reservatório de 1 m² cada, contendo 10 indivíduos por espécie em cada cercado. Os indivíduos escolhidos para este trabalho foram todos jovens sem apresentarem indícios de senescência, a partir desta escolha eles foram identificados separadamente com chapas de alumínio marcadas com letras. Todos

os indivíduos antes de serem pesados eram retirados da água e colocados para escorrer ao ar livre para retirar o excesso de água existente nas raízes, onde este tempo de retirada foi padronizado para 40 minutos. O experimento teve uma duração de 91 dias que a partir do dia "zero" e a cada 30 dias aproximadamente todos os indivíduos eram pesados no próprio local obtendo-se assim o peso úmido (g).

O cálculo para a taxa de crescimento por indivíduo para cada espécie será dado nos resultados sob forma de exemplo numérico de forma comentada, bem como a sua taxa de retirada de nitrogênio já descrito anteriormente.

5.4 Nitrogênio

A) Nitrato

Para a análise de nitrogênio na forma de nitrato NO_3^- foi utilizado o método descrito por MACKERETH et alii (1978). O princípio se constitui na redução do nitrato para a forma da nitrito NO_2^- através do cádmio amalgamado. O nitrito assim produzido diazota a sulfanilamida que se acopla à n-1-naftil etilenodiamina, formando um composto nitrogenado altamente colorido e muito estável, que logo a seguir é quantificado em espectrofotômetro a 543nm em uma cubeta de 1cm.

B) Nitrito

Este método coincide com parte do procedimento da análise do nitrato, baseia-se na reação do nitrito em meio ácido com sulfanilamida e bicloridrato de n-1-naftil etilenodiamina, formando um composto colorido róseo, o qual é determinado através da espectrofotometria a 543nm (GOLTERMAN, 1978).

C) Amônia

Para a determinação da amônia o princípio é a de que em solução moderadamente alcalina (pH entre 8,0 a 11,5) o radical amônia reage com hipoclorito, formando monocloramina. O produto formado, em presença de fenol e um excesso de hipoclorito catalizado por íons nitroprussiato, forma o azul de indofenol, o qual obedece a lei de Beer em concentrações inferiores a 500 μ g de N-NH₃/L (KOROLEFF, 1976).

D) Nitrogênio Total (NTK)

Para a análise do nitrogênio total utilizou-se o método Kjeldahl, que se baseia na concentração da amostra em base seca através da evaporação, digestão do resíduo com solução ácida, e destilação da amostra, onde todo o nitrogênio amoniacal derivado da digestão é recolhido pelo ácido bórico. Todo o destilado sofre uma titulação com ácido sulfúrico e o volume gasto nesta titulação é utilizado para a determinação da concentração.

5.5 Carbono

O carbono no sedimento foi quantificado através da análise de combustão, em que uma amostra do sedimento é previamente pesado e levada para uma mufla a 650° para a queima do carbono. Logo a seguir a amostra foi pesada novamente e assim, determinado a quantidade de matéria orgânica através da diferença de peso.

5.6 Sílica

A sílica é constituída em parte pela sílica “reativa” que é a forma assimilável pelos organismos. O nome sílica “reativa” originou-se do fato de que a sílica solúvel

(SiO_4), reage com o molibdato de amônia em meio ácido e é mais facilmente analisável (ESTEVEES, 1988).

Para a determinação da sílica “reativa” testou-se inicialmente o método proposto por GOLTERMAN (1978), que é baseado na formação de ácido sílico molibdico (coloração amarela), pela adição de molibdato de sódio em meio ácido. Para baixas concentrações este composto pode ser posteriormente reduzido do azul heteropolar de molibidênio pelo cloreto estanoso tornando o método muito mais sensível.

Devido a algumas dificuldades encontradas no método anterior, a metodologia utilizada foi a de JACKSON, (1958), que se baseia na volatilização da sílica pelo ácido fluorídrico e determinação gravimétrica da perda de massa da amostra.

Após o término dos processos biológicos, foi quantificado o nitrogênio que fica no sedimento permanentemente estabelecendo uma razão N/Si de acordo com sua profundidade, pois na ausência de alterações históricas no regime de funcionamento, a partir de uma certa profundidade esta razão se torna estável, por isso com os valores da razão N/Si e da sílica permanente no sedimento será possível determinar a taxa de fossilização do nitrogênio anual.

5.7 Uso do Cromatógrafo Gasoso e a Determinação da Desnitificação

A cromatografia gasosa tem como papel principal a determinação das substâncias contidas em uma certa amostra de gás. A amostra é injetada na coluna estacionária do cromatógrafo e a separação das várias substâncias existentes nesta amostra está ligada a fatores internos do aparelho que são: velocidade do gás de arraste, tipo da fase estacionária e temperatura na coluna.

Cada substância contida na amostra possui diferente afinidade à fase estacionária e avança com velocidade diferente. Assim chega à saída em tempo diferente das demais. Na saída da coluna existe um detector capaz de determinar presença de substâncias diferentes do gás de arraste.

O gás de arraste, considerado a fase móvel neste mecanismo, possui 2 propriedades, primeiro, não reagir com as substâncias da amostra, segundo, não reagir com a coluna. Os tipos de gases mais utilizados para este processo podem ser hélio, hidrogênio argônio e nitrogênio.

Os tipos de detectores mais usados para a determinação da desnitrificação são os de captura de elétrons e de condutividade térmica a diferença entre eles está no tipo de sensibilidade (KNOWLES, 1982). O detector que apresenta maior sensibilidade é o de captura de elétrons. Outro detector importante nestes estudos é o de ionização de chama, altamente sensível ao metano e outros hidrocarbonetos. Neste trabalho utilizou-se o detector de condutividade térmica e o hidrogênio como gás de arraste.

5.8 Armadilhas de Sedimentação

Para determinar o material particulado no reservatório de Salto Grande, foram montados tubos de PVC com volume de 2 litros, diâmetro de 0,1 metro e área de $0,00785 \text{ m}^2$, que foram colocados na água durante 24h, em uma profundidade de 70% abaixo da superfície em cada ponto de coleta, sendo utilizados portanto, quatro armadilhas.

Os tubos antes de serem mergulhados na coluna d'água foram preenchidos com água destilada para evitar a deposição de material antes do início do experimento. As armadilhas após preparadas foram colocadas na profundidade determinada, onde estarão amarradas a uma bóia e ancorada no ponto de coleta.

Após o término do período de observação (24h) as armadilhas foram recolhidas e o seu conteúdo (material em suspensão) quantificado e analisado em laboratório (sílica e taxa de sedimentação).

5.9 Balanço do Nitrogênio

Neste estudo de balanço, o reservatório é tratado como "caixa preta" e somente as entradas e saídas dele são levadas em conta e a soma das entradas deve igualar à soma das saídas $X_1 + X_5 = X_2 + X_3 + X_4$. Sendo as entradas via, rio Atibaia (X_1) e fixação do N_2 (X_5), saídas via, efluente (X_3), sedimentação (X_2) e desnitrificação (X_4), (Figura 3).

No presente trabalho a taxa de fixação foi determinada de maneira indireta, ou seja, o processo de fixação dos microorganismos será calculado através das diferenças, sendo portanto, um valor aproximado.

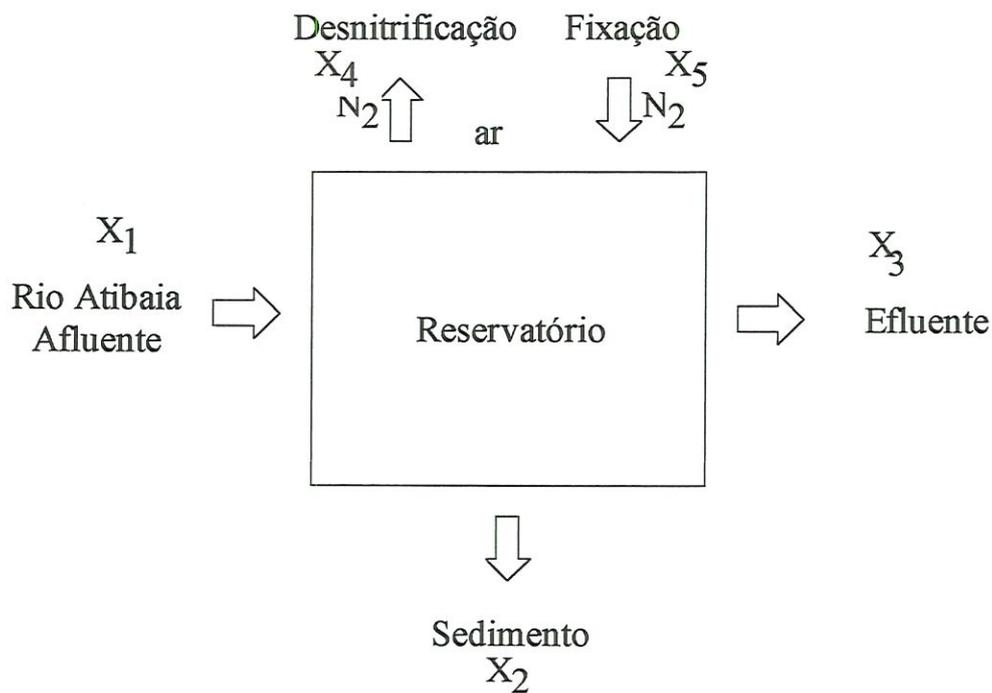


FIGURA 3- Modelo de "caixa preta" para o reservatório de Salto Grande.

Listas das parcelas de entrada e saída da "caixa preta".

- Entrada pelo rio Atibaia (afluente), parcela X_1 , é determinada através do nitrogênio dissolvido na água (nitrato, nitrito e amônia).
- Fixação, parcela X_5 . A determinação desta parcela faz parte dos objetivos do trabalho. Não será medida diretamente e sim calculada por diferença.
- Saída para o sedimento, parcela X_2 , é determinada através do nitrogênio orgânico sedimentado (análise Kjeldahl).
- Saída para o ar, parcela X_4 , determinada pela desnitrificação, através da coleta de gases (funis de captura de gases) e análise cromatográfica de N_2 .
- Saída pelo rio Atibaia (efluente), parcela X_3 , determinada através do nitrogênio dissolvido na água (nitrato, nitrito e amônia).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Variáveis Físicas e Químicas

6.1.1 Temperatura

Os perfis de temperatura são apresentados nas Figuras 4 e 5 (estação de coleta 2), Figuras 6 e 7 (estação de coleta 3), Figuras 8 e 9 (estação de coleta 4), Figuras 10 e 11 (estação de coleta 6). Que correspondem aos perfis térmicos no período de coletas realizadas de agosto de 1996, à julho de 1997.

Nas Figuras 4 e 5 estão representados os perfis térmicos da estação 2, que apresentaram uma baixa estratificação com uma variação térmica entre a superfície e o fundo de $0,2^{\circ}\text{C}$, região esta, que apresentou a menor variação térmica em uma profundidade máxima de 4 metros. Os períodos de maior temperatura ocorreram nos meses de verão, entre dezembro e março com uma temperatura em torno de $24,4^{\circ}\text{C}$. A ausência de estratificação térmica neste ponto é devida as características morfológicas da represa, por ser estreita e longa possui a semelhança dos rios, tendência a fluxo turbulento.

Os perfis térmicos da estação 3 (Figuras 6 e 7) apresentaram uma maior estratificação térmica nos meses de agosto, junho e julho com uma variação térmica entre a superfície e o fundo de $1,5^{\circ}\text{C}$, $1,8^{\circ}\text{C}$ e $1,8^{\circ}\text{C}$ respectivamente, período este que coincide com o inverno. Nos meses entre dezembro a março foram encontrados os maiores valores de temperatura com a superfície apresentando uma média de $25,3^{\circ}\text{C}$ e o fundo em torno de $24,6^{\circ}\text{C}$ em uma profundidade máxima de 12 metros.

Os padrões de oscilação térmica na estação 4 representados pelas Figuras 8 e 9, foram semelhantes a estação 3, apresentando uma estratificação mais nítida no período de inverno nos meses de agosto, junho e julho com uma variação térmica entre a superfície e o fundo de $1,9^{\circ}\text{C}$, $1,8^{\circ}\text{C}$ e $1,5^{\circ}\text{C}$ respectivamente. As maiores temperaturas encontradas entre a superfície e o fundo foram na época do verão entre dezembro a

março, onde a temperatura da superfície variou em torno de 26,5°C e o fundo em torno de 25,4°C. A profundidade máxima encontrada foi de 11 metros, semelhante a profundidade máxima da estação 3.

A estação 6, Figuras 10 e 11, apresentou uma estratificação menor que as outras estações, mas seguiu o mesmo padrão das estações na sua variação entre a superfície e o fundo durante o período de 12 meses. Durante os meses de agosto, junho, julho foram encontradas as maiores variações térmicas entre superfície e fundo com 2,6°C, 1,4°C e 1°C respectivamente, com o verão apresentando os maiores valores de temperatura em todo o perfil dos meses de dezembro a março com uma média de 26,5°C na superfície e 25,5°C no fundo. A profundidade máxima neste ponto foi de 14 metros.

6.1.2- Oxigênio Dissolvido

Os perfis de oxigênio dissolvido são apresentados através das Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 cada qual correspondente as estações identificadas de amostragem no item anterior (temperatura).

Na estação 2 (Figuras 4 e 5) o oxigênio dissolvido durante o período do verão apresentou as maiores concentrações entre os meses de janeiro a março com máximo de 5,18mg L⁻¹, e os menores valores de oxigênio se encontram no período de agosto, maio e julho, sendo o mínimo na superfície de 0,62mg L⁻¹ e no fundo 0,16mg L⁻¹. As variações de oxigênio entre a superfície e fundo durante os meses foram muito pequenas.

Na estação 3 (Figura 6 e 7) as alterações de oxigênio apresentam-se bastante acentuadas com diferenças de 1,59mg L⁻¹ e 1,51mg L⁻¹ a partir de profundidades de 4-5 metros onde se nota o decréscimo mais acentuado da temperatura. Como há formação de estratos térmicos nítidos, o decaimento de oxigênio entre a superfície e o fundo coincide com os meses de agosto, junho e julho (inverno), sendo que no mês de junho entre 9 e 11 metros de profundidade ocorre anoxia. Valores muito baixos (entre 0 e 0,15mg L⁻¹) ocorrem nas camadas mais profundas nos meses de dezembro, janeiro, abril

e maio, os quais encontram-se anóxicos ou com quantidades mínimas próximo ao sedimento.

As variações dos perfis de oxigênio dissolvido na estação 4 (Figuras 8 e 9) apresentam os maiores valores durante o período de coletas, sendo que no mês de agosto estes valores foram os maiores ($14,95\text{mg L}^{-1}$ e $13,93\text{mg L}^{-1}$ na superfície). O comportamento do oxigênio nesta estação assemelha-se muito com o da estação 3, com os meses de agosto, junho e julho apresentando uma estratificação térmica nítida, que no seu início coincide com o decaimento de oxigênio em direção ao fundo, com o mês de julho apresentando anoxia nas últimas camadas. Nesta estação também ocorre anoxia nas camadas mais profundas durante os meses de janeiro e abril.

Em relação a estação 6 (Figura 10 e 11) os valores de oxigênio dissolvido apresenta-se alterados seguindo as estratificações térmicas entre a superfície e fundo, sendo que nos meses de agosto, junho e julho o decaimento do oxigênio na coluna é mais nítida seguindo o padrão da estratificação, a partir da profundidade de 3-4 metros no mês de agosto o decaimento do oxigênio é mais acentuado apresentando uma diferença de $4,27\text{mg L}^{-1}$. Os meses de março e julho apresentam-se anóxicas nas suas últimas camadas.

Os baixos valores de oxigênio no ponto 2 são devido as interferências antrópicas especialmente o despejo de esgoto urbano não tratado. Os valores de oxigênio dissolvido na superfície nunca foram maiores que $5,11\text{mg L}^{-1}$, havendo meses como maio e julho quando a concentração estava abaixo de 1mg L^{-1} na coluna inteira.

Quanto a atenuação a interferência antrópica (autodepuração), ao longo do percurso da água no reservatório nota-se que até a barragem há deficiência de oxigênio dissolvido na água. Mas também observa-se que a partir do ponto 3 apenas 1,5 km da jusante da estação 2 em um dos meses (agosto/96) foi atingido o valor de saturação na camada eufótica.

No ponto 6 situado no início do trecho estreito e final da represa, nota-se a influência da profundidade, com as camadas mais profundas apresentando uma redução

nos valores de oxigênio dissolvido, ocorrendo em certos meses anoxia nos últimos metros de profundidade.

Excluindo a produção de oxigênio pela fotossíntese e considerando apenas o valor de equilíbrio do oxigênio atmosférico dissolvendo-se na água, produz-se a concentração de 9 mg L^{-1} . Os valores achados foram muito menores sugerindo a ocorrência de fonte consumidora de oxigênio em alguns meses.

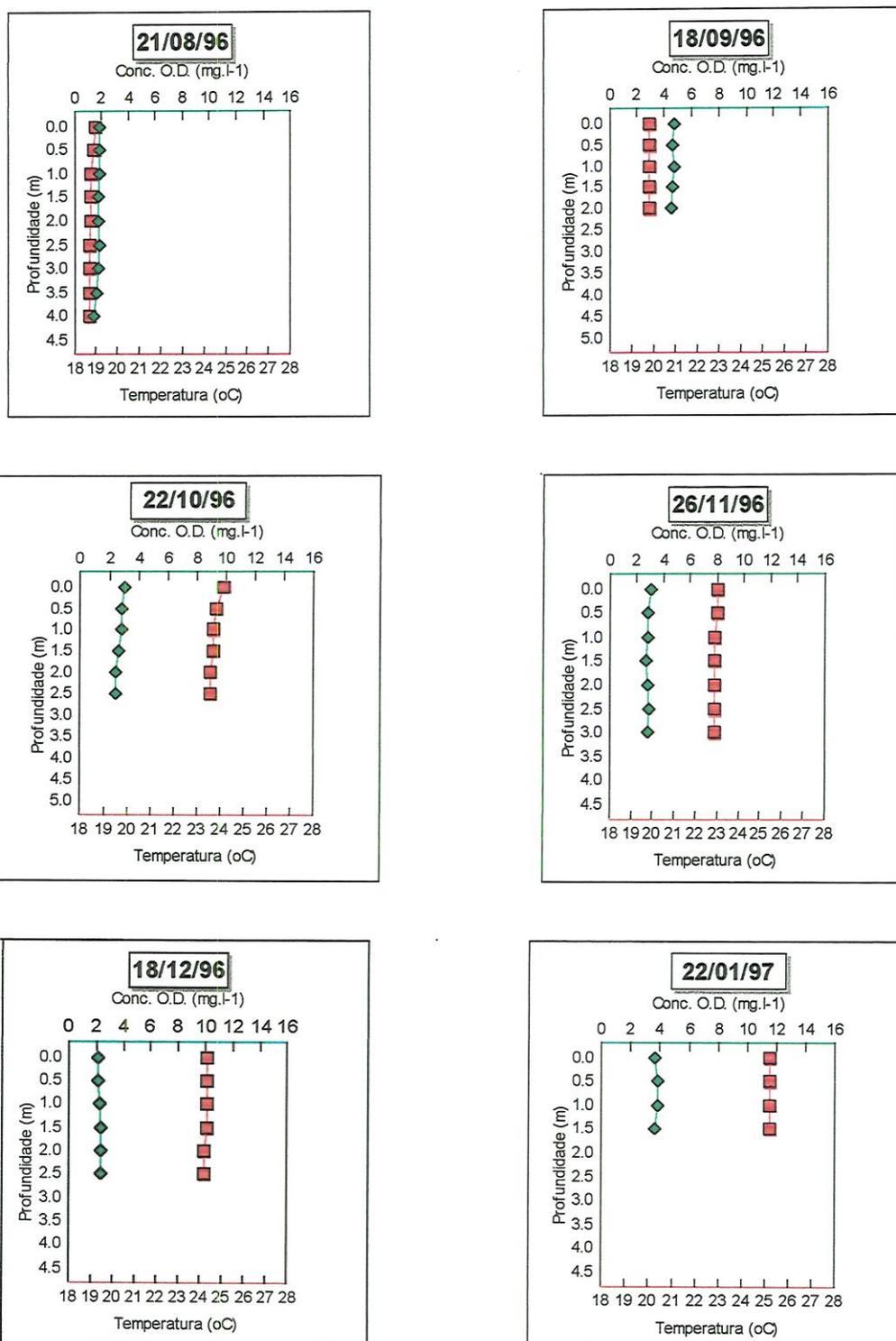


FIGURA 4- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP)

