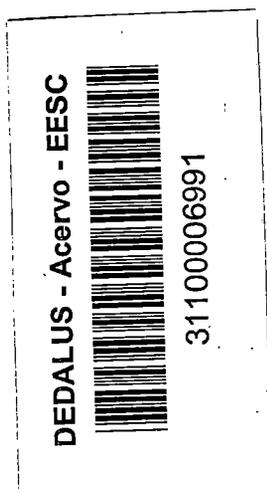


**VARIAÇÃO ANUAL DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA E  
ESTRUTURA DA COMUNIDADE  
FITOPLANCTÔNICA NO RESERVATÓRIO DE  
SALTO GRANDE (AMERICANA – S.P.)**



**Ricardo Tezini Minoti**

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

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria do Carmo Calijuri

São Carlos  
1999

|        |            |
|--------|------------|
| Class. | TESE - EEX |
| Cutt.  | 3668       |
| Tombo  | 238/99     |

31100006991

S/S 1053740

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

M666v Minoti, Ricardo Tezini  
Variação anual da produção primária e estrutura da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana-SP) / Ricardo Tezini Minoti. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maria do Carmo Calijuri.

1. Reservatório. 2. Hipereutrófico.  
3. Fitoplâncton. 4. Produção primária. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

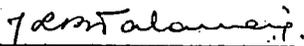
Candidato: Bacharel **RICARDO TEZINI MINOTI**

Dissertação defendida e aprovada em 28-05-1999  
pela Comissão Julgadora:



---

Profa. Doutora **MARIA DO CARMO CALIJURI (Orientadora)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Profa. Doutora **JANDIRA LIRIA BISCALQUINI TALAMONI**  
(UNESP - Campus de Bauru)



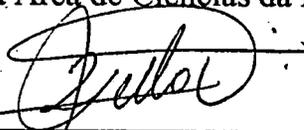
---

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



---

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



---

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

*As águas do Lago*

*As águas do lago viam-se amiúde com o liso  
encrespado por assomos passageiros de brisas  
leves. Paz e doçura. A calma da Natureza que o  
homem ainda não industrializou.*

*Nós homens nos afastamos em excesso da  
Natureza. Metemo-nos a criar coisas – e hoje nos  
sentimos infelizes com a nossa escravização a essas  
coisas criadas.*

*José Bento Monteiro Lobato*

*Dedico este trabalho  
aos meus pais, Antonio Carlos e Maria José  
ao meu amor, Ariuska  
aos meus avós Lucas (in memoriam) e Menita pela  
convivência ao longo dos anos de graduação e  
pós-graduação  
aos meus avós Achilles (in memoriam) e Nena  
aos meus irmãos Marcio e Eduardo*

## AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Maria do Carmo Calijuri, pela orientação, pela concessão de literatura pessoal, compreensão e confiança despendidos ao longo desse trabalho.

À professora Dra. Miriam Borges Xavier, pelo apoio durante a fase de identificação do fitoplâncton, pela concessão de literatura pessoal e pela convivência.

Aos professores Dr. Raoul Henry, Dra. Jandira Liria Biscalquini Talamoni e Dra. Haydée Torres de Oliveira pelas valiosas sugestões e críticas.

À Capes pela bolsa concedida.

Ao amigo André Cordeiro Alves dos Santos, pela realização dos gráficos de isolíneas e pelos numerosos comentários e conselhos científicos.

Aos amigos André e Gina Deberdt, pelo auxílio nos trabalhos de campo, tratamentos de dados no computador e pelas discussões científicas.

Aos amigos Maurício Augusto Leite e Alexandre Luccas Bitar, companheiros fiéis ao longo desses anos.

Aos técnicos do CRHEA: Amandio, Luci, Beto, Miro, Marcelo e América, pela grande ajuda nos trabalhos de campo e laboratório, e por tornarem as coletas tão divertidas.