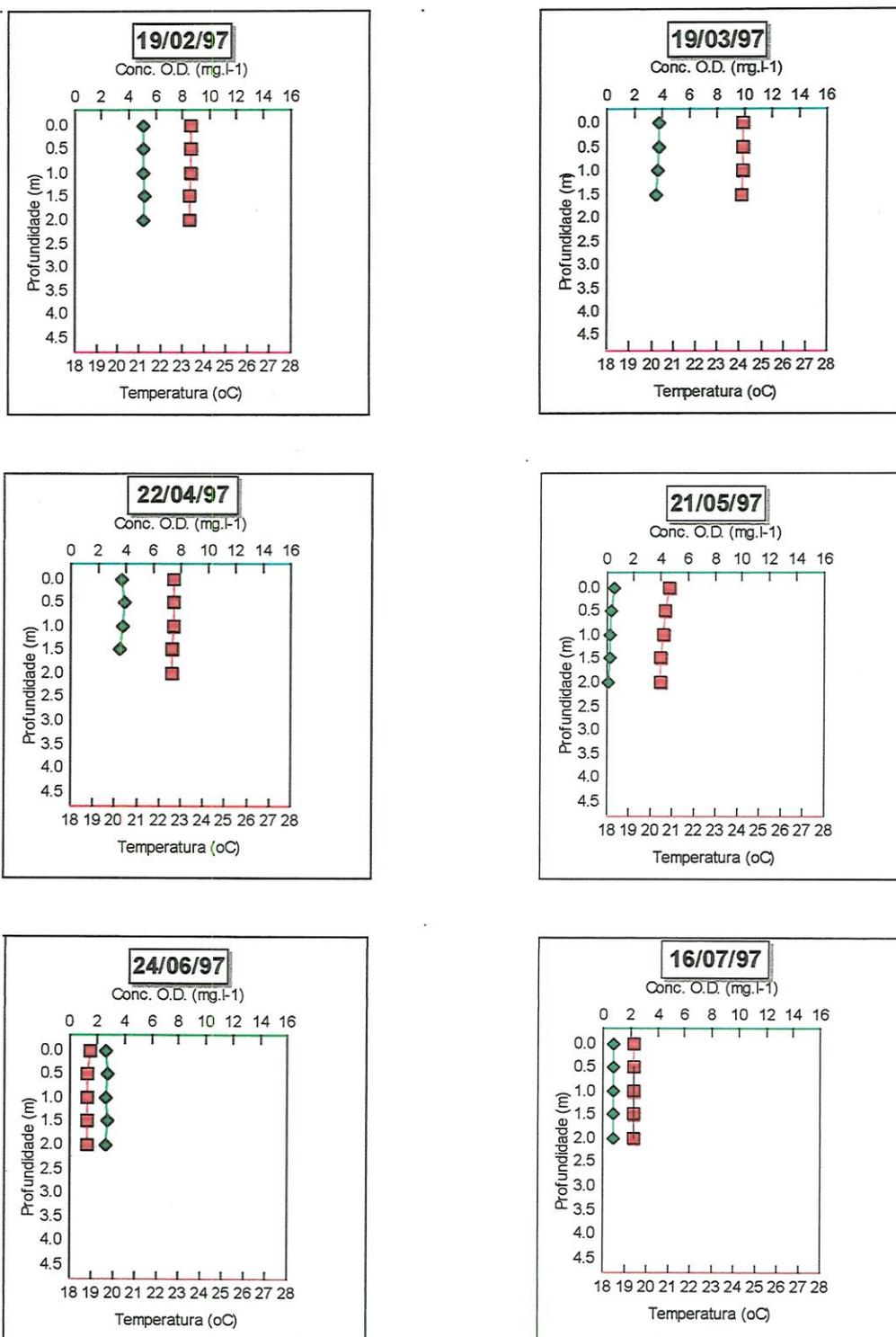


FIGURA 5- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP)

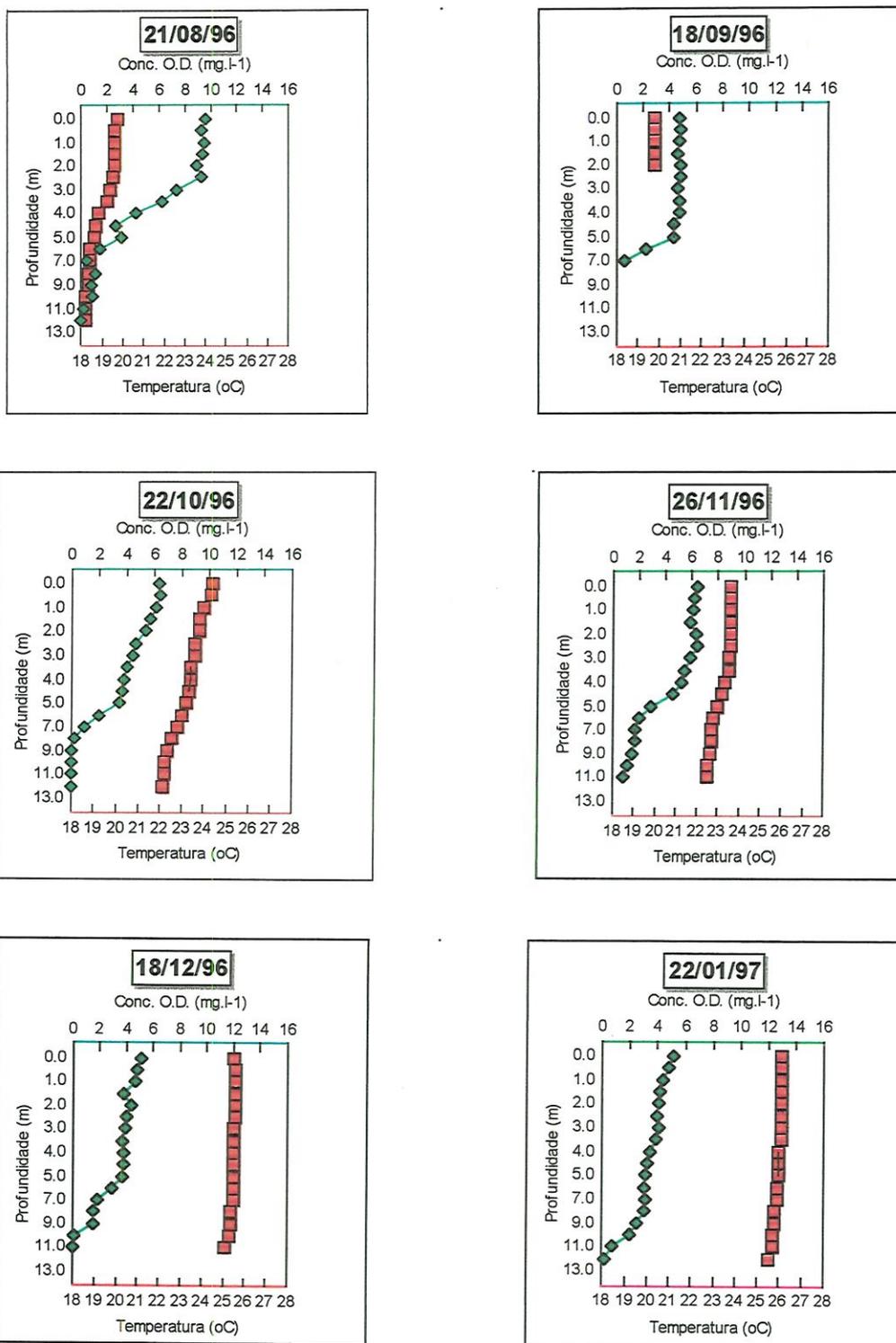


FIGURA 6- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP)

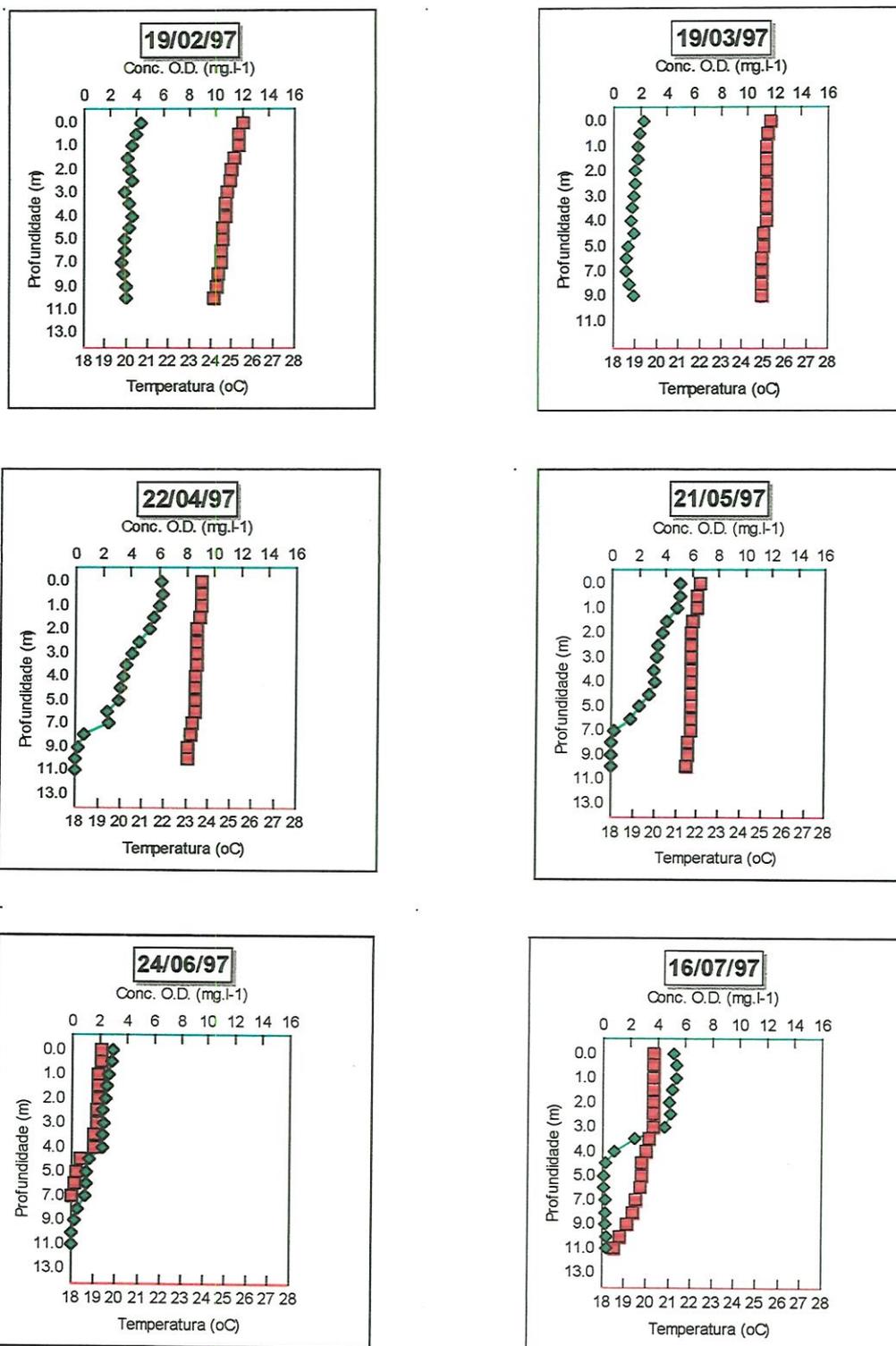


FIGURA 7- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) ◇ e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) □, na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP)

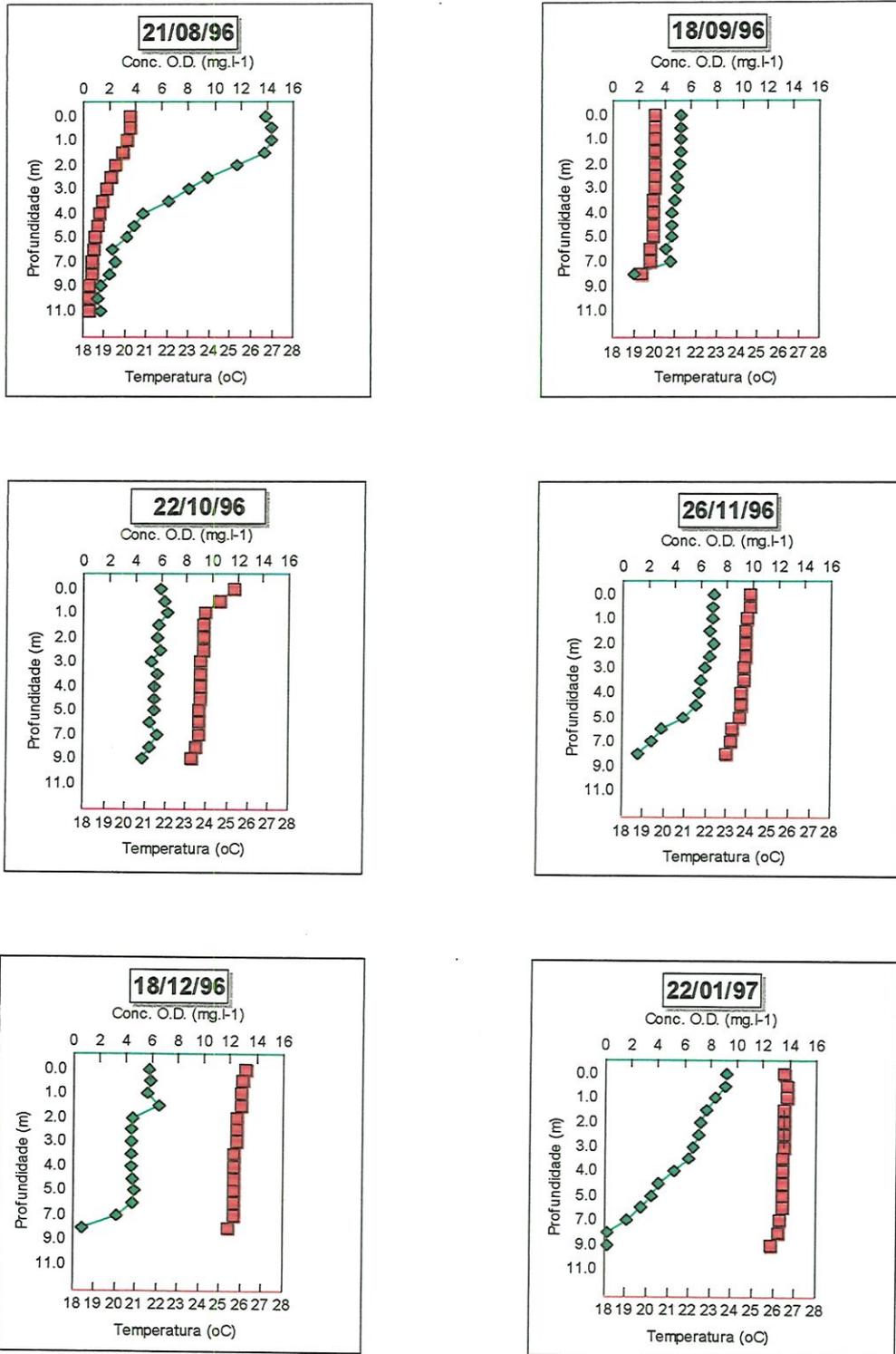


FIGURA 8- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP)

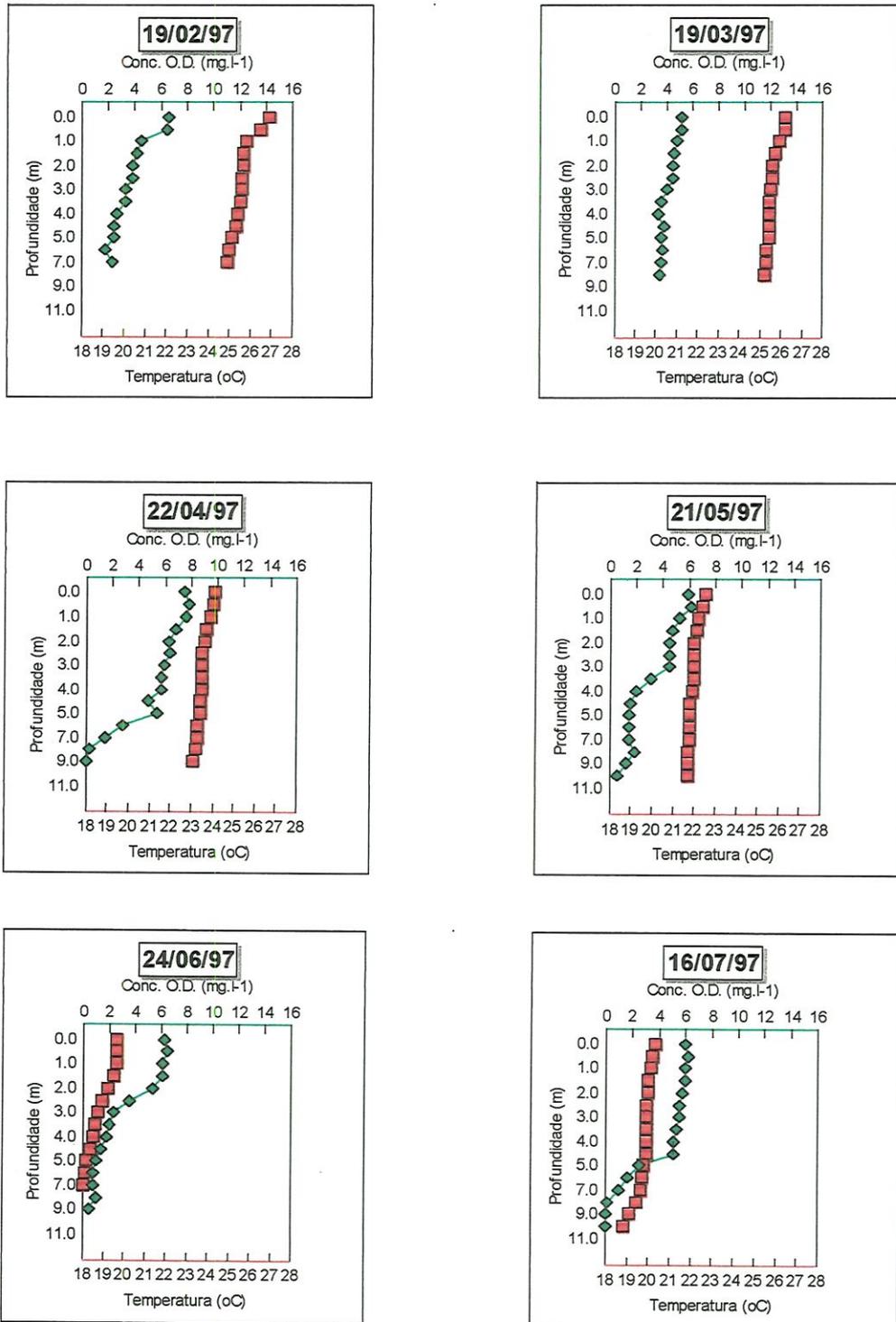


FIGURA 9- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) \diamond e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) \square , na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP)

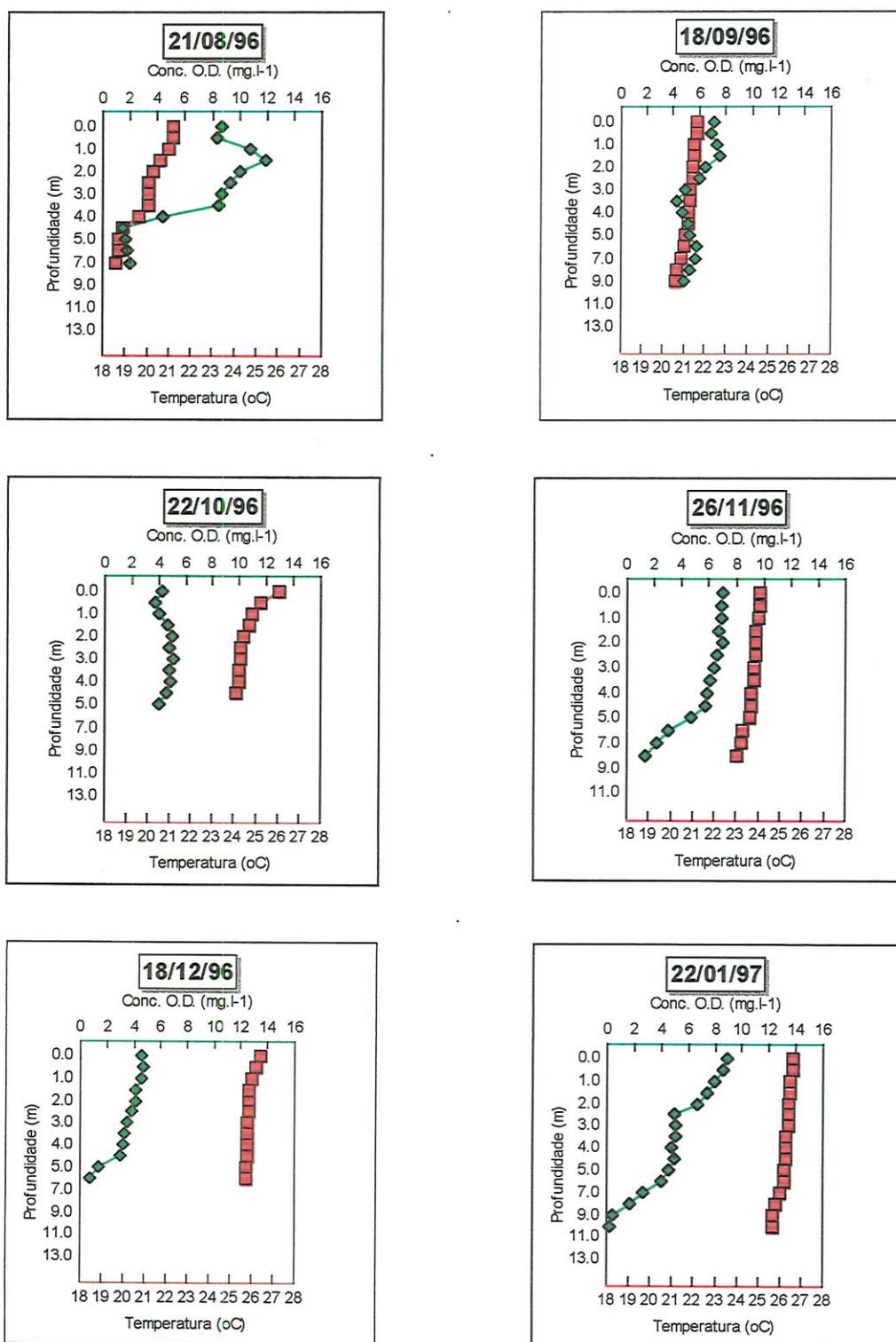


FIGURA 10- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l^{-1}) ◇ e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) □, na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP)



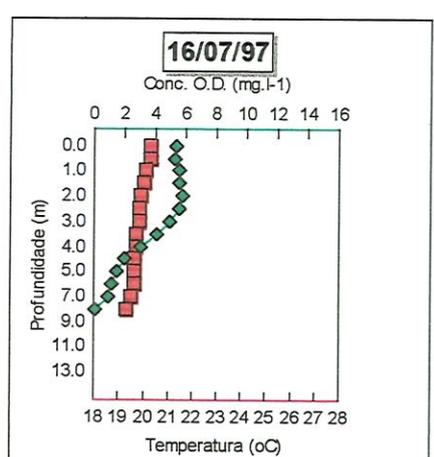
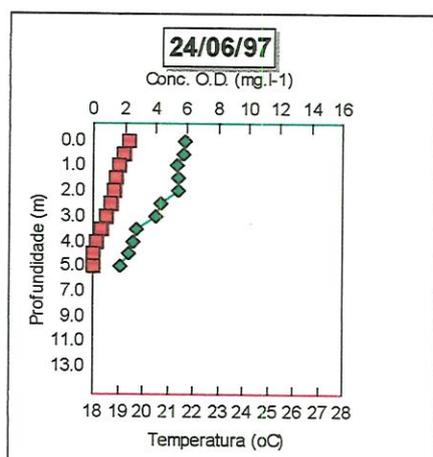
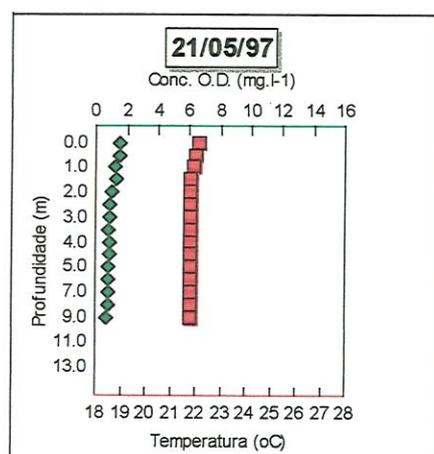
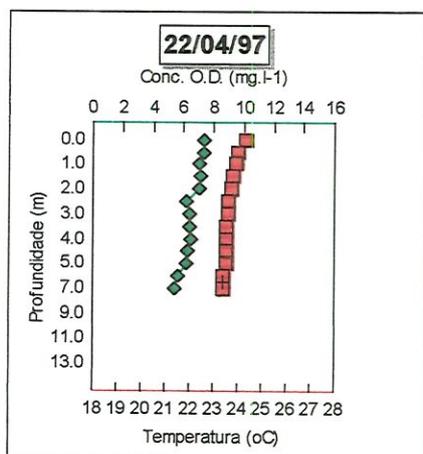
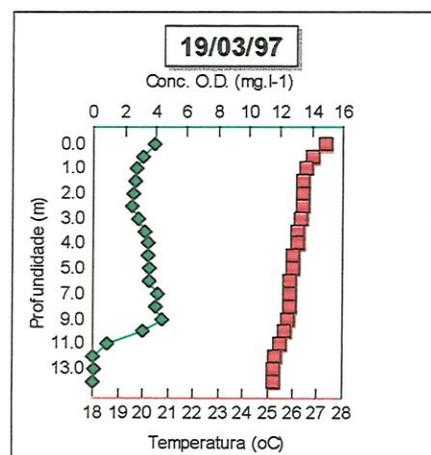
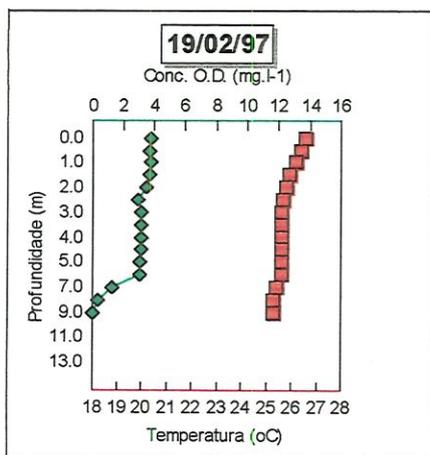


FIGURA 11- Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (mg/l⁻¹) \diamond e temperatura (°C) \square , na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP)

6.1.3 pH

Nas Figuras 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 estão demonstradas as variações espaço temporais do pH, no período de agosto 1996, à julho de 1997.

Os resultados mostram que na estação 2 (Figuras 12 e 13) as variações ao longo da coluna d'água, foram pouco elevadas. As maiores variações de pH ocorreram durante os meses de janeiro, maio, junho e julho, permanecendo a coluna d'água praticamente homogênea ao redor 6,4.

Na estação 3 (Figuras 14 e 15) as diferenças do pH na coluna d'água foram mais acentuadas nos meses de agosto que variou em relação superfície/fundo 7,2 e 6,5, no mês de outubro esta relação obteve valores de 6,4 na superfície e 5,5 no fundo. Ao longo dos meses os valores mais altos foram determinados nos meses de agosto e novembro, com os valores de superfície e os valores próximo ao sedimento em torno de 7,3 e 6,5 respectivamente.

O pH na estação 4 (Figuras 16 e 17) apresentou uma maior variação entre a superfície e o fundo nos meses de agosto e janeiro, estas variações podem ser melhor observadas, quando na superfície os valores obtidos foram de 8,4 e 7,5 com valores de fundo de 6,3 e 6,4 respectivamente. Durante os demais meses de coletas as diferenças foram pouco elevada, com valores de pH oscilando em torno de 6,5.

Na estação 6 (Figuras 18 e 19) as variações mais acentuadas entre superfície/fundo ficam bem demonstradas nos meses de novembro e janeiro, quando seus valores foram de 8,8 e 7,4 na superfície e 6,7 e 6,6 no fundo. Em novembro estes valores apresentaram-se bem mais elevados que nos outros meses, bem como suas variações foram mais intensas.

Nas estações em conjunto se nota um gradativo aumento do pH começando do ponto 2, isto é consequência da deficiência do oxigênio que é mais acentuado neste ponto, tendendo melhorar nos demais. Em ambiente de pouco oxigênio o metabolismo bacteriano precisa lançar mão da metanogênese cuja a primeira fase é de geração de ácidos que são responsáveis pela diminuição do pH. O efeito se nota nitidamente no mês

de agosto no ponto 4, comparando os perfis de oxigênio com o de pH observa-se que os dois possuem o mesmo efeito, ou seja, valores altos nos primeiros 2 metros na camada de água e valores mais baixos nas camadas mais profundas. O valor alto de oxigênio acima da saturação (14 mg L^{-1}) é resultado da fotossíntese que inibe a metanogênese por um lado e por outro consome gás carbônico do ar permitindo que os contraíons dos bicarbonatos se manifestam elevando o pH. Mesmo assim estes não ultrapassam o valor de 8,5. Esta limitação é um outro efeito que se nota nos trópicos que decorre da presença de ácidos húmicos na água, cuja a capacidade de sequestrar íons alcalinos terrosos sob forma de complexos, agem como tampões de pH.

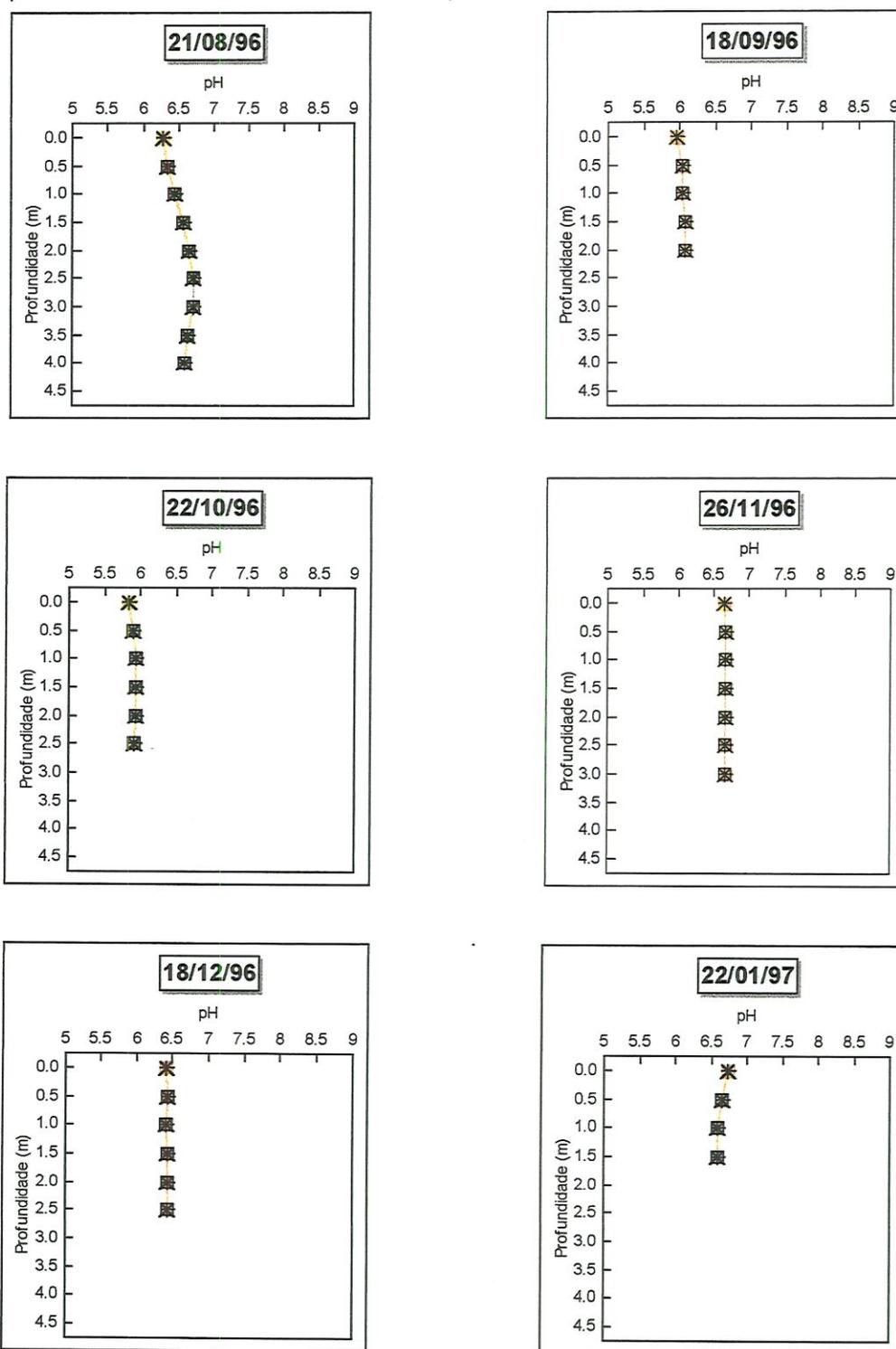


FIGURA 12- Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP)

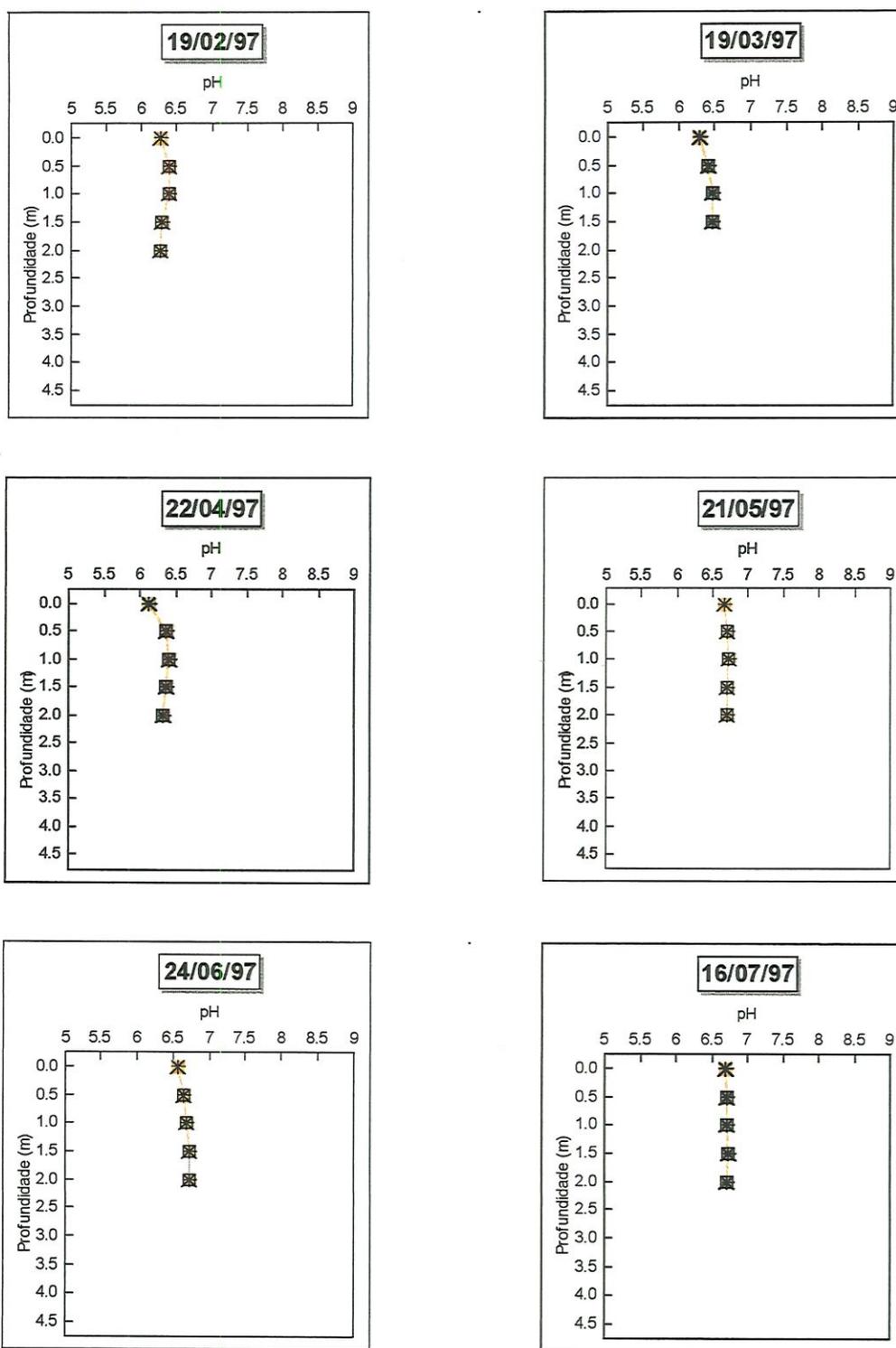


FIGURA 13- Variação espaço temporal dos valores de pH na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP)

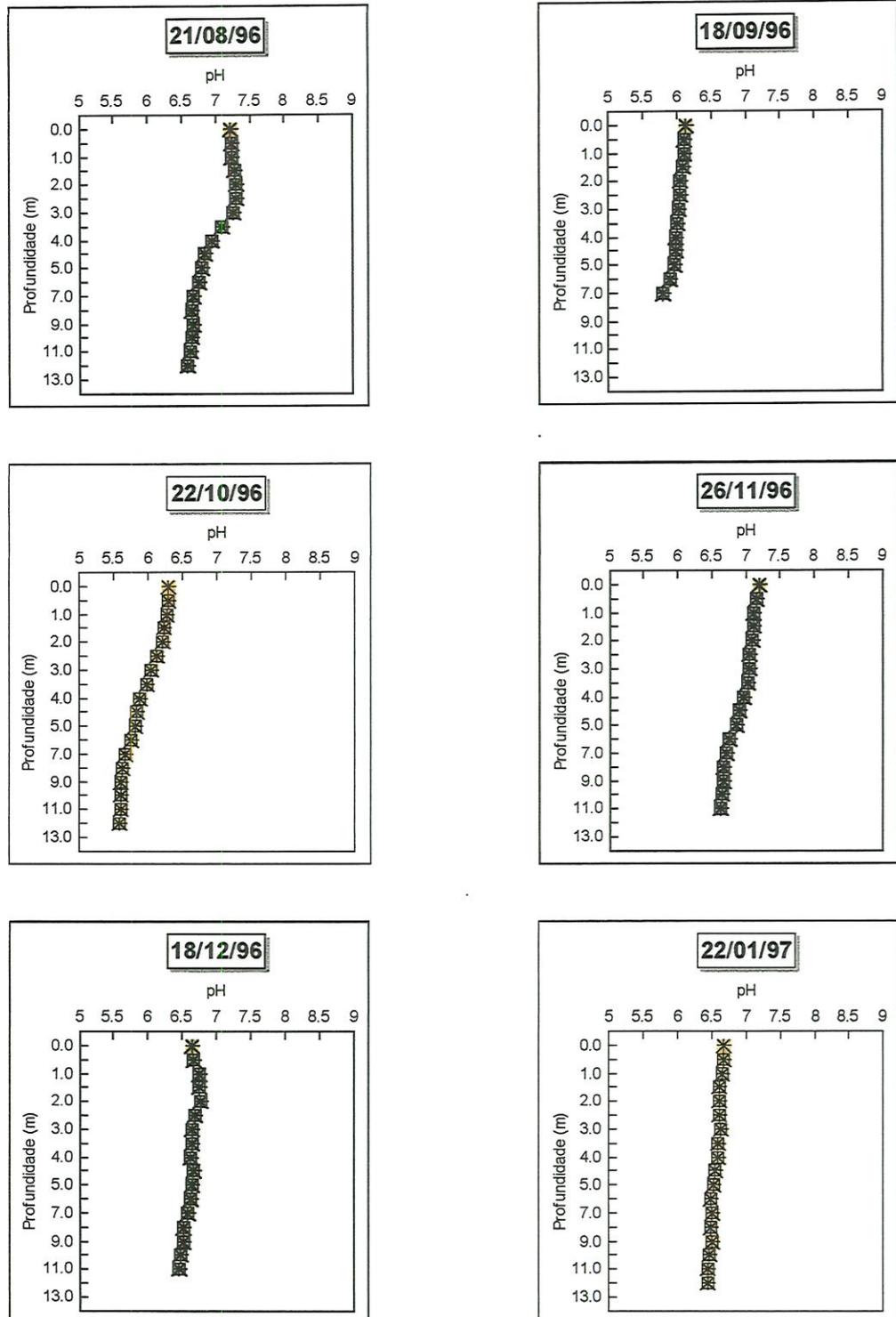


FIGURA 14- Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP)