À bibliotecária Regina C. Vidal (Rê) e à secretária Claudete Ap. Poianas da Silva, pela amizade e dedicação em todos os momentos.

Ao prof. Dr. Milan Straskraba pelos conselhos científicos e pela convivência.

Às professoras do Instituto de Botânica de São Paulo, Dra. Célia Sant'Ana, Dra. Maria Teresa Azevedo, Dra. Denise Bicudo e à pesquisadora Andrea Tucci do Nascimento Moura, por todo o auxílio na identificação do fitoplâncton.

Ao prof. Dr. J. Komárek pelo auxílio na identificação das cianofíceas.

Ao técnico do laboratório de Saneamento José Miguel Derigi (in memoriam) pelo auxílio na determinação da clorofila.

À CPFL, na pessoa do Sr. Clemir Antônio Belém, pela infraestrutura oferecida.

Ao João Batista Paschoalotti, grande companheiro nessa jornada.

Aos colegas do mestrado e da associação de alunos pela convivência.

Aos auxiliares esporádicos, Gabriel, Rodrigo, Guto.

# SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS  | i   |
| LISTA DE TABELAS  | iii |
| RESUMO  | v   |
| ABSTRACT  | vi  |
| 1. INTRODUÇÃO   | 1   |
| 2. OBJETIVOS  | 12  |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS                                      | 13  |
| 3.1. Características gerais do reservatório de Salto Grande | 13  |
| 3.1.1. Geologia   | 14  |
| 3.1.2. Geomorfologia  | 15  |
| 3.1.3. Clima  | 17  |
| 3.1.4. Uso e ocupação do solo                               | 17  |
| 3.2. Operação da USAM                                       | 18  |
| 3.3. A amostragem   | 23  |
| 3.4. Variáveis abióticas do sistema                         | 23  |
| 3.4.1. Variáveis Climatológicas                             | 23  |
| 3.4.1.1. Vento  | 23  |
| 3.4.1.2. Precipitação                                       | 24  |
| 3.4.1.3. Temperatura do ar                                  | 24  |
| 3.4.1.4. Horas de insolação e Radiação Solar                | 24  |
| 3.4.2. Variáveis hidrológicas                               | 25  |
| 3.4.2.1. Vazão  | 25  |
| 3.4.2.2. Tempo médio de residência da água                  | 25  |
| 3.4.2.3. Transparência da água e coeficiente de atenuação   | 26  |
| 3.4.2.4. Radiação solar subaquática                         | 26  |
| 3.4.2.5. Temperatura da água                                | 26  |
| 3.4.2.6. Oxigênio Dissolvido                                | 27  |
| 3.4.2.7. pH, alcalinidade e formas de carbono               | 27  |
| 3.4.2.8. Condutividade elétrica                             | 27  |
| 3.4.2.9. Material em suspensão                              | 27  |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.2.10. Nutrientes inorgânicos                              | 28 |
| 3.5. Variáveis bióticas do sistema                            | 30 |
| 3.5.1. Comunidade fitoplanctônica                             | 30 |
| 3.5.1.1. Análise qualitativa                                  | 30 |
| 3.5.1.2. Análise quantitativa                                 | 30 |
| 3.5.2. Biovolume das células fitoplanctônicas                 | 34 |
| 3.5.3. Clorofila e Feopigmentos                               | 34 |
| 3.5.4. Produção primária fitoplanctônica                      | 35 |
| 3.5.4.1. Método do Oxigênio Dissolvido                        | 35 |
| 3.5.4.2. Método do <sup>14</sup> C                            | 36 |
| 3.5.5. Taxa de assimilação                                    | 38 |
| 3.5.6. I.E.T.   | 38 |
| 4. RESULTADOS   | 42 |
| 4.1. Variáveis abióticas do sistema                           | 42 |
| 4.1.1. Variáveis Climatológicas                               | 42 |
| 4.1.1.1. Vento  | 42 |