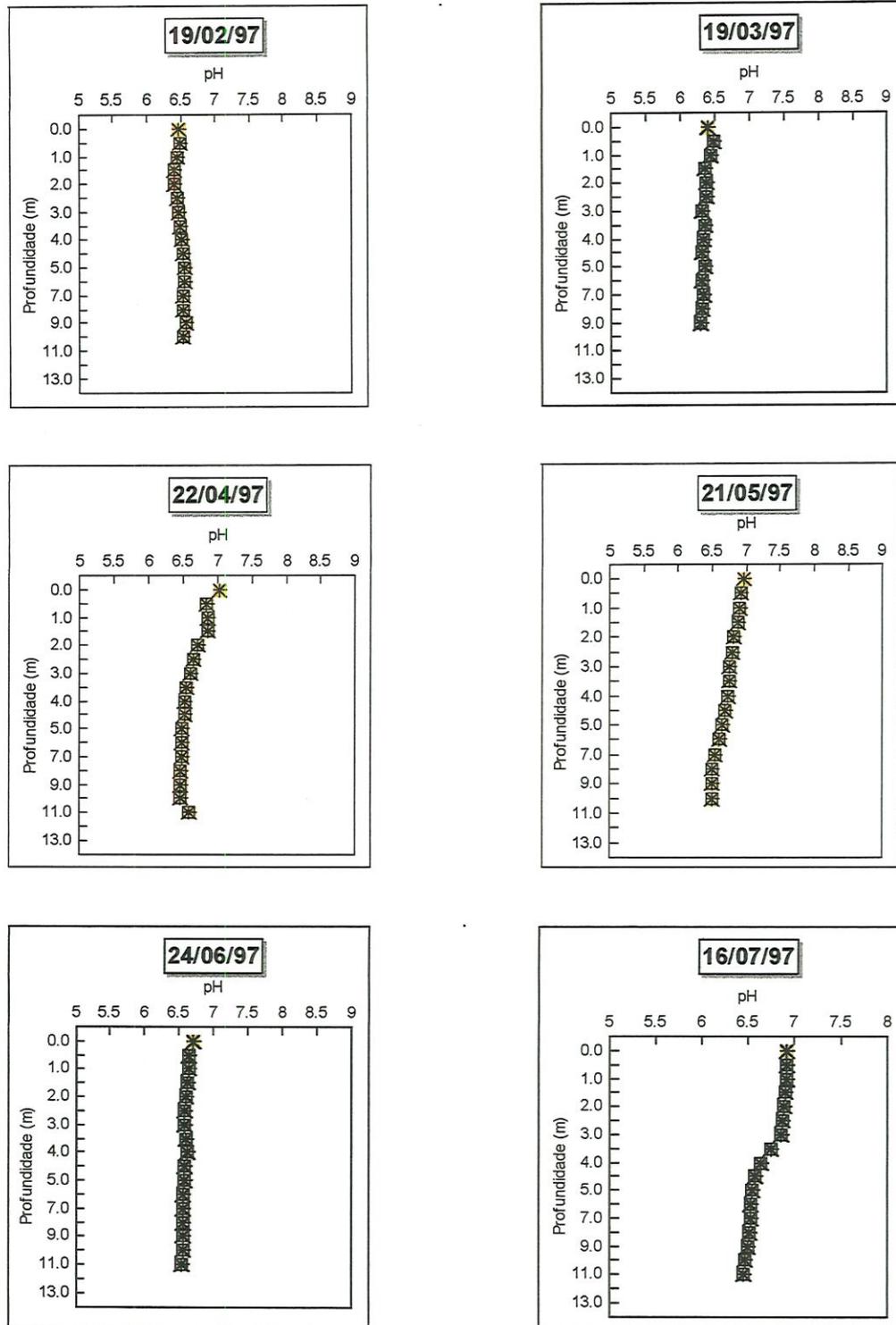


FIGURA 15- Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP)

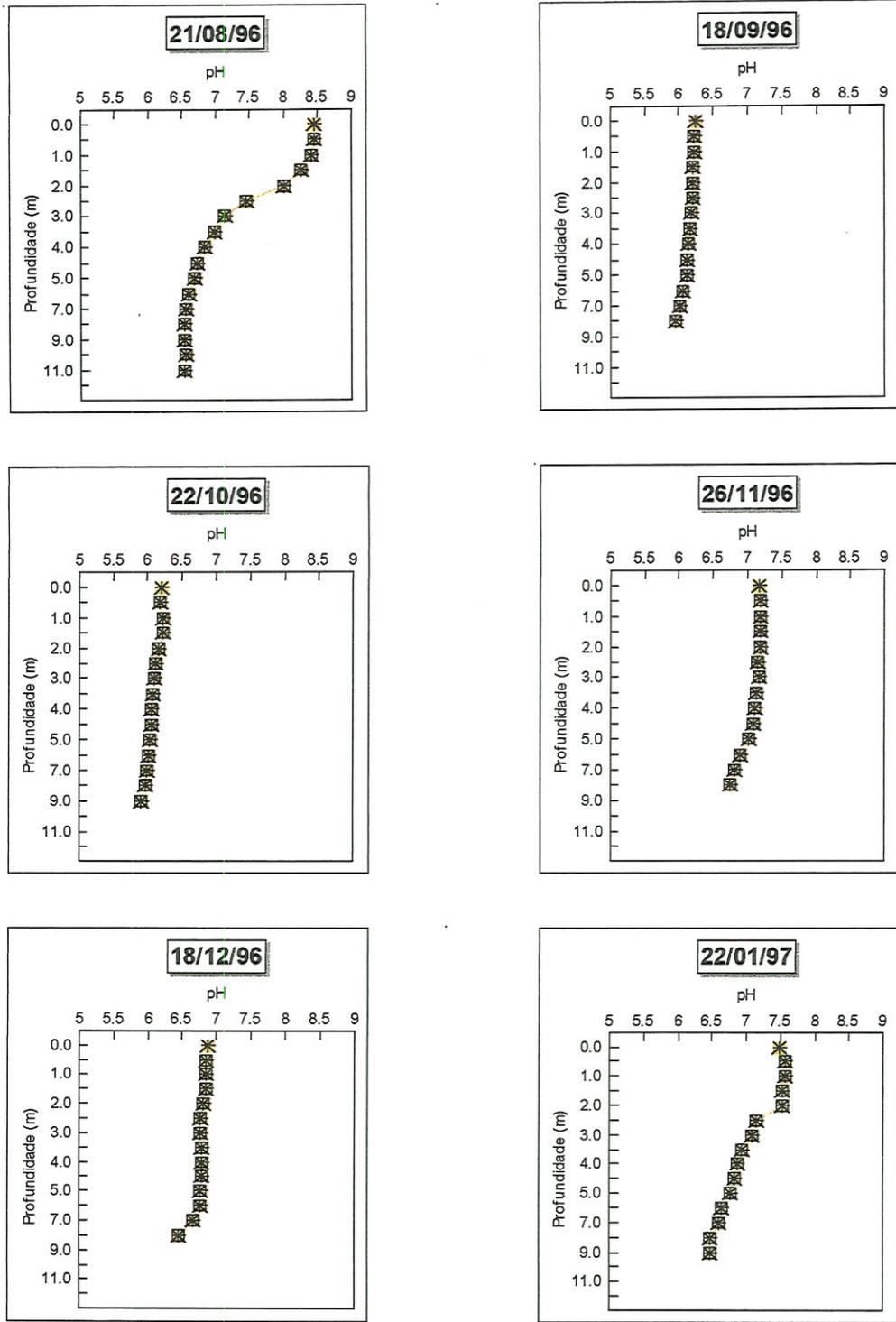


FIGURA 16- Variação espaço temporal dos valores de pH na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP)

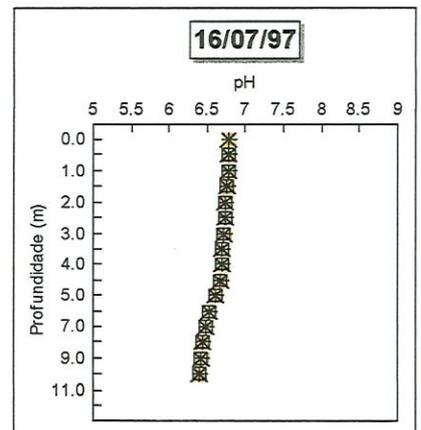
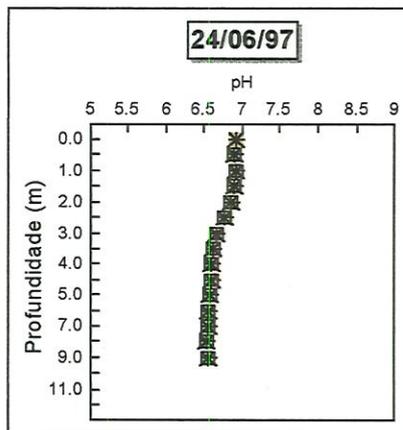
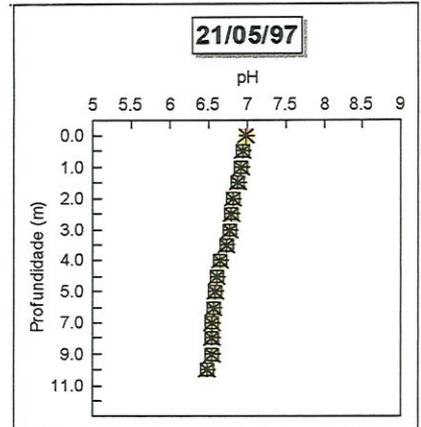
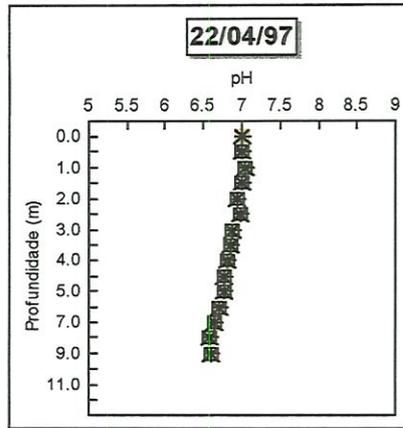
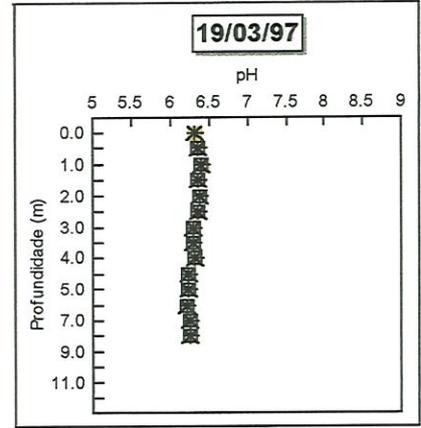
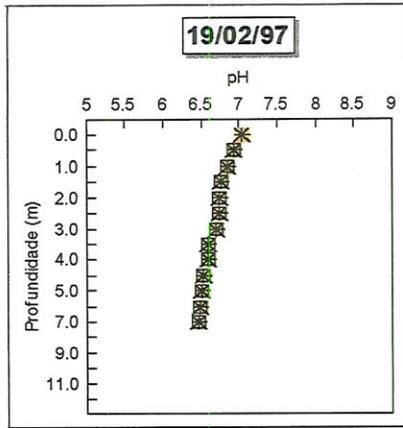


FIGURA 17- Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP)

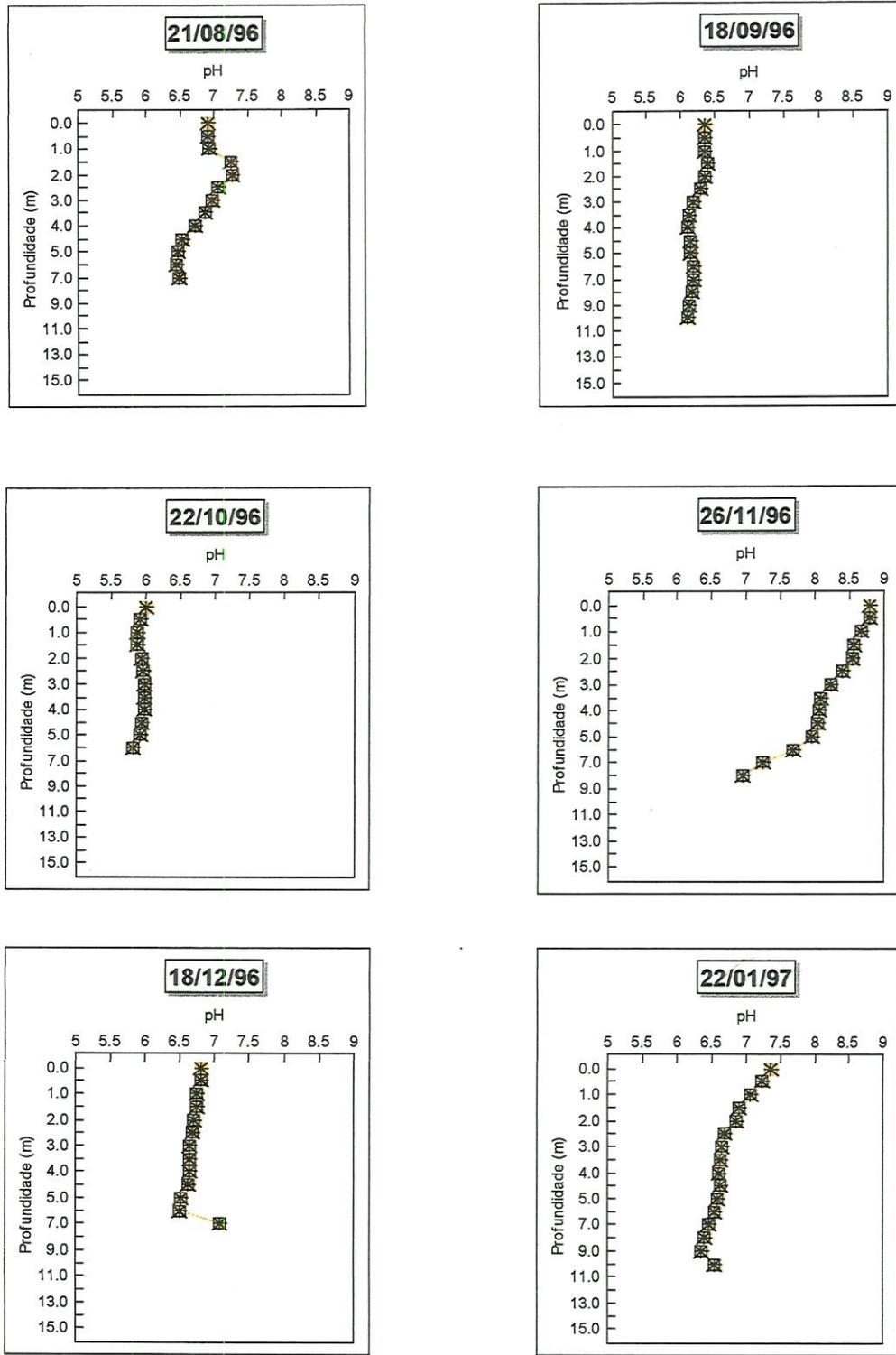


FIGURA 18- Variação espaço temporal dos valores de pH na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP)

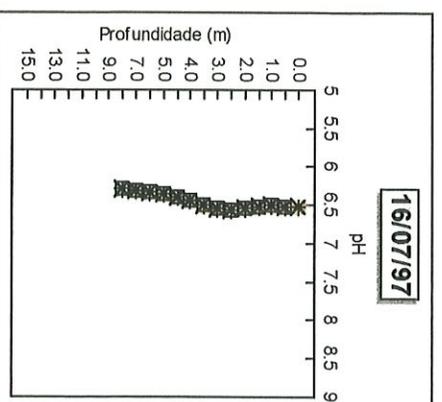
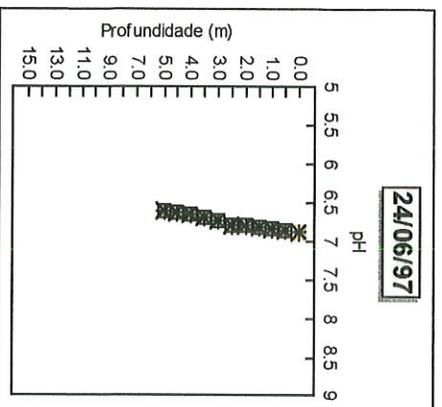
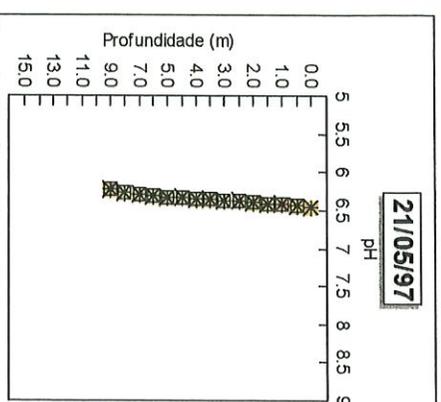
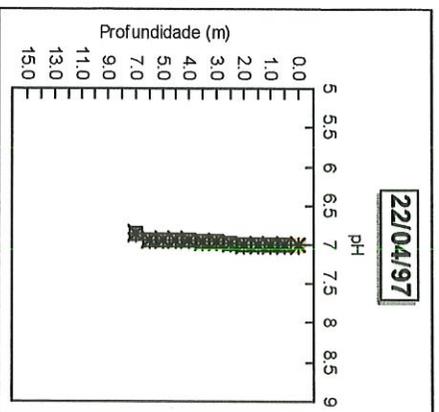
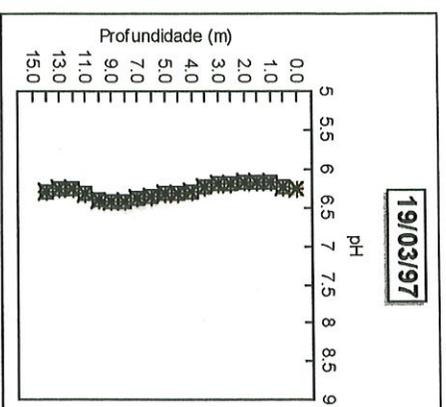
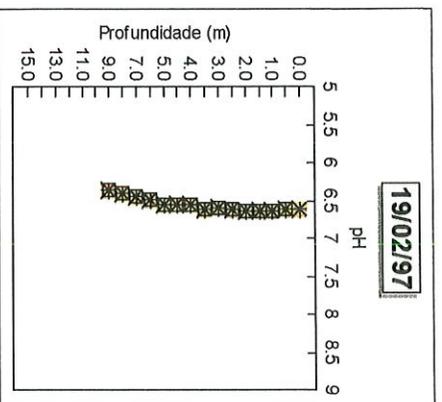


FIGURA 19- Variação espaço-temporal dos valores de pH na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP)

6.1.4 Condutividade Elétrica

Nas Figuras 20 a 27 estão representadas as medidas de condutividade na água nas diversas profundidades, durante os meses de coleta.

As Figuras 20 e 21 referem-se as variações espaço-temporal da estação 2. Exceto os meses de maio e julho, nos demais, os valores de condutividade encontrados foram menores, nestes dois meses foram maiores tanto na superfície como próximos ao sedimento. Em fevereiro se encontra os menores valores de condutividade ($84 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na superfície), enquanto em maio o maior valor medido foi de $316 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Em relação a profundidade, na prática, estes valores foram constantes.

As medidas de condutividade na estação 3 (Figuras 22 e 23) que apresentaram maiores diferenças entre os meses foram, novembro com uma condutividade em torno de $87 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e maio com $233 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. No mês de julho houve um decaimento de condutividade a partir dos 4 metros de profundidade, onde os valores passaram de $203 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para $94 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Nos demais meses os perfis de condutividade mantiveram-se praticamente constantes.

Na estação 4 (Figuras 24 e 25) o mês que apresentou maior valor de condutividade foi agosto com $244 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e os meses com menores valores foram novembro com $90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e julho com $84 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. As variações entre as profundidades de cada mês se mantiveram em uma mesma faixa de condutividade

A condutividade na estação 6 (Figuras 26 e 27) apresentou-se com poucas diferenças entre os meses de coleta, apenas o mês de agosto teve suas medidas superiores a $230 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. E em relação as diferenças de condutividade na coluna d'água de cada mês na estação 6, foi verificado que elas não variaram entre a superfície e fundo, seguindo o mesmo padrão das outras estações, onde permaneceram-se constantes.

A condutividade representa a quantidade de condutores presentes na água ou seja, íons. Em águas naturais os íons inorgânicos são cloretos, sulfatos, carbonatos, cálcio, magnésio, sódio e potássio. Nos trópicos junta-se a estes íons os ácidos húmicos

ligeiramente iônicos. Em ambientes sujeitos a metanogênese existe ainda ácidos orgânicos de baixa massa molecular e ionização pronunciada.

A variação muito forte, quase de um fator multiplicativo de 4, mostra que o ambiente é complexo e que a entrada de íons pelo rio, a geração de outros íons no reservatório (ácidos orgânicos e amônia) e a sua interação produzindo complexações e precipitações afetam a quantidade de íons disponíveis para condução elétrica.

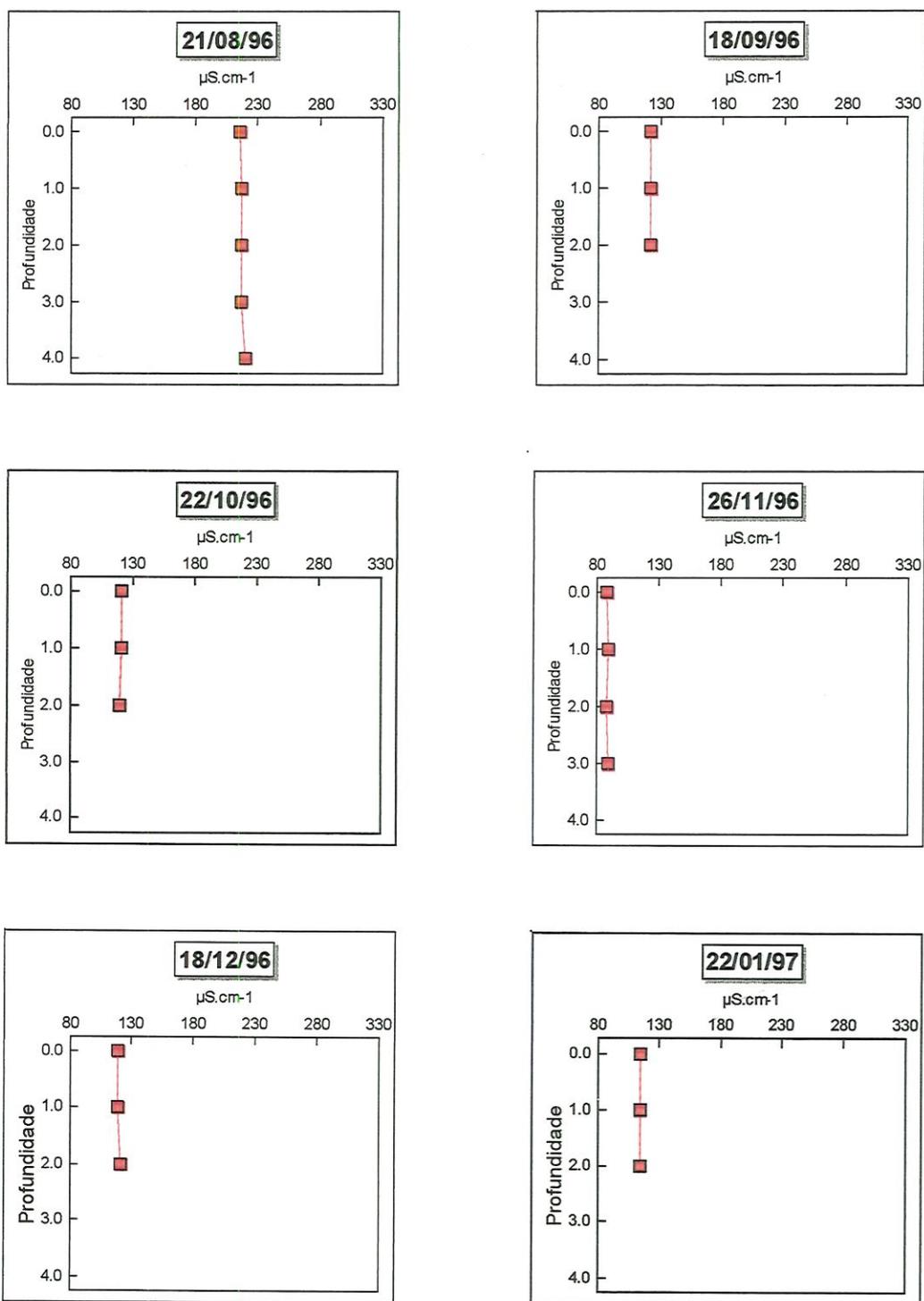


FIGURA 20- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP)

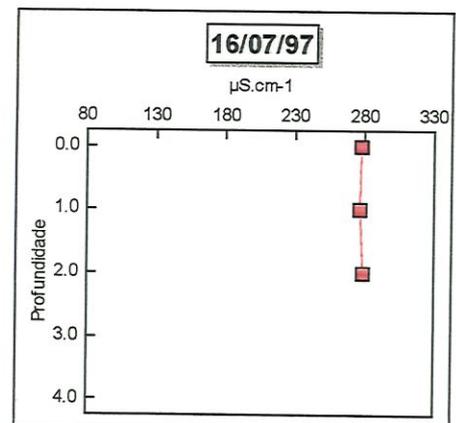
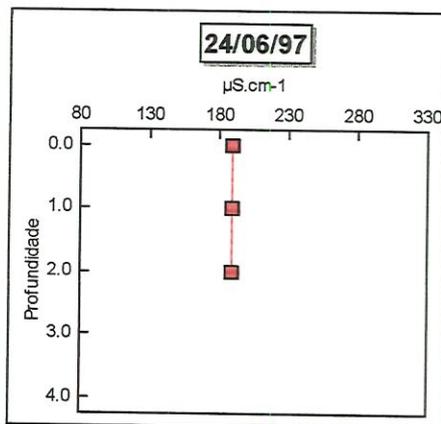
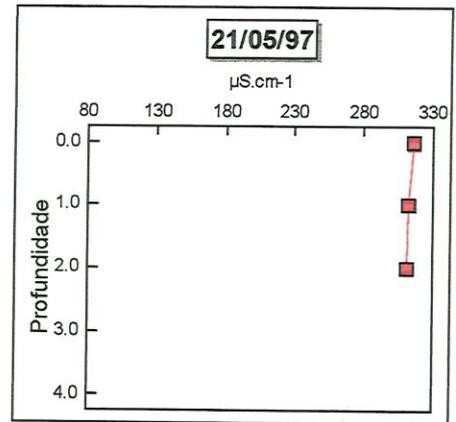
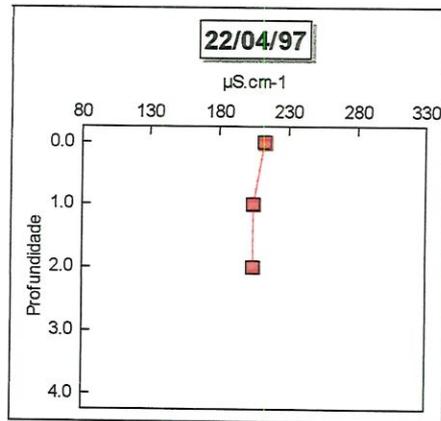
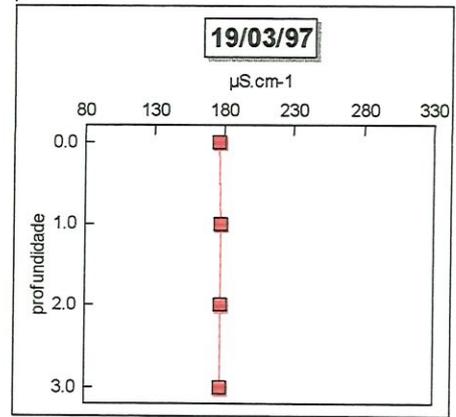
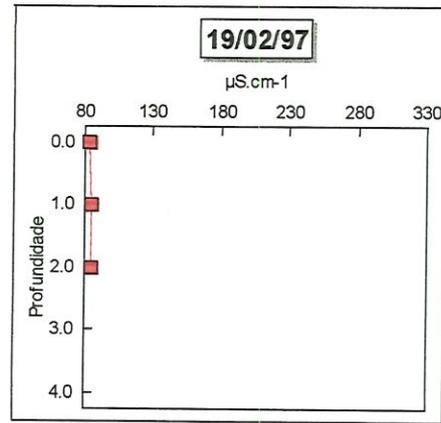


FIGURA 21- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 2, no Reservatório de Salto Grande (SP)

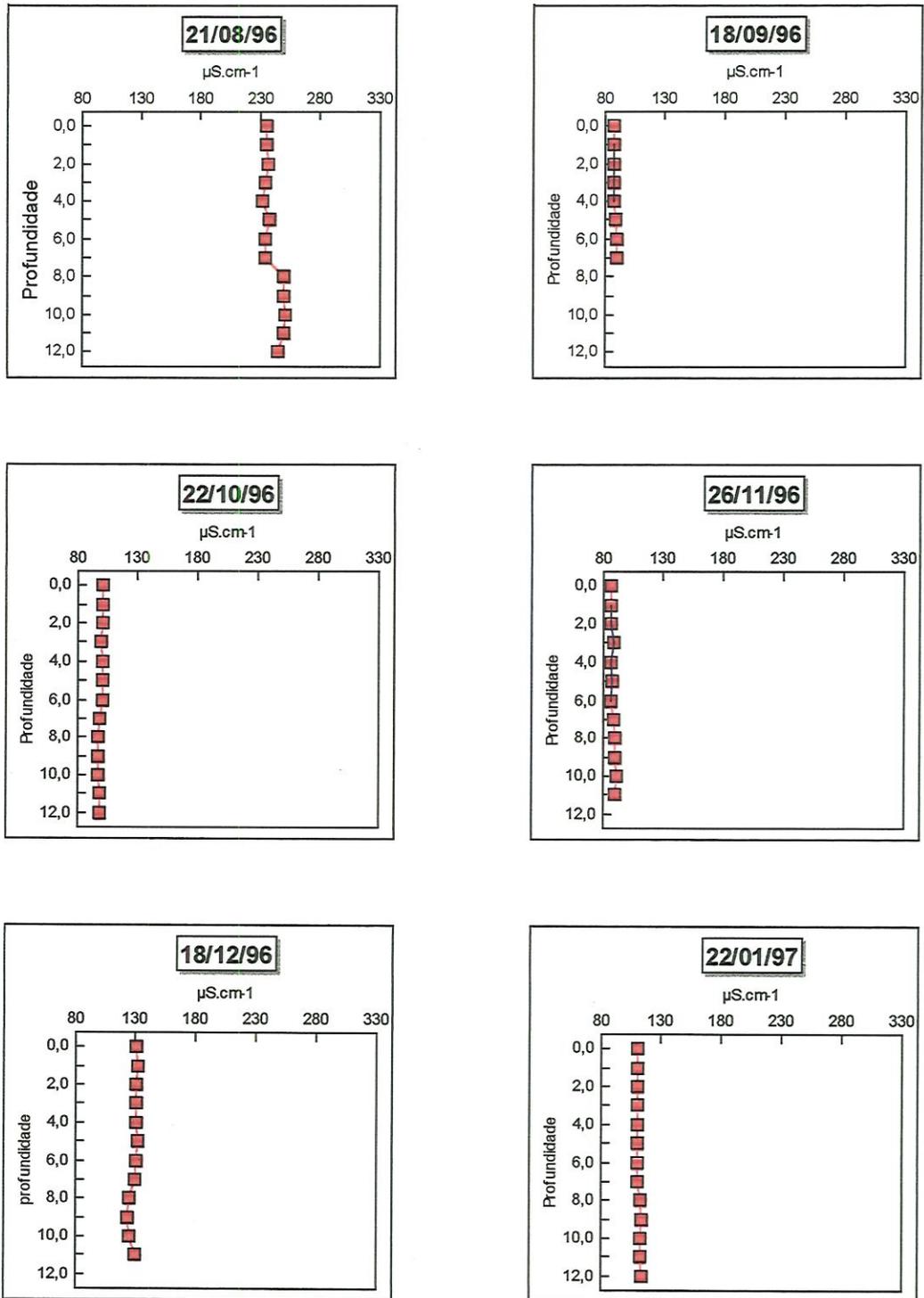


FIGURA 22- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP)

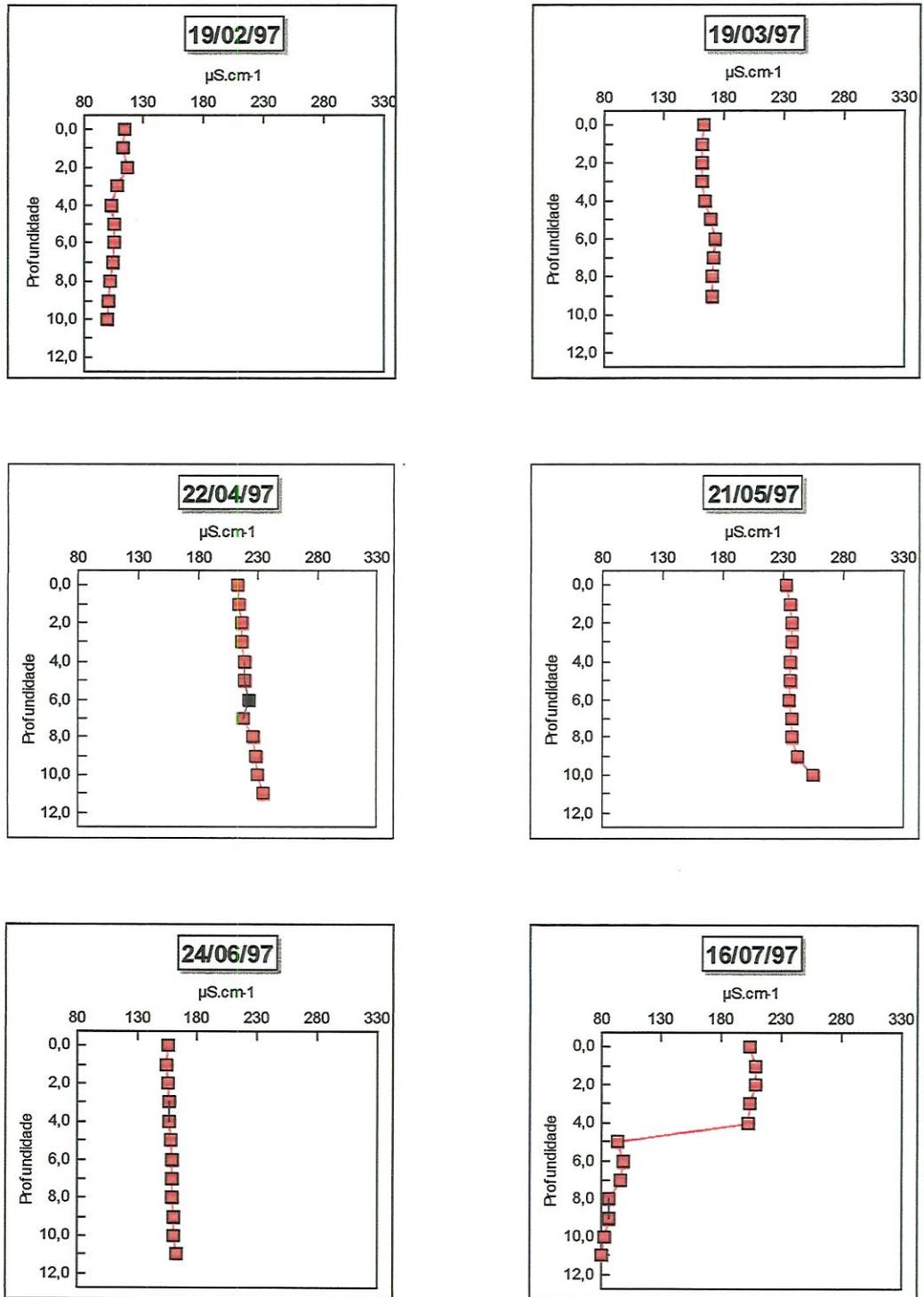


FIGURA 23- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 3, no Reservatório de Salto Grande (SP)

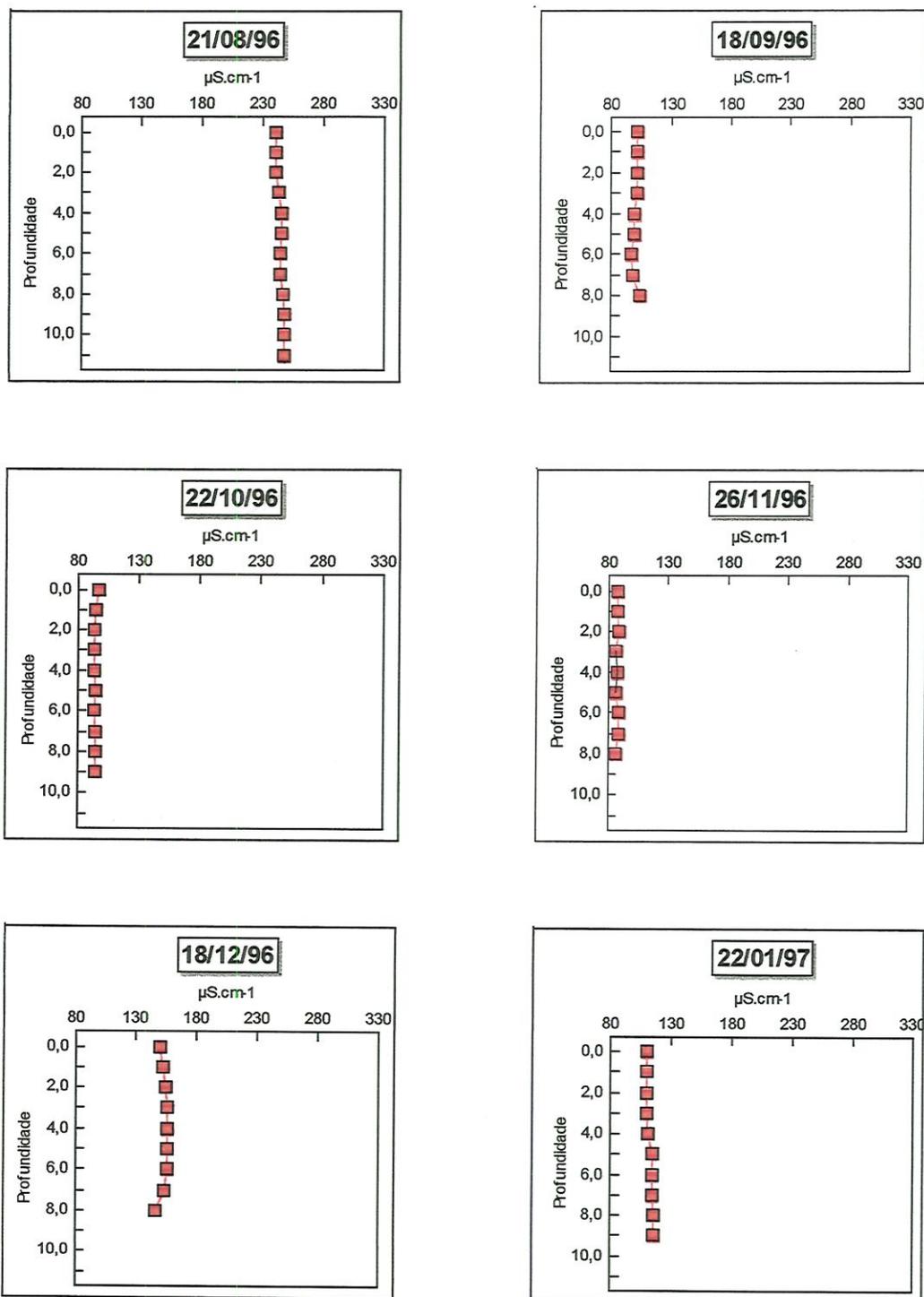


FIGURA 24- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP)

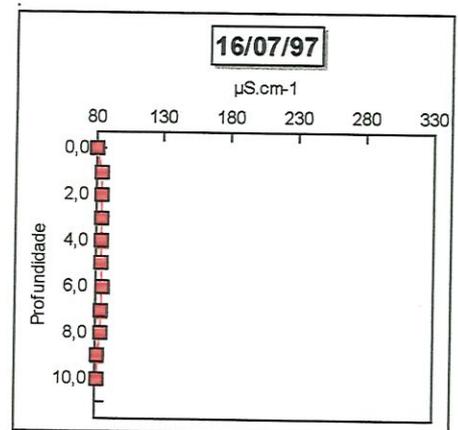
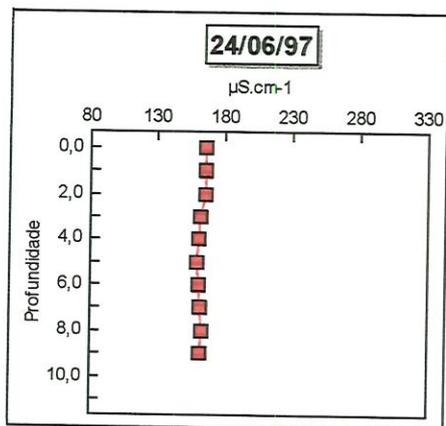
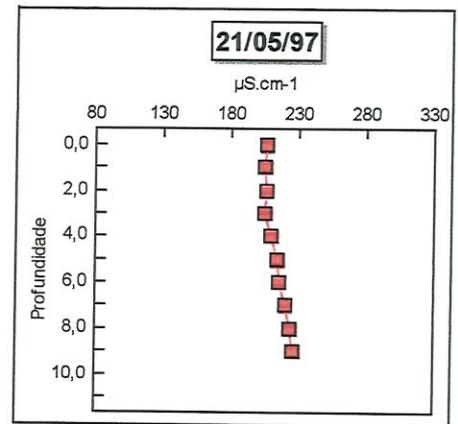
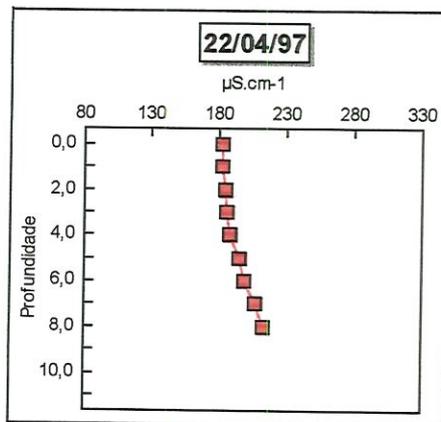
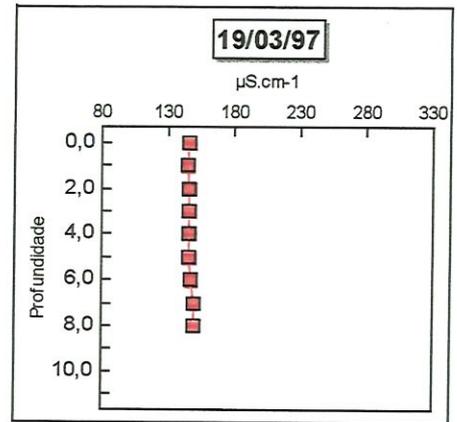
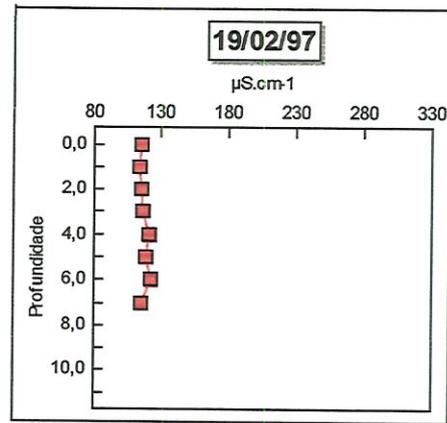