| 4.1.1.2. Precipitação   | 43 |
| 4.1.1.3. Temperatura do ar                                    | 43 |
| 4.1.1.4. Radiação solar e horas de insolação                  | 44 |
| 4.1.2. Variáveis hidrológicas                                 | 47 |
| 4.1.2.1. Vazão  | 47 |
| 4.1.2.2. Tempo médio de residência da água                    | 47 |
| 4.1.2.3. Radiação solar subaquática                           | 47 |
| 4.1.2.4. Transparência da água e coeficiente de atenuação     | 48 |
| 4.1.2.5. Temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade | 52 |
| 4.1.2.6. Alcalinidade e formas de carbono                     | 63 |
| 4.1.2.7. Material em suspensão                                | 66 |
| 4.1.2.8. Nutrientes e razão N/P                               | 68 |
| 4.2. Variáveis bióticas do sistema                            | 73 |
| 4.2.1. Comunidade fitoplanctônica                             | 73 |
| 4.2.1.1. Análise qualitativa                                  | 73 |
| 4.2.1.2. Análise quantitativa                                 | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.2.2. Biovolume das células fitoplanctônicas | 89  |
| 4.2.3. Clorofila e Feopigmentos               | 90  |
| 4.2.4. Produção primária fitoplanctônica      | 91  |
| 4.2.4.1. Método do Oxigênio Dissolvido        | 91  |
| 4.2.4.2. Método do $^{14}\text{C}$            | 92  |
| 4.2.5. Taxa de assimilação                    | 94  |
| 4.2.6. Índice de Estado Trófico               | 94  |
| 5. DISCUSSÃO                                  | 104 |
| 6. CONCLUSÕES                                 | 128 |
| 7. PERSPECTIVAS FUTURAS                       | 131 |
| 8. BIBLIOGRAFIA                               | 132 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 – Localização do reservatório de Salto Grande no Estado de S.P. _____                             | 16 |
| FIGURA 2 – Fotografia do reservatório de Salto Grande _____  | 20 |
| FIGURA 3 - Fotografia do reservatório de Salto Grande _____  | 20 |
| FIGURA 4 - Fotografia do reservatório de Salto Grande _____  | 21 |
| FIGURA 5 - Fotografia do reservatório de Salto Grande _____  | 21 |
| FIGURA 6 - Fotografia do reservatório de Salto Grande _____  | 22 |
| FIGURA 7 - Fotografia do reservatório de Salto Grande _____  | 22 |
| FIGURA 8 – Variação do tempo de residência e vazão da água no reservatório de Salto Grande _____           | 48 |
| FIGURA 9 – Perfis da radiação fotossinteticamente ativa no período de agosto de 1995 a julho de 1996 _____ | 51 |
| FIGURA 10 – Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido _____  | 57 |
| FIGURA 11 – Isolíneas de temperatura _____   | 58 |
| FIGURA 12 – Isolíneas de oxigênio dissolvido _____   | 59 |
| FIGURA 13 – Perfis de pH e condutividade _____   | 60 |
| FIGURA 14 – Isolíneas de pH _____  | 61 |
| FIGURA 15 – Isolíneas de condutividade _____   | 62 |
| FIGURA 16 – Perfis das concentrações de material em suspensão _____  | 67 |
| FIGURA 17 – Razão N/P _____  | 72 |
| FIGURA 18 – Porcentagem de contribuição média na coluna da água das diferentes classes _____               | 82 |
| FIGURA 19 - Porcentagem de contribuição média na zona eufótica das diferentes classes _____                | 83 |
| FIGURA 20 - Porcentagem de contribuição média na zona afótica das diferentes classes _____                 | 84 |
| FIGURA 21 – Abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos _____                                      | 85 |
| FIGURA 22 - Abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos _____                                      | 86 |