FIGURA 25- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 4, no Reservatório de Salto Grande (SP)

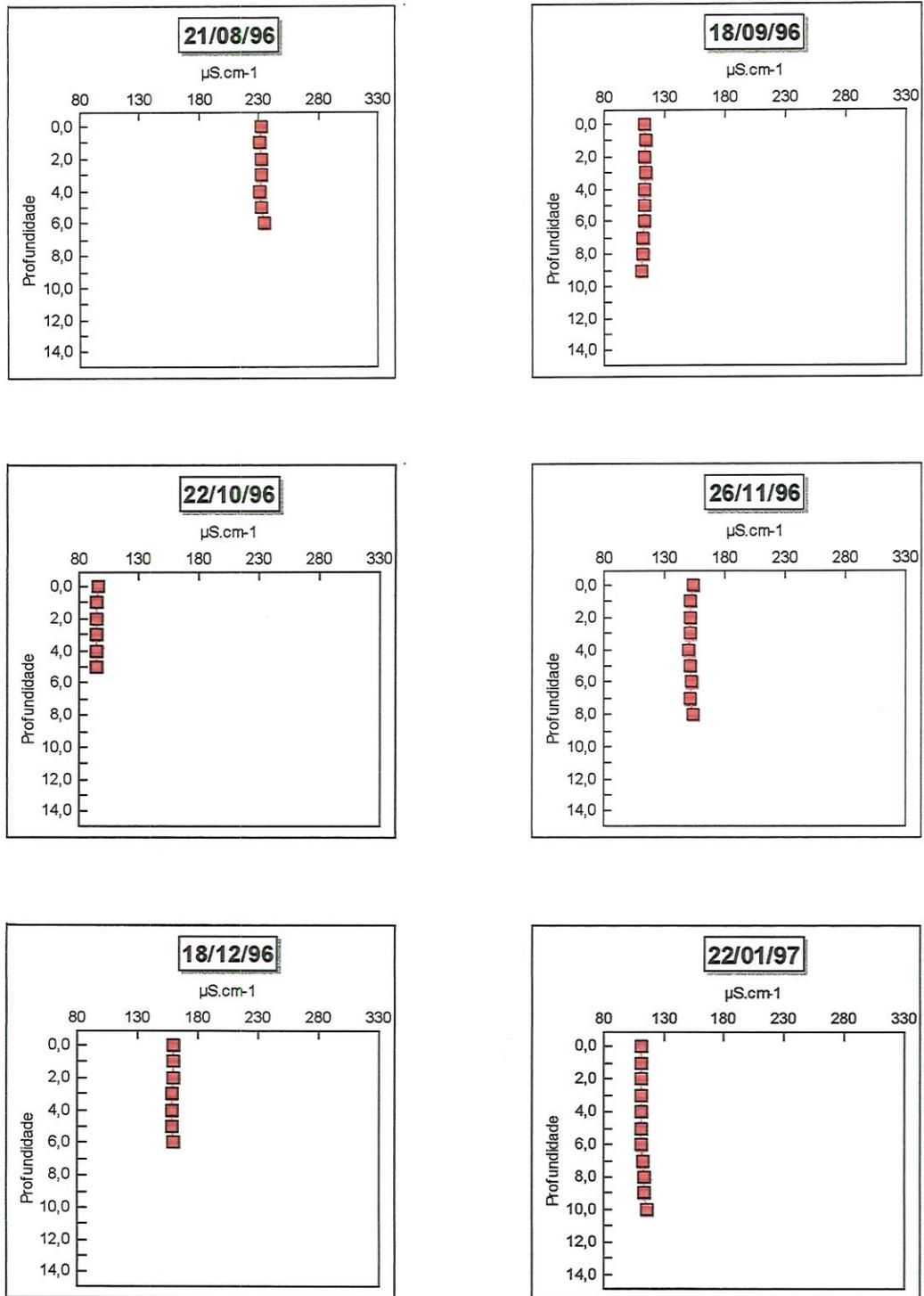


FIGURA 26- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP)



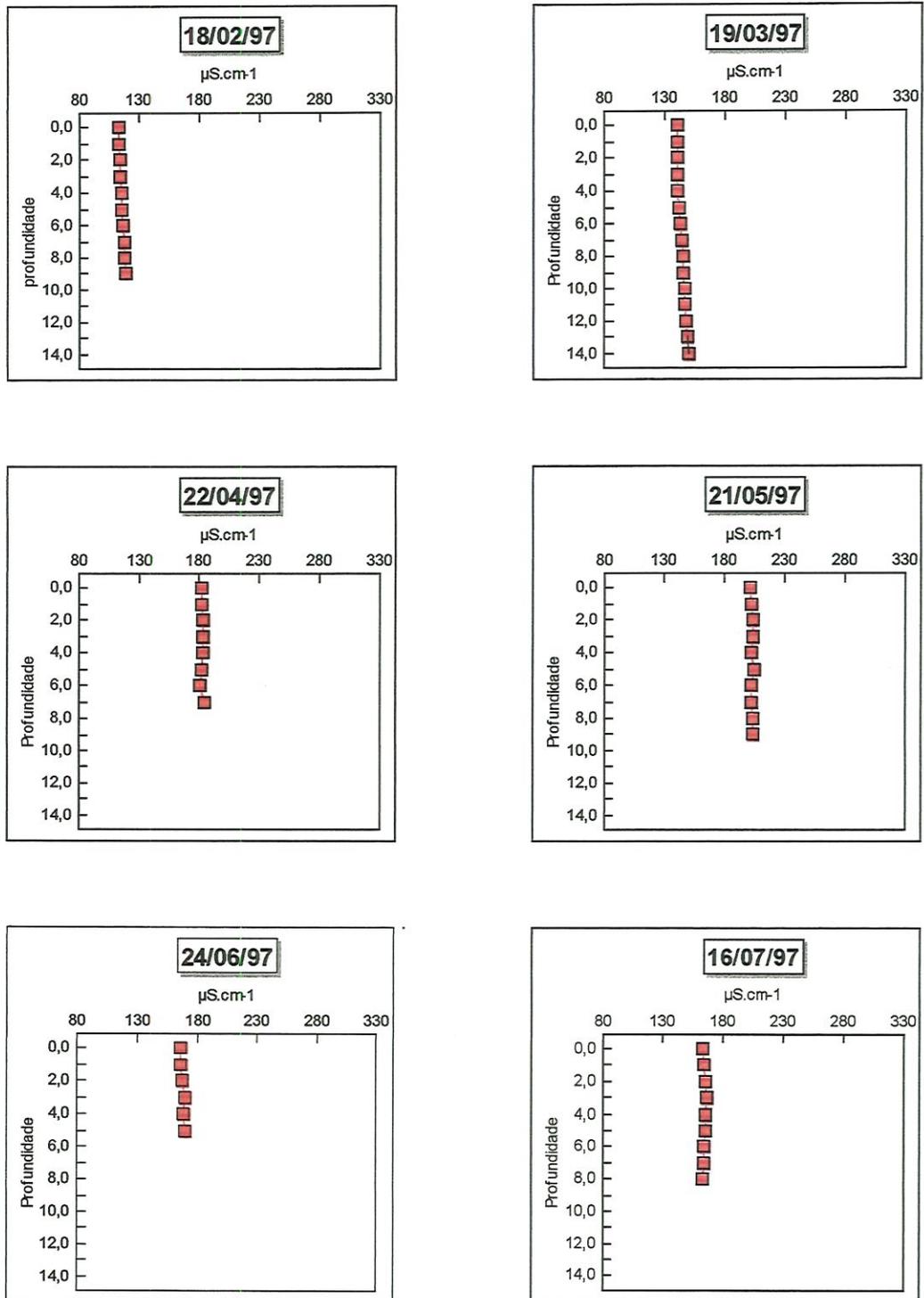


FIGURA 27- Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), na estação 6, no Reservatório de Salto Grande (SP)

6.1.5 Nitrato, Nitrito e Amônia

A seguir são apresentadas por meio das Tabelas 2 e 3 as variações das concentrações de amônia, nitrito e nitrato, para cada mês de coleta, determinados nos pontos referentes a entrada do rio Atibaia localizado no ponto 2 do mapa e na saída após alguns metros após a barragem no rio Atibaia.

Em relação a amônia pode-se notar que no período de inverno que coincide com o período da seca (agosto), encontra-se a maior concentração de amônia ($2105,2 \mu\text{g L}^{-1}$), enquanto que no período de verão e chuvoso (dezembro e janeiro) estão os menores valores ($464,26 \mu\text{g L}^{-1}$ e $523,05 \mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente). Para o nitrito, a relação entre suas concentrações e os períodos de seca e chuva é bem definido, com o período da seca apresentando as maiores concentrações e no período chuvoso as menores concentrações ($244,14 \mu\text{g L}^{-1}$ e $127,17 \mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente). O nitrato seguiu o mesmo padrão para suas concentrações, no período de seca apresentou valores mais altos que no período chuvoso ($1301,8 \mu\text{g L}^{-1}$ e $898,93 \mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente).

Através da Tabela 3 pode-se observar que as concentrações de amônia, nitrito e nitrato variaram entre estação chuvosa e seca, com concentrações maiores durante o período de seca (agosto) e menores na estação das chuvas (dezembro e janeiro).

As concentrações de amônia, nitrito e nitrato variaram de forma semelhante nos dois pontos de coleta em relação aos períodos de seca e chuva, onde em ambos os pontos suas concentrações foram maiores na época de seca e menores no período chuvoso.

De um modo geral, neste estudo, as concentrações dos nutrientes variaram com uma tendência a diminuir na estação chuvosa. Provavelmente, ocorreu uma diluição das concentrações destes nutrientes. As concentrações de amônia, nitrito e nitrato nos dois pontos de coleta (entrada e saída), revelou o grande aporte de nutrientes da bacia de drenagem proveniente de ações antropogênicas, evidenciando assim, o grande impacto que essas ações exercem no meio aquático. Segundo MEYBECK et al. (1991), a concentração de nitrato em águas não poluídas é de $0,1\text{mg L}^{-1}$ a 1mg L^{-1} e as

concentrações de nitrito são menores do que 25-50 $\mu\text{g L}^{-1}$. Níveis de nitrato acima de 1 mg L^{-1} , indicam influências antropogênicas, como a introdução de esgotos municipal e o escoamento superficial urbano e da agricultura. Nos pontos de entrada e saída ocorre o predomínio destes três nutrientes em grandes concentrações, com o nitrito apresentando uma menor concentração em ambos os pontos. Portanto fica bem evidenciado que a ação antrópica é muito impactante causando a eutrofização no reservatório

O nitrito é uma forma intermediária entre nitrato e amônia. Seu nível é geralmente elevado onde a concentração de amônia é alta, tal como a introdução de efluente de esgoto ou onde as condições anóxicas estão presentes. A amônia e o nitrato também são introduzidos ao meio aquático via precipitação, provenientes de fontes naturais, como a formação de compostos nitrogenados a partir de fixação atmosférica e sua subsequente oxidação a nitrato, da queimada da vegetação e de combustíveis fósseis (OISHI, 1997).

TABELA 2- Concentrações de amônia, nitrito e nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$), no Rio Atibaia entrada do Reservatório de Salto Grande

Meses	Amônia	Nitrito	Nitrato
Agosto	2105,20	244,14	1301,80
Setembro	1273,10	221,05	1409,20
Outubro	1227,40	305,86	1555,60
Novembro	749,82	173,31	1073,10
Dezembro	464,26	168,98	1046,40
Janeiro	523,05	127,17	898,93

TABELA 3- Concentrações de amônia, nitrito e nitrato ($\mu\text{g L}^{-1}$), na saída do Reservatório de Salto Grande

Meses	Amônia	Nitrito	Nitrato
Agosto	488,24	120,76	1300,20
Setembro	974,39	160,39	946,48
Outubro	447,02	130,09	1011,30
Novembro	325,98	78,65	913,70
Dezembro	518,12	99,40	817,26
Janeiro	391,78	53,13	835,66

6.1.6 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) no Sedimento

Os valores de NTK no sedimento nos quatro pontos de coleta do reservatório estão ilustrados na Tabela 4.

Pode ser observado algumas variações pouco acentuadas durante os meses de julho a fevereiro em cada ponto de coleta. Nos primeiros pontos 2, 3, e 4, os valores obtidos mensalmente tiveram uma tendência não muito acentuadas a diminuir de julho a fevereiro, enquanto que, no ponto de coleta 6 esta tendência foi aumentar. Os maiores porcentagens de NTK foram determinados no ponto 6 quando no mês de fevereiro obteve 0,961%.

TABELA 4- Concentração de nitrogênio total (% em peso seco) no sedimento em quatro pontos do Reservatório de Salto Grande.

Meses	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 6
Julho	0,761	0,772	0,841	0,920
Agosto	0,673	0,606	0,570	0,794
Outubro	0,816	0,814	0,647	0,385
Novembro	0,813	0,658	0,770	0,776
Dezembro	0,730	0,714	0,605	0,872
Janeiro	0,771	0,767	0,800	0,852
Fevereiro	0,729	0,763	0,765	0,961

Os valores de NTK correspondem as concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal. O nitrogênio orgânico corresponde as frações dissolvidas (purinas, peptídeos, aminoácidos, etc.) e particulados (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias e detritos).

O NTK apresentou altas concentrações durante todos os meses no sedimento do reservatório de Salto Grande, onde a desnitrificação pode ter sido elevada devido a decomposição. Segundo GIANOTTI (1994), os sedimentos do fundo da Lagoa do Infernã, tanto na água intersticial como no substrato mostraram concentrações elevadas de NTK. Isso pode influenciar indiretamente o processo de desnitrificação, devido ao processo de amonificação, que resulta da decomposição tanto aeróbia como anaeróbia da parte nitrogenada da matéria orgânica dissolvida e particulada por organismos heterotróficos. O sedimento é o principal sítio de realização deste processo. A amônia por sua vez é nitrificada a nitrato e este reduzido a N_2 .

Em relação ao balanço feito, o fundo do reservatório foi considerado uniforme e estável no decorrer do tempo, quanto a capacidade de absorver nitrogênio. De fato a média de concentração do nitrogênio (nitrogênio Kjeldahl) tem um valor de 0,748% e o desvio padrão de todos os valores medidos nos diversos pontos de coleta mostraram pouca dispersão (coeficiente de variabilidade de 15%). A suposição de uniformidade no sedimento pode ser aceita.

6.2 Análise Quantitativa das Macrófitas Aquáticas

A Tabela 5 e 6 mostra o resultado do peso úmido dos vários indivíduos das duas espécies de macrófitas aquáticas estudadas durante o período de 91 dias.

Em relação ao peso úmido entre as duas espécies de macrófitas *E. crassipes* e *P. stratiotes*, pode-se perceber que no início as populações possuem um peso baixo e aproximadamente após 24 dias estes valores chegam ao seu máximo, sendo que depois no 91º dia os valores decaíram com alguns indivíduos desaparecendo.

As variações temporais de biomassa das duas espécies, observadas durante o período de 91 dias nos cercados montados no reservatório de Salto Grande, estão indicadas na Figura 28.

As maiores biomassas foram registradas no sítio contendo *E. crassipes* enquanto que no "stand" de *P. stratiotes* os valores foram bem menores. O crescimento das duas espécies de macrófitas apresentaram seus maiores valores 24º dia (819,5 g e 239 g respectivamente).

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados das massas médias das duas espécies de macrófitas encontradas no reservatório. Na *Eichhornia crassipes* os indivíduos obtiveram em média 28,5 g. P.S./indivíduo e na *Pistia stratiotes* os indivíduos obtiveram em média 7 g. P.S./indivíduo, o que corresponde ao conteúdo de água de respectivamente 95% e 96%, obtidos em comparação entre as médias de indivíduos dos 4 meses de ensaios de crescimento.

As concentrações de substâncias inorgânicas nos tecidos das plantas afeta toda a cadeia alimentar, pois a absorção dos íons inorgânicos pelas plantas corresponde ao processo básico no ciclo biogeoquímico de qualquer ecossistema (HOWARD-WILLIAMS & JUNK, 1977).

As plantas como produtores primários possuem a necessidade da absorção de nutrientes para sua sobrevivência. Devido ao aumento de descargas de efluentes domésticos e industriais nos corpos de água (reservatório, rios represas, etc) sem um tratamento prévio, estes encontram-se em um processo contínuo de eutrofização.

TABELA 5- Peso úmido (g) de 10 indivíduos (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J) de *E. crassipes*, no período de 91 dias, no Reservatório de Salto Grande.

<i>Eichhornia</i>		Indivíduos					
<i>crassipes</i>							
Tempo (dias)	A	B	C	D	E	F	
0	200	345	540	270	225	550	
24	548	849	936	790	781	779	
56	386	508	972	593	604	851	
91	0	0	477	0	352	481	
	G	H	I	J	MÉDIA		
0	600	320	430	615	409,5		
24	1000	903	939	777	830,2		
56	904	663	762	706	694,9		
91	557	465	133	214	267,9		

TABELA 6- Peso úmido (g) de 10 indivíduos (L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U) de *P. stratiotes* no período de 91 dias, no Reservatório de Salto Grande.

<i>Pistia</i>		Indivíduos					
<i>stratiotes</i>							
Tempo (dias)	L	M	N	O	P	Q	
0	140	160	125	135	170	110	
24	184	180	214	312	384	264	
56	143	182	213	138	265	154	
91	100	128	167	129	216	128	
	R	S	T	U	MÉDIA		
0	140	175	150	95	140		
24	190	319	356	175	257,8		
56	187	250	253	186	197,1		
91	162	245	203	170	164,8		

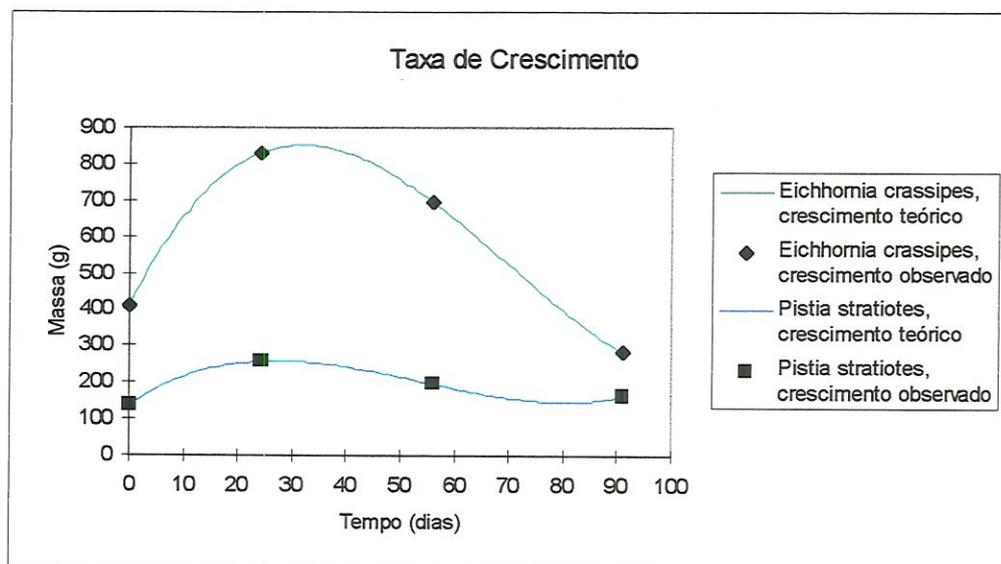


FIGURA 28- Variação de biomassa de duas espécies de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia*), durante 91 dias no reservatório de Salto Grande

TABELA 7- Massa média por espécies (g. P.S./indivíduo) da *E. crassipes* e *P. stratiotes* encontradas no Reservatório de Salto Grande.

Indivíduos	1	2	3	4	5	Média
<i>E. crassipes</i>	12,9	53	26	31,16	19,25	28,5
<i>P. stratiotes</i>	5,7	7,76	10,46	5,2	5,7	7

As plantas aquáticas possuem uma grande capacidade de absorver nutrientes da água e do sedimento que é incorporado a sua biomassa.

WETZEL (1990), observa que a humanidade poderá utilizar em larga escala estas plantas e as comunidades de áreas alagadas para manejar a produtividade pelágica no futuro, devido a sua capacidade de reter seletivamente as cargas dos nutrientes e dos compostos orgânicos que passarem nestas áreas.

Segundo JUNK & MELLO (1987), algumas características são necessárias para que ocorra o crescimento maciço de macrófitas aquáticas, sendo estas: alta capacidade reprodutiva das plantas, grandes quantidades de nutrientes, condições climáticas favoráveis, falta de espécies competidoras, falta de animais herbívoros, pragas e doenças. Todas estas características são semelhantes com o que ocorre no reservatório de Salto Grande, observando aos valores de biomassa das duas plantas verifica-se seus maiores valores já no primeiro mês (24° dia). Através deste aumento de massa em um curto período de tempo, pode-se observar a capacidade que as macrófitas aquáticas possuem em estocar nutrientes, em que parte destes, são devolvidos para o ambiente via excreção e decomposição. Portanto, o constante crescimento e senescência destas plantas, contribuem para a absorção e liberação de nutrientes e compostos orgânicos, que também propiciam o desenvolvimento de comunidades perifíticas, aumentando o dinamismo da ciclagem de nutrientes.

Neste estudo pode-se dizer qual a principal fonte de nutrientes para as duas espécies de plantas em estudo, devido ao alto nível de eutrofização apresentado no reservatório de Salto Grande, sugere-se que a água seja o meio mais importante de fornecimento de nutrientes para as plantas.

Muitos estudos tem demonstrado que as macrófitas aquáticas possuem a capacidade de acumular grandes quantidades de nutrientes, aumentando sua biomassa e a ciclagem no ambiente (GOPAL, 1990).

As duas espécies de macrófitas estudadas (espécies flutuantes) encontram-se em grandes bancos flutuantes e ficam a deriva em todo reservatório, em função do vento. As outras espécies de macrófitas (emersas e submersas) encontram-se em menores

quantidades, as emersas se encontram a montante do reservatório devido as baixas profundidades que ocorrem neste local, enquanto que as submersas em quantidades ainda menores, parecem não ser significativas para a influência do ecossistema do reservatório. O baixo crescimento desta (submersas) espécie no reservatório se deve principalmente à redução da transparência da água que impede a penetração da radiação solar na coluna da água.

6.3 Análise Qualitativa das Macrófitas Aquáticas

6.3.1 Estoque de Nitrogênio Total em *Eichhornia crassipes*

A partir dos resultados do peso úmido e da porcentagem de nitrogênio total na planta inteira, pode-se calcular o quanto a *Eichhornia crassipes* retira por dia de nitrogênio, em termos de g N.d^{-1} , extrapolando-se para kg.N.d^{-1} .

Observando a Figura 28 que representa variação temporal da massa em função do tempo, nota-se um crescimento seguido de decaimento. A taxa de crescimento relevante é a do indivíduo jovem, ou seja, nos primeiros instantes da escala do tempo, a lógica sendo de obter um crescimento sem que a decomposição interfira. Mas o primeiro intervalo do gráfico da figura 28 com cerca de 30 dias não pode ser tomado como intervalo inicial por ser extenso e a decomposição já se fazer notada.

Segundo WETZEL (1983), a biomassa inicial das sementes das macrófitas anuais pode ser desprezado. A biomassa destas plantas aumenta tipicamente segundo uma curva sigmóide durante a estação de crescimento, neste modelo hipotético a produtividade bruta atinge uma plataforma, para declinar a seguir nos tecidos mais velhos (senescência e decomposição).

Efetivamente o intervalo inicial pode ser reduzido como se mostra a seguir. Para isso o conjunto de massa seca (y) em função do tempo de crescimento (x) passa a ser considerado uma função contínua $y(x)$ e esta função é expressa como um polinômio do 3º grau, pois este tipo de polinômio tem 4 parâmetros ajustáveis, número este compatível com 4 pares de dados temporais medidos. Em outras palavras, a massa do indivíduo passa a ser descrita por uma função contínua sendo possível escolher um intervalo inicial menor e mesmo chegar ao ponto de usar um intervalo inicial infinitesimal lançando-se mão da derivada da função. A taxa de crescimento seria então identificada á derivada da função, dy/dx , na qual a razão entre o incremento da massa dy e o intervalo de tempo dx é um valor finito e pode ser facilmente calculado para o instante inicial quando $x = 0$.

- Ajuste do polinômio

Os dados experimentais podem ser tirados da tabela 4 sendo que usando a média do peso úmido y (gramas) em função do tempo x (dias) de um indivíduo:

x (dias)	y (gramas)
0	409,5
24	830,2
56	694,9
91	267,9

Eles devem ser descritos pelo seguinte polinômio:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3,$$

onde y é a massa da macrófita, em gramas e x o tempo em dias.

Usando-se os dados experimentais no polinômio se escrevem as seguintes 4 equações:

$$409,5 = a_0$$

$$830,2 = a_0 + 24a_1 + 24^2a_2 + 24^3a_3$$

$$694,9 = a_0 + 56a_1 + 56^2a_2 + 56^3a_3$$

$$267,9 = a_0 + 91a_1 + 91^2a_2 + 91^3a_3$$

Estas 4 equações são consideradas um sistema de 4 equações a 4 incógnitas, sendo as incógnitas a_0 ; a_1 ; a_2 ; a_3 . Resolvendo o sistema obtêm-se:

$$a_0 = 409,5; a_1 = 30,9328; a_2 = -0,6313 \text{ e } a_3 = 0,003035$$

assim, o polinômio que descreve a massa y da macrófita é:

$$y = 409,5 + 30,9328x - 0,6313x^2 + 0,003035x^3$$

Sua primeira derivada é:

$$dy/dx = 30,9328 + 2 \cdot (-0,6313)x + 3,0003035x^2$$

no instante inicial $x = 0$.

Fazendo esta substituição se tem:

$$(dy/dx)_{x=0} = 30,93$$

Este valor encontrado refere-se a biomassa de um indivíduo típico com valor de 30,93 g d⁻¹.

Cada indivíduo pesa em média 28,5 g (peso seco) e contém 4,01% de nitrogênio total que corresponde a 1,14g N d⁻¹/indivíduo.

Para determinar a massa seca adotou-se a média de massa do indivíduo A da tabela 5, de 283,5 g e se considerou que sua massa seca é de 28,5 g. Isto corresponde a uma porcentagem de massa seca de 10,1%. O acréscimo em termos de massa seca foi de 10,1% da taxa de crescimento de um indivíduo ou seja, 3,109 g de massa seca é acrescentada por dia. Em outras palavras: um indivíduo típico incorpora 3,109 g de massa seca por dia.

A quantidade de nitrogênio retirado do reservatório pelo indivíduo típico por dia se calcula a partir da concentração de N Kjeldahl que é 4,01%.

Os 4,01% dos 3,109 g correspondem a 0,1247 g N retirado por indivíduo/dia. Com uma população de *E. crassipes* ocupando aproximadamente 800000m² e com uma média de 24 indivíduos m⁻² como se calcula da Tabela 8, o total de nitrogênio retirado pela população desta espécie foi de 2394240 g N d⁻¹, equivalendo a 2394 kg N d⁻¹. Este é o valor que a população de *E. crassipes* retira em nitrogênio no reservatório por dia mas, não sendo colhida e removida do reservatório, com a morte dos indivíduos o nitrogênio volta à água.

6.3.2 Estoque de Nitrogênio Total em *Pistia stratiotes*

Para a determinação da retirada de nitrogênio total pela *Pistia stratiotes* foi utilizado o mesmo método realizada para a *Eichhornia crassipes*.

- Ajuste do polinômio

Os dados experimentais são retirados a partir da tabela 6, em que é usada a média do peso úmido y (gramas) em função do tempo x (dias) de um indivíduo:

x (dias)	y (gramas)
0	140
24	257,8
56	197,1
91	164,8

Eles devem ser descritos pelo polinômio:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

onde y é a massa da macrófita, em gramas e x o tempo em dias.

Usando os dados experimentais se escrevem as seguintes 4 equações:

$$140 = a_0$$

$$257,8 = a_0 + 24a_1 + 24^2a_2 + 24^3a_3$$

$$197,1 = a_0 + 56a_1 + 56^2a_2 + 56^3a_3$$

$$164,8 = a_0 + 91a_1 + 91^2a_2 + 91^3a_3$$

Estas 4 equações também são consideradas um sistema de 4 equações a 4 incógnitas, sendo as incógnitas a_0 ; a_1 ; a_2 ; a_3 . Resolvendo o sistema obtêm-se:

$$a_0 = 140; a_1 = 9,8343; a_2 = -0,2413 \text{ e } a_3 = 0,001495$$

onde, a massa y da macrófita é:

$$y = 140 + 9,8343x - 0,2413x^2 + 0,001495x^3$$

Sua primeira derivada é:

$$dy/dx = 9,8343 + 2.(-0,2413)x + 3.0,001495x^2$$

no instante inicial $x = 0$.

Fazendo esta substituição se tem:

$$(dy/dx)_{x=0} = 9,83$$

Assim cada indivíduo desta espécie cresce a uma taxa de $9,83 \text{ g d}^{-1}$. Um indivíduo típico desta espécie pesa em média 7 g (peso seco) e contém $3,49\%$ de nitrogênio total que corresponde a $0,244 \text{ g N d}^{-1}$ /indivíduo.

Para a determinação da massa seca nesta espécie, foi adotado a massa média do indivíduo L da tabela 6 que foi de $141,75 \text{ g}$ e considerando que a sua massa seca é de 7 g , determinou-se que cada indivíduo teve um acréscimo de $4,93\%$. O acréscimo de massa seca por indivíduo por dia foi de $4,93\%$ da sua taxa de crescimento ($9,83 \text{ g d}^{-1}$) que corresponde a $0,484 \text{ g}$ de massa seca incorporada por dia.

A quantidade de nitrogênio sequestrado por indivíduo por dia são os $3,49\%$ dos $0,484 \text{ g}$ de nitrogênio que são retirados do reservatório ou $0,0168 \text{ g N}$ sequestrado por indivíduo por dia.

A população de *P. stratiotes* no reservatório ocupa em torno de 500000 m^2 com uma média de 48 indivíduos m^{-2} calculado através da Tabela 8. O valor total desta espécie foi de $403,2 \text{ kg N d}^{-1}$.

Os resultados determinados neste estudo demonstram que a capacidade de absorção de nitrogênio na *E. crassipes* foi superior ao encontrado na *P. stratiotes*, talvez devendo-se ao tamanho das raízes que na primeira espécie é bem maior e possuindo portanto uma maior área de absorção.

A produção primária da *E. crassipes* e da *P. stratiotes* foi calculado a partir da multiplicação da taxa de crescimento pelo número de indivíduo/m², onde cada produto foi multiplicado pela sua massa seca 10,1% e 4,93% respectivamente. O resultado final foi dividido por 2, pois o carbono é aproximadamente 50% da massa seca, obtendo assim uma produção primária de 18,74 g C m⁻² d⁻¹ para a *E. crassipes* e 5,81 g C m⁻² d⁻¹ para *P. stratiotes*.

O campo de *E. crassipes* e *P. stratiotes* crescem 296,9.10⁶ g d⁻¹ e 117,9.10⁶ g d⁻¹ respectivamente, correspondendo a um crescimento diário de 414,8 toneladas.

TABELA 8 - Número de indivíduos das duas espécies de macrófitas por amostragem de 0,25m² (quadrado), no Reservatório de Salto Grande

Espécies	Quadrado	Quadrado	Quadrado	Quadrado	Quadrado	Média
	A	B	C	D	E	
<i>Eichhornia crassipes</i>	13	2	1	6	8	6
<i>Pistia</i>	16	12	12	10	10	12

ESTEVEES & CAMARGO (1986), determinaram que os estudos sobre o papel das macrófitas aquáticas na ciclagem dos nutrientes e na sua capacidade de absorção é de grande importância para os cálculos do estoque de nutrientes que as plantas representam para o ambiente, bem como para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos.

A capacidade de absorção encontrada nas macrófitas neste trabalho foi de 2394 kg N d⁻¹ para a *Eichhornia crassipes* e 403,2 kg N d⁻¹ para a *Pistia stratiotes*.

Uma outra questão a ser discutida sobre a dinâmica de nutrientes nas plantas aquáticas são suas implicações para o manejo da qualidade da água. Em que uma das formas seria a remoção mecânica das plantas, retirando-se assim os nutrientes contidos em sua biomassa.

As duas espécies, *E. crassipes* e *P. stratiotes*, no reservatório todo, crescem a uma taxa de cerca de 800000 kg de biomassa d^{-1} , que contém 2797 kg de N. Por questões práticas se poderia almejar colher a metade desta produção, por exemplo confinando as macrófitas nos 30% da área a montante e utilizando maquinário já existente. Com isto seria necessário colher um volume diário correspondente à carga de 27 caminhões ou 207 toneladas quantidade admitidamente grande. Fica assim o desafio de achar um uso para tal quantidade de biomassa para viabilizar a operação. Se for colhida a metade da produção estaria "limpando" o ambiente a uma taxa de 1400 kg de N por dia que é cerca de 16% da entrada fluvial deste nutriente. Segundo (ESTEVES & CAMARGO, 1986) nos trópicos, as estações não são definidas, não ocorre um padrão marcante, ocorrendo crescimento constante dos indivíduos durante todo o ano, diferente das macrófitas de regiões temperadas, onde as estações do ano são bem definidas e os ciclos de vidas são bem definidos, com morte no outono e crescimento na primavera.

Um outro método que poderia ser utilizado para a retirada de macrófitas aquáticas no reservatório de Salto Grande seria o emprego de controles químicos, como a aplicação de herbicidas. Mas este método, geralmente utilizado em ambientes aquáticos já se mostrou impróprio devido a seus resultados quase sempre negativos, pois além de afetar as plantas também atinge toda a comunidade aquática. As plantas que morrem através deste processo sofrem decomposição liberando os nutrientes de volta para o meio fazendo com que estas cresçam novamente. Alguns autores como JUNK & NUNES DE MELLO (1987), atentam para o fato de que este método além de ser caro, pode com o tempo afetar todo o sistema em que foi utilizado, como a intoxicação do ambiente aquático e até mesmo o homem.

6.4 Determinação da Massa de Sílica e suas Taxas de Sedimentação nas Armadilhas

A determinação da massa de SiO_2 nas armadilhas no reservatório de Salto Grande foram realizadas durante 4 meses, como mostra a Tabela 9.

Em 24 horas no mês de maio foram recolhidas 43.10^{-3} g de SiO_2 em armadilha com uma área de $0,00785 \text{ m}^2$ apresentando uma taxa de sedimentação (Q) de $5,47 \text{ g Si m}^{-2}\text{d}^{-1}$. No mês de junho as armadilhas recolheram 39.10^{-3} g de SiO_2 com uma taxa de sedimentação de $4,96 \text{ g Si m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Em julho foram recolhidas 43.10^{-3} g de SiO_2 nas armadilhas com taxa de $5,47 \text{ g Si m}^{-2}\text{d}^{-1}$. As armadilhas do mês de agosto de mesma área das anteriores recolheram $50,1.10^{-3}$ g de SiO_2 com uma taxa de $6,38 \text{ g Si m}^{-2}\text{d}^{-1}$.

As coletas de sedimento recente, por meio das armadilhas, produziram quantidades variáveis e em apenas um quarto das coletas foram obtidos materiais suficiente para uma análise confiável.

TABELA 9- Determinação da massa de SiO_2 nas armadilhas recolhidas em 4 coletas e suas taxas de sedimentação, no Reservatório de Salto Grande, com período de amostragem de 24h.

DATA	MASSA do SEDIMENTO RECOLHIDO (g)	SiO_2 em 50mg de SEDIMENTO (mg)	TAXA de SEDIMENTAÇÃO (Q) $\text{g SiO}_2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$	PONTOS de COLETAS
22/05/96	1,91	43,00	5,47	2
	1,54			3
	0,43			4
	0,73			6
24/06/96	1,61	39,00	4,96	2
	1,42			3
	0,55			4
	0,58			6
16/07/96	1,58	43,00	5,47	2
	1,32			3
	0,32			4
	0,45			6
20/08/96	1,32	50,1	6,38	2
	1,11			3
	0,64			4
	0,82			6

6.4.1 Determinação de Sílica no Sedimento

Na quantificação da sílica (primeiros 12cm) no sedimento nos 4 compartimentos, pode-se perceber, que houve uma uniformidade nos resultados. Apenas o ponto 4 apresentou valores menos uniformes durante os meses analisados como mostra a Figura 29.

Os resultados de sílica no sedimento (C) nos 4 meses analisados estão descritos na Tabela 10.

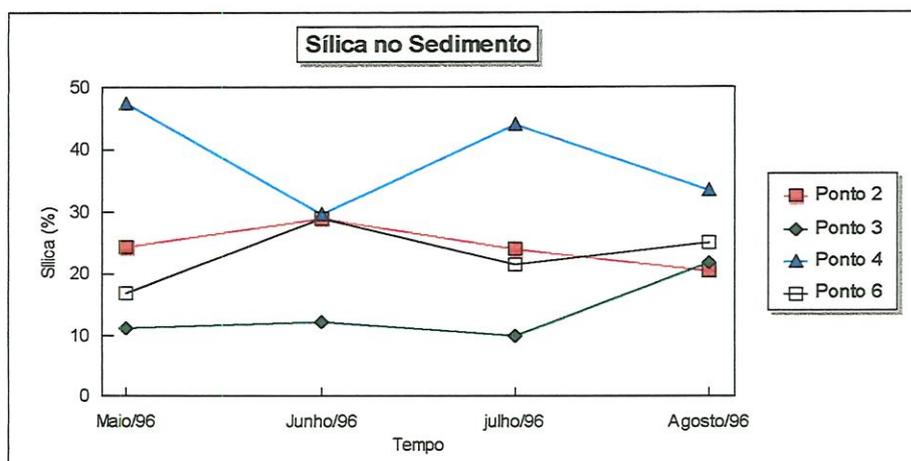


FIGURA 29- Quantificação da sílica no sedimento (%) nos 4 compartimentos do Reservatório de Salto Grande

Comentando a sílica no sedimento e situando o valor determinado para junho/96, nota-se que para cada ponto se obteve essencialmente um único valor nas quatro análises o que indica que o sedimento não muda de mês para mês.

A sílica se torna-se relativamente imóvel a valores de pH inferiores a 3, mas a sua mobilidade aumenta um pouco quando o seu pH fica em torno de 4 e 9 (WETZEL, 1983). Portanto, no reservatório de Salto Grande uma outra observação a ser feita, é que a imobilidade da sílica ocorre devido aos baixos valores de pH no sedimento.



TABELA 10- Resultado dos valores das taxas de sedimentação da sílica, quantidade de sílica no sedimento e as taxa de sedimentação permanente nos meses de maio a agosto no Reservatório de Salto Grande

Mês	Taxa de Sedimentação (Q) g SiO ₂ m ⁻² d ⁻¹	Sílica no Sedimento (C) g SiO ₂ kg ⁻¹	Taxa de Sedimentação Permanente (T) (contendo 0,728%N) kg m ⁻² d ⁻¹
Mai/96	5,47	271	0,0202
Junho/96	4,96	160	0,0310
Julho/96	5,47	285	0,0192
Agosto/96	6,38	295	0,0216

6.4.2 Cálculo da Taxa de Sedimentação Permanente

A taxa de sedimentação permanente T (kg m⁻² d⁻¹) no reservatório estudado, no período de maio a junho, foi calculada dividindo-se as taxas de sedimentação da sílica Q (g SiO₂ m⁻² d⁻¹) pela sua quantidade no sedimento C (g SiO₂ kg⁻¹). Os valores de T obtidos estão demonstrados na Tabela 10.

Os valores encontrados de (T), para os diversos meses são parecidos ocorrendo uma perda para o sistema e para o mês de junho observa-se um pequeno aumento nesta taxa (T).

No reservatório de Salto Grande a perda permanente de sílica para o sedimento se deve basicamente a produtividade das diatomáceas que acumulam um grande número de frústulas (carapaças) que se depositam nos sedimentos e ficam permanentemente perdidas para o sistema.

A sílica (SiO₂) é em geral medianamente abundante na água doce e embora seja relativamente pouco reativa, é da maior importância para as algas diatomáceas, pois elas assimilam grandes quantidades de silício para a síntese de suas carapaças. O silício é

um elemento importante que influencia a produção das algas em muitos lagos, sendo que, a utilização da sílica pelas diatomáceas modifica as taxas de fluxo deste composto nos lagos e corpos de água. A disponibilidade da sílica pode exercer uma forte influência sobre o padrão geral da sucessão das algas e da produtividade nos lagos (WETZEL, 1983).

6.5 Balanço Estimado de Nitrogênio para o Reservatório de Salto Grande

6.5.1 Estimativa de Nitrogênio nos Vários Compartimentos do Reservatório

No reservatório de Salto Grande os bancos de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia*) apresentaram as taxas mensais de retirada de nitrogênio no reservatório (71820 kg N mês⁻¹ e 12096 kg N mês⁻¹ respectivamente). Para a obtenção destas taxas por mês, para cada espécie, multiplicou por 30 os valores de nitrogênio retirado por dia já citados anteriormente. Porém, estes são valores de circulação interna na "caixa preta" e não constituem eliminação do sistema.