| FIGURA 23 - Abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos _____                                      | 87 |
| FIGURA 24 – Número de espécies fitoplanctônicas existentes _____   | 88 |
| FIGURA 25 – Densidade total de organismos fitoplanctônicos _____   | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 26 – Perfis da concentração de clorofila a total e da fração menor que 20 $\mu\text{m}$ , feofitina total e da fração menor que 20 $\mu\text{m}$ | 97  |
| FIGURA 27 – Perfis da produção primária bruta, líquida e da respiração (método do oxigênio dissolvido)  | 98  |
| FIGURA 28 – Perfis da produção primária total e da fração menor que 20 $\mu\text{m}$ (método do $^{14}\text{C}$ )                                       | 99  |
| FIGURA 29 – Isolíneas de produção primária  | 100 |
| FIGURA 30 – Variações da produtividade primária da comunidade fitoplanctônica e da fixação de carbono no escuro   | 101 |
| FIGURA 31 – Variações nas taxas de assimilação e das concentrações médias de clorofila a  | 101 |
| FIGURA 32 – Fotografia do reservatório de Salto Grande  | 127 |
| FIGURA 33 - Fotografia do reservatório de Salto Grande  | 127 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1 – Índice de Carlson alterado por Kratzer & Brezonik (1981)   | 39 |
| TABELA 2 – Índice de Carlson alterado por Toledo Jr et al. (1983)   | 41 |
| TABELA 3a – Variáveis climatológicas, variação das vazões turbinadas e tempo de residência da água (1º semestre de trabalho)                      | 45 |
| TABELA 3b – Variáveis climatológicas, variação das vazões turbinadas e tempo de residência da água (2º semestre de trabalho)                      | 46 |
| TABELA 4 – Variáveis climatológicas nos dias de coleta  | 50 |
| TABELA 5 – Profundidades de disco de Secchi, Z max, Zeuf, Zeuf/Zmax e Kt  | 52 |
| TABELA 6 – Temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade   | 56 |
| TABELA 7 – Concentrações de alcalinidade total, C inorgânico, CO <sub>2</sub> total e livre, bicarbonato e carbonato nas zonas eufótica e afótica | 65 |
| TABELA 8 – Concentrações médias de N total, nitrato, nitrito e amônia nas zonas eufótica e afótica  | 70 |
| TABELA 9 – Concentrações médias de P total, P total dissolvido, P inorgânico e silicato reativo nas zonas eufótica e afótica                      | 71 |
| TABELA 10 – Medidas da razão N/P nas zonas eufótica, zona afótica e coluna da água  | 72 |
| TABELA 11 – Médias anuais da porcentagem de contribuição de cada classe de organismo fitoplanctônico  | 76 |
| TABELA 12 – Médias anuais da abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos  | 79 |
| TABELA 13 – Índices de diversidade, equidade, riqueza, dominância e número de espécies na estação de coleta                                       | 81 |
| TABELA 14 – Biovolume celular médio da coluna da água e forma dos organismos fitoplanctônicos mais abundantes                                     | 95 |
| TABELA 15 – Biovolume médio da coluna da água em 5 ml de amostra e forma dos organismos fitoplanctônicos mais abundantes                          | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| TABELA 16 – Valores da concentração de clorofila a total, da produção primária, da fixação de C no escuro e da porcentagem de carbono fixado no escuro e da taxa de assimilação | 102 |
| TABELA 17 – Estado trófico do reservatório  | 103 |
| TABELA 18 – Características morfométricas de alguns reservatórios do Estado de São Paulo  | 107 |
| TABELA 19 – Produção primária de alguns reservatórios do Estado de São Paulo  | 121 |

## RESUMO

MINOTI, R. T. (1999). Variação anual da produção primária e estrutura da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana – S. P.). São Carlos, 1999. 142p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana, S.P.), localizado na bacia hidrográfica do rio Atibaia, foram estudadas através de coletas mensais, realizadas ao longo de um ano (agosto de 1995 – julho de 1996), em uma estação de coleta localizada na região mais profunda desse ambiente (latitude 22°42'S e longitude 47°16'O). Foram analisadas as variáveis climatológicas, hidrológicas, limnológicas e biológicas. O vento foi uma função de força de pouca amplitude no reservatório. O ambiente não apresentou padrões definidos de circulação da coluna d'água, mas as altas vazões registradas devem ter sido as maiores responsáveis pela circulação. A precipitação teve uma forte atuação no sistema, influenciando principalmente na disponibilidade de luz subaquática pela variação das concentrações de material em suspensão. Os elevados valores de condutividade, indicam as altas cargas iônicas que o reservatório recebe, provenientes do rio Atibaia. O mais alto valor, 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , foi obtido no mês de outubro de 1995. A classe Cyanophyceae, representada principalmente por *Microcystis aeruginosa*, foi considerada dominante, em densidade e biovolume, ao longo do ano. As classes Bacillaryophyceae (representada por *Aulacoseira granulata*) e Cryptophyceae (representada por *Cryptomonas lobata*, *Cryptomonas brasiliensis* e *Rhodomonas lacustris*), apresentaram uma contribuição importante. A luz foi o principal fator limitante à produtividade primária fitoplanctônica. Os valores de produção primária foram mais baixos nos meses de maior precipitação, de janeiro a abril de 1996, variando entre 10 e 40  $\text{mgC}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ . O mais alto valor de produção foi obtido no mês de novembro de 1995, 163,45  $\text{mgC}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ , quando a coluna d'água apresentou-se estratificada. Os índices de estado trófico indicaram os níveis máximos (eutrófico/hipereutrófico) para esse sistema ao longo de quase todo o ano. O reservatório de Salto Grande pode ser considerado como um ambiente tropical hipereutrófico e estressado.

**Palavras-chave:** reservatório; hipereutrófico; fitoplâncton; produção primária.

## ABSTRACT

MINOTI, R. T. (1999). Annual variation of the primary production and structure of the phytoplankton community in the Salto Grande reservoir (Americana, state of São Paulo). São Carlos, 1999. 142p. Master's Dissertation – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo.

A study of the structure and productivity of the phytoplankton community in the Salto Grande reservoir (Americana, SP, Brazil), located in the Atibaia watershed, was carried out by means of samples collected monthly over a one-year period, from August 1995 through July 1996. The study site is located in the deepest area of this environment, at a latitude of 22°42'S and longitude of 47°16'W. Analyses were made of the climatological, hydrological, limnological and biological variables. Wind was not a significant influencing factor at the reservoir. The environment presented no defined water column circulation patterns, and circulation was attributed mainly to the high outflows recorded. Precipitation acted strongly on the system, influencing mainly the availability of subaquatic light by increasing the concentrations of suspended material. Conductivity values were high, indicating the high loads of a variety of materials flowing into the reservoir from the Atibaia watershed. The highest index, 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , was recorded in October 1995. The Cyanophyceae class, represented mainly by *Microcystis aeruginosa*, was considered to be predominant in both density and biovolume throughout the year. The Bacillariophyceae classes, represented by *Aulacoseira granulata*, and the Cryptophyceae classes, represented by *Cryptomonas lobata*, *Cryptomonas brasiliensis* and *Rhodomonas lacustris*, presented a significant contribution. Light was the principal factor limiting primary phytoplankton production. The primary production values, varying from 10 to 40  $\text{mgC}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ , were lower in the months of the heaviest rainfall, i.e., January to April 1996. The highest production index, of 163,45  $\text{mgC}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ , was obtained in November 1995, when the water column was stratified. The trophic state indexes indicated the maximum levels (eutrophic/hypereutrophic) for this system throughout most of the year. The Salto Grande reservoir can, thus, be considered a hypereutrophic and stressed tropical environment.

**Key words:** reservoir; hypertrophic; phytoplankton; primary production.

## 1. INTRODUÇÃO

### VARIABILIDADE AMBIENTAL NOS RESERVATÓRIOS E ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

Os habitats do fitoplâncton – lagos, rios e oceanos – são caracterizados por uma persistente variabilidade, contrariando, assim, as idéias tradicionais de estabilidade em ambientes pelágicos. As mudanças no ambiente aquático, operando em uma variedade de freqüências temporais, impactam a estrutura, a abundância e a produtividade da comunidade fitoplanctônica (REYNOLDS, 1990).

Segundo CALIJURI & DOS SANTOS (1996), os fatores ecológicos que determinam a estrutura da comunidade do fitoplâncton têm sido muito discutidos ao longo dos anos. Muitos trabalhos relacionam as escalas temporais de variabilidade ambiental à dinâmica e à composição das populações: LEWIS Jr (1978), HARRIS (1980) e (1984), REYNOLDS (1990) e TUNDISI (1990).

Um dos pontos chave a serem resolvidos em ecologia é o acompanhamento e entendimento da evolução das comunidades. De acordo com HARRIS (1984), o entendimento e interpretação dos resultados obtidos em experimentos requerem conhecimento, principalmente, das escalas de tempo e de espaço que dominam a ecologia dos organismos. Os organismos são sensíveis a toda variabilidade ambiental

e são capazes de realizar mudanças adaptativas que aumentem suas chances de sobrevivência. Essas mudanças, segundo o autor, envolvem uma ampla gama de alterações nas vias intracelulares, de mudanças na composição celular e tamanho celular, podendo ocorrer até mudança na composição das espécies que compõem a comunidade.

O fitoplâncton é flexível às perturbações ambientais, dependendo do tempo de duração das mesmas. Se o evento for fraco ou rápido, as respostas fisiológicas dos organismos serão capazes de administrar os estímulos. Se o evento for mais longo, ou mais forte, desencadeará respostas mais profundas, podendo chegar ao ponto em que afetará a taxa de crescimento e a estrutura da comunidade (HARRIS, 1980).

De acordo com REYNOLDS(1990), a escala de resposta biológica é, em geral, correspondente ou relacionada à escala temporal da variável estimulante. Segundo o autor, um outro aspecto de relativa importância na dinâmica dessas comunidades é a distribuição da biomassa em diferentes escalas de tempo.

Diferentes espécies respondem de diferentes maneiras às flutuações ambientais; assim, as variações no espaço funcionam como um recurso ou uma dimensão que as células podem explorar. As heterogeneidades espaciais, horizontal e vertical, resultam da variabilidade de fatores que controlam o crescimento e, em menor grau, da capacidade de regulação da flutuabilidade e realização de movimento ativo dos organismos (LEWIS Jr, 1978; HARRIS, 1980).

Os padrões de mistura vertical e complexidade horizontal dos ambientes aquáticos são influenciados e estabelecidos pelas funções de força hidráulicas e climatológicas, assim como as oscilações hidráulicas do sistema. Esses padrões excedem às capacidades de movimentação do fitoplâncton, impondo sistemas adicionais de compartimentalização espacial (TUNDISI, 1990). Segundo este autor, as mudanças bruscas no eixo vertical do sistema, por alterações na estabilidade, produzem algumas perdas de biomassa e reduzem o potencial para o desenvolvimento de associações estáveis, com o máximo de rendimento. As funções de força acabam exercendo uma seletividade ambiental sobre a associação de espécies, com resultantes nas estratégias de sobrevivência e crescimento.

As funções de força, em reservatórios aquáticos artificiais, variam espacialmente e em função do tempo. Essas variações temporais periódicas acabam

gerando padrões de circulação horizontal e vertical. Quando a circulação no reservatório torna-se reduzida, em função de características morfométricas ou pelo pequeno efeito das funções de força com pouca amplitude, podem ocorrer gradientes verticais de temperatura, seguidos de gradientes químicos e biológicos.

A vazão é uma função de força hidráulica extremamente importante em reservatórios, influenciando indiretamente o tempo de residência