Os valores de sedimentação do nitrogênio determinado nos meses de maio, junho, julho e agosto no reservatório foram: 66,15.10³, 101,2.10³, 63.10³ e 70,6.10³ kg N mês⁻¹ respectivamente. A média mensal de retirada de nitrogênio determinado no sedimento do reservatório foi de 75,23.10³ kg N mês⁻¹, enquanto o nitrogênio disponível na coluna de água no reservatório foi de 266.5.10³ kg N mês⁻¹.

Os maiores valores de nitrogênio encontrado dissolvido na coluna de água do reservatório de Salto Grande se deve principalmente ao rio Atibaia, sendo este, o principal contribuinte para o aporte de nutrientes.

6.5.2 Dinâmica do Nitrogênio no Metabolismo do Reservatório

Nas Tabelas 11 e 12 mostram os resultados de desprendimento de nitrogênio através da desnitrificação e o balanço estimado do nitrogênio no reservatório respectivamente.

Em relação a desnitrificação nos quatro pontos de coleta do reservatório, pode-se perceber que em todos os meses os maiores valores foram encontrados nos pontos 2 e 3, no mês de setembro o ponto 2 apresentou o maior valor de desnitrificação ($39,30 \text{ kg km}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Os menores valores foram encontrados nos pontos 4 e 6, sendo que no ponto 6 não foi encontrado nenhuma desnitrificação.

Para chegar a estes valores foram adotados alguns valores fixos como: área do reservatório (15.10^6 m^2), vazão média (34000 L s^{-1}), área dos pontos de coletas (ponto 2) $1,6 \text{ km}^2$, (pontos 3, 4 e 6) $2,0 \text{ km}^2$.

A desnitrificação determinada neste trabalho, está ligada aos gases liberados pelo sedimento, que em altas taxas de decomposição e em condições apropriadas faz com que ocorra a formação de bolhas que vão para coluna da água. Quando o ambiente aquático se encontra em estado de eutrofização, a decomposição anaeróbia no sedimento da matéria orgânica faz com que ocorra uma maior produção de gases e estes são liberados para atmosfera, entre estes gases estão o metano, nitrogênio, hidrogênio e gás carbônico. Portanto, a liberação de bolhas de gases realizados no sedimento devem estar relacionados aos níveis tróficos de cada ambiente aquático.

Através das análises cromatográficas no ponto 2, pode-se analisar os gases liberados através de bolhas devido aos valores desprendidos de nitrogênio (Tabela 11). Por ser, um local de grande ocorrência de decomposição anaeróbia o processo de desnitrificação se torna elevado. Neste local ocorre o encontro do rio Atibaia com o reservatório que acarreta uma grande carga de matéria orgânica e faz com que esta região seja a mais eutrofizada do reservatório.

A contribuição mais importante da entrada de nitrogênio no reservatório de Salto Grande foi através do afluente do rio Atibaia e as saídas mais importantes de nitrogênio se deram através do efluente, sedimentação e via desnitrificação (perda para o ar). Um balanço realizado no Lago Mendota, Wisconsin em 1972 demonstrou que as perdas mais importantes de nitrogênio ocorreram via sedimentação, desnitrificação e através de efluentes.

Para a descrição do balanço completo dos processos biológicos deveria também ser considerado a fixação dos bancos de macrófitas aquáticas e bactérias na interface sedimento-água. Porém neste trabalho está sendo suposto que todas as entradas somadas são iguais a todas as saídas havendo assim um balanço nulo, com esta suposição é possível calcular a parcela não medida que é a fixação.

Através dos resultados analisados de desnitrificação no reservatório de Salto Grande, observa-se que houve uma alta variação nos 4 compartimentos (pontos 2, 3, 4 e 6), demonstrando uma elevada dinâmica entre estes locais. Uma das causas das variações da taxa de desnitrificação esta relacionada as concentrações de oxigênio, sendo que este processo sempre ocorre em baixas concentrações de oxigênio dissolvido ou em anaerobiose.

Alguns trabalhos realizados relacionando o efeito do oxigênio na desnitrificação demonstraram que para ocorrer este processo as concentrações devem estar em torno de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$. CHAN & CAMPBELL (1980), estudando a água no Lago 227 determinaram que o processo de desnitrificação ocorreu somente quando as concentrações de oxigênio dissolvido foram menores que $0,2 \text{ mg L}^{-1}$.

Neste estudo, observa-se que as maiores taxas de desnitrificação ocorreram nos pontos onde a água apresentou as menores concentrações de oxigênio dissolvido, um exemplo é o ponto 2 que se mostrou em alguns meses concentrações abaixo de 1 mg L^{-1} . Enquanto que no ponto 6 as concentrações de oxigênio se apresentaram muito maiores e o processo de desnitrificação não ocorreu em nenhum dos meses analisados.

No ponto 2 predomina uma alta taxa de desnitrificação e baixas concentrações de oxigênio devido a grande aporte de matéria orgânica pelo rio Atibaia, afetando assim,

esta região. Já o ponto 6 que se localiza no outro extremo do reservatório (próximo a barragem), as elevadas concentrações de oxigênio e a ausência da desnitrificação podem estar relacionados a capacidade de autodepuração do reservatório. O decaimento gradual da desnitrificação do ponto 2 para o ponto 6 em alguns meses, demonstram nitidamente esta capacidade do reservatório de Salto Grande.

TABELA 11- Desprendimento do nitrogênio gasoso via desnitrificação no Reservatório de Salto Grande

Mês	Nitrogênio desprendido $\text{kg km}^{-2} \text{d}^{-1}$	Pontos de coletas
Abril/96	8,80	2
	3,98	3
	0	4
	0	6
Maio/96	13,50	2
	3,60	3
	1,10	4
	0	6
Junho/96	11,90	2
	—	3
	0	4
	0	6
julho/96	30,20	2
	16,82	3
	4,10	4
	0	6
Agosto/96	11,85	2
	0,46	3
	9,16	4
	0	6
Setembro/96	39,30	2
	10,22	3
	0	4
	0	6
Outubro/96	53	2
	16,83	3
	0	4
	0	6
Novembro/96	9,50	2
	4,20	3
	0	4
	0	6

Para a obtenção das taxas de liberação de N_2 via desnitrificação para cada mês, multiplicou os valores de nitrogênio desprendido de cada ponto pela suas respectivas áreas e somando estes valores determinou-se as vias de desnitrificação.

Outro método para efetuar balanços seria um modelo em que se baseia um balanço de massa do nitrogênio e do fósforo em todo o lago em que as entradas hidrológicas de ambos os elementos através da água de infiltração, precipitação, escoamento superficial, fixação do nitrogênio e as saídas através dos efluentes são quantificados, bem como as variações de estocagem na coluna d'água e nas macrófitas (WHITAKER, 1993). Com a estimativa das taxas de sedimentação do nitrogênio e do fósforo e da relação N:P no sedimento, assumindo que todo o fósforo retido no lago é sedimentado, podem ser calculadas as perdas líquidas do nitrogênio, causadas pela desnitrificação (MESSER & BREZONIK, 1982). Neste modelo também existem dificuldades para sua estimativa devida as incertezas em estimar as taxas de fixação do nitrogênio e os fluxos, podendo assim ocorrer uma estimativa muito alta no cálculo das taxas de desnitrificação.

TABELA 12- Balanço estimado de nitrogênio para o Reservatório de Salto Grande em 4 meses

Mês	Entrada kg N mês ⁻¹	Saídas kg N mês ⁻¹			Balanço Entrada - Saída kg N mês ⁻¹
		Rio Atibaia	Efluente	Sedimentação	
22/05/96	339,1.10 ³	173,7.10 ³	66,15.10 ³	31.10 ³	-68,2.10 ³
24/06/96	264,3.10 ³	189,3.10 ³	101,2.10 ³	19,4.10 ³	45,6.10 ³
16/07/96	281,1.10 ³	144,5.10 ³	63,0.10 ³	90,1.10 ³	16,5.10 ³
20/08/96	181,7.10 ³	120,0.10 ³	70,6.10 ³	38,2.10 ³	47,1.10 ³
Média	266,5.10 ³				10,25.10 ³

- Taxa de fixação (F) por unidade de área

$$F = \frac{\text{Média do Balanço}}{(\text{Área do Reserv.}) \cdot 30}$$

$$F = \frac{10,25 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^6 \cdot 30}$$

$$F = 0,0000227 \text{ kg N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$$

$$F = 22,7 \text{ mg} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$$

Para HARPER (1992), fica claramente demonstrado a relativa importância do processo de fixação para o ciclo do nitrogênio. Os incrementos do nitrogênio aceleram as taxas de ciclagem e o ritmo do ciclo deste bioelemento, nas suas interações como um todo com o ecossistema. Um exemplo, na região dos grandes lagos o nitrogênio atmosférico contribui com uma taxa aproximada de $1 \text{ g N m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ que corresponde a uma quantidade necessária de nitrogênio para transformar um lago raso de cinco metros, de uma produtividade moderada para alta (WETZEL, 1983).

A fixação determinada neste trabalho foi de $123 \cdot 10^3 \text{ kg N a}^{-1}$ o que corresponde a $22,7 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Este valor corresponde a 3,8% do valor de nitrogênio total que entra pelo sistema através do rio Atibaia.

HOWARTH et al. (1988), estudando alguns lagos determinou que em lagos oligotróficos e mesotróficos menos de 1% do total de nitrogênio que entra é fixado não contribuindo para as produtividades primárias nestes lagos, mas em lagos eutrofizados esta fixação fica em torno de 6% a 82% do total da entrada de nitrogênio.

OISHI (1996), realizando um balanço de nutrientes para o sistema do reservatório de Barra Bonita, determinou que da carga total de nitrogênio total que é introduzido no reservatório, 68% é exportado através do efluente e 32% fica retido no reservatório.

Considerando o valor da fixação encontrada no presente trabalho (3,8%) e a faixa de valores de fixação determinada por HOWARTH et al. (1988) em lagos eutrofizados, pode-se portanto, aferir que o reservatório de Salto Grande está ligeiramente abaixo da faixa, fato provavelmente devido a extrema eutrofização em que se encontra.

Neste trabalho foi usada a suposição que todo nitrogênio gasoso desprendido em bolhas provinha da desnitrificação. Porém, sendo esta suposição discutível, foi feito o balanço sem incluir o desprendimento de N_2 por bolhas, ou seja admitindo que não haja desnitrificação com isto, é obtido um limite superior da taxa de fixação, ela é de 12,9% do valor dado acima, correspondendo a $413,4 \cdot 10^3 \text{ kg N a}^{-1}$ ou $76,5 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

7. CONCLUSÕES

- Para fins estéticos, lazer, navegação, produção de energia e outros, a retirada das plantas no reservatório de Salto Grande seria de grande importância para estas múltiplas finalidades. Quanto ao nível de melhoria da qualidade da água através da saída adicional de N_2 da "caixa preta" através da remoção de macrófitas seria menor de 16% da entrada de N_2 no sistema se a colheita fosse feita a uma taxa igual à metade da taxa de crescimento das macrófitas. A retirada da metade desta produção diária seria de 207 toneladas.
- A taxa de produção primária das macrófitas foram: *Eichhornia crassipes* $18,74 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e a *Pistia stratiotes* $5,81 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.
- A *Eichhornia crassipes* e a *Pistia stratiotes* crescem respectivamente a uma taxa de 30,93 e 9,83 g por dia por indivíduo. O total de nitrogênio retirado pelas populações de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* foram respectivamente, 2394 kg N d^{-1} e $403,2 \text{ kg N d}^{-1}$.
- A capacidade do sedimento em absorver nitrogênio foi basicamente uniforme, com uma média de concentração de nitrogênio de 0,748% entre os pontos de coletas e um coeficiente de variabilidade de 15%, fica justificado a suposição da uniformidade em toda extensão do reservatório.
- A taxa de formação permanente de sedimento encontrada foi de $22,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Isto corresponde a um assoreamento de cerca de 8 mm por ano.
- A contribuição mais importante da entrada de nitrogênio no reservatório de Salto Grande foi através do rio Atibaia de $266,5 \cdot 10^3 \text{ kg N mês}^{-1}$.

- Usando o valor da fixação do N_2 determinado de $123.10^3 \text{ kg N a}^{-1}$ ou $22,7 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ no presente balanço e comparando com o orçamento de N_2 do reservatório, ou seja, do total de nitrogênio que entra no reservatório 3,8% constitui fixação.

- Admitindo à ausência da desnitrificação obtêm-se uma fixação do N_2 determinado de $413,4.10^3 \text{ kg N a}^{-1}$ ou $76,5 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ com um limite superior da taxa de fixação anterior de 12,9%.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, A. A. ; GOMES, L. C. (1997). Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. Maringá. Ed. UEM. p19-34.
- ASHTON, P. J. (1985). Nitrogen transformation and the nitrogen budget of a hypertrophic impoudment. *J. Limnol. Soc. Sth. Afr*, p32-42.
- BITAR, A. L.; BIANCHINI, I. (1994). Efeito do teor de matéria orgânica dissolvida sobre as taxas de seus processos de mineralização. Anais do Seminário: Qualidade de Águas Continentais no MERCOSUL. ABRH. Porto Alegre. v.2: p.311-329.
- BLOESCH, J. ; BURNS, N. M. (1980). A critical review of sedimentation trap technique. *Schweis-Zeitschr Hydrol*. v.42, p.15-55.
- BURNS, R. C. ; HARDY, R.W.F. (1975). *Nitrogen fixation in bacteria and higher plants*. New York, Springer-Verfag,. 187p.
- CHAN, Y. K. ; CAMPBELL, E. R. (1980). Denitrification in Lake 227 during summer stratification. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*. v.37: p.506-512.
- COELHO, M. P. (1993). *Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana-SP*. Rio Claro. 133p. Dissertação (Mestrado)., Universidade Estadual Paulista.
- CONNELL, D. W. ; HAWKER, D. W. (1991). *Pollution in Tropical Aquatic Systems*. Boca Raton, CRC Press, Inc. p.39-43.

- COUTINHO, M. E. ; BARBOSA, F. A. R. (1986). Distribuição vertical de matéria orgânica, nitrogênio orgânico total, fósforo total e algumas formas iônicas nos sedimentos recentes de 3 lagos de Minas Gerais. *Acta. Limnol.* v.1: p.401-429.
- DAVIS, C. B. ; VAN DER VALK, A. G. (1983). Uptake and release of nutrients by living and decomposing *Typha glauca*. Tissues at Eagle Lake. Iowa. *Aquat. Bot.* v.16. p.75-89.
- ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência. 574p.
- ESTEVES, F. A. ; CAMARGO, A. F. M. (1986). Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. *Acta Limnol. Bras.* v.1: p.273-298.
- FERESIN, E. G. (1991). *Nitrificação em uma Lagoa Marginal do Rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã, Estação Ecológica de Jataí-Luiz Antônio, SP)*. São Carlos. 169p. Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal de São Carlos.
- GIANOTTI, E. P. (1994). *Desnitrificação em uma Lagoa Marginal do Rio Mogi-Guaçu, Lagoa do Infernã (Estação Ecológica do Jataí-Luiz Antônio, SP)*. São Carlos. Tese (Doutorado).- p.298. Universidade Federal de São Carlos.
- GOLTERMAN, H. L. ; CHYNO, R. S. ; OHNSTAD, M.A.M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. (IBP,8), Blackweel Scientific. 213p.
- GOPAL, B. (1990). Biology and ecology. In; Patten, B. C. (Ed.) *Wetlands and shallow continental water bodies*. Vol. 1- natural and human relationships. SBP publishers.
- HARPER, D. (1992). *Eutrofication of Freshwaters*. London, Chapman & Hall. 327p.

- HENRY, R. (1990). Estrutura espacial e temporal do ambiente físico-químico e análise de alguns processos ecológicos na Represa de Jurumirim (rio Paranapanema - SP) e sua bacia hidrográfica. Tese de Livre Docência. p.242. UNESP, Botucatu.
- HORN, W. ; HORN, H. (1990). A simple and reliable method for the installation an sediment traps in lakes. *Int. Review ges Hydrobiol.* v.75. p.267-270.
- HOWARD-WILLIAMS, C. ; JUNK, W. J. (1977). The chemical composition of Central amazonian aquatic macrophytes with special reference to their role in the ecosystem. *Arch. Hydrobiol.*, v.79. p.446-464.
- HOWARTH, R. W. et al. (1988). Nitrogen fixation in freshwater, estuarine and marina ecosystems, Rates and importance. *Limnol. Oceanogr.* v.33. p.669-687.
- HUTCHINSON, G. E. (1975). *A treatase on limnology: chemistry of lakes*. New York, John Wiley. v.1. pt.2.
- JACKSON, M. L. (1958). Soil chemical analysis. Englewood cliffs, N.J. Prentice-hall, INC.
- JUNK, W. J. ; NUNES DE MELLO, J. A. S. (1987). Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Tubinger Geograph. Stud.*, v.95: p.367-385.
- KMOWLES, R. (1982). Denitrification. *Microbial. Rev.* v.46: p.43-70.
- KOROLEFF, F. (1976). *Determination of nutrients*. In: GRASSHOFF, K. *Methods of seawater analysis*. Weinhein. Verlog. Chemic. p.117-181.

- LEMOS, R. M. A. (1995). Ensaio de decomposição de *Nephrocistium lunatum* W. West (chlorophyceae) e de *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth (cyperaceae) da lagoa do Infernã. São Carlos. 169p. Dissertação (Mestrado). - Departamento de Hidrobiologia. UFSCar.
- MACKRETH, F. J. H. ; HERON, J. ; TALLING, J. F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologist*. Kendall. Titus Wilson & Sons Ltd. 117p. (Freshwater Biological, 36).
- MARGALEF, R. (1983). *Limnologia*. Barcelona, Omega. 1040p.
- MARGALEF, R. (1975). Typology of reservoirs. Verh. Int. Verein theor. Angew. Limnol. v.19: p.1841-1848.
- MELETTI, P. C. (1997). Avaliação da qualidade da água na bacia da rio Piracicaba através de testes de toxicidade aguda com peixes. São Carlos. 148p. Dissertação (Mestrado).- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MESSER, J. ; BREZONIK, P. L. (1982). Comparison of denitrification rate estimation techniques in a large shallow lake. Water Res. v.17: p.631-640.
- MEYBECK, M. ; CHAPMAN, D. V. ; HELMER, R. (1991). Global freshwater quality a first assessment. Published on behalf of the World Health Organization and the United Nations Environment Programme by Blackwell reference. 360p.
- NOGUEIRA, F. M. B. (1989). Importância das macrófitas aquáticas *Eicchornia azurea* e *Scirpus cubensis* na ciclagem da nutrientes e nas principais características limnológicas da lagoa do Infernã (SP). São Carlos p.147. Dissertação (Mestrado). - Departamento de Ciências Biológicas. UFSCar.

ODUM, E. P. (1988). *Ecologia*. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Koogan S.A. 434p.

OHLE, W. (1978). *Ebulition of gases sediment, condition and relationship the primary production of lakes*. Verth. Int. p.957-962.

OISHI, M. K. (1997). Caracterização 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). São Carlos. p.198. Tese (Doutorado).- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLSEN, K. R. ; ANDERSEN, F. O. (1994). *Nutrient cycling in shallow, oligotrophic Lake Kvie, Denamark*. Hydrobiologia, v.275/276, p.255-265.

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). São Carlos. p.108. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

SANTOS, J. E.(1981). *Fixação de N₂ em rizosfera de macrófitas aquáticas (Represa do Lobo), Brotas-Itirapina (SP)*. São Carlos. p.158. Tese (Doutorado).- Depto. de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos.

SEITZINGER, S. P. (1988). Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical significance. Limnol. Oceanogr. v.33, p.702-724.

SHUM, K. T. ; SUNDBY, B. (1996). *Organic Matter processing in continental shelf sediments. The subtidal pump revisited*. Marine Chemistry, v.53, p.81-87, Jul.

- STEWART, W. P. P. (1968). *Nitrogen input into aquatic ecosystems*. In: JACKSON, D.F., Ed. *Algae, man and environment*. New York, Syracuse University pp.53-72.
- STRASKRABA, M. (1973). *Limnological basis for modelling reservoir ecosystems*. Geophysical Monograph Series. v.17, p.517-535.
- TRINDADE, M. (1980). *Nutrientes em sedimento da represa do Lobo (Brotas-Itirapina, SP)*. São Carlos. 220p. Tese (Mestrado).- Univesidade Federal de São Carlos.
- WETZEL, R. G. (1983). *Limnology*. Philadelphia, Saunders. 767p.
- WETZEL, R. G. (1990). Land-water interfaces: Metabolic and limnological regulators. *Verth. Internat. Verein. Limnol.* v.24, p.6-24.
- WETZEL, R. G. ; LIKENS, G. E. (1991). *Limnological Analysis*. New York, Springer Verlag. 391p.
- WHATLEY, F. R. (1981). Dissimilatory nitrate reduction. In: Bothe, and Trebst A. Eds. *Biology of Inorganic Nitrogen and Sulphur*. Springer-verlag, Berlim. pp.64-77.
- WHITAKER, V. A. (1993). *A área alagada da represa do Lobo (Itirapina - SP): os processos ecológicos associados ao potencial de desnitrificação dos sedimentos*. São Carlos, Tese (Doutorado).- Universidade de São Paulo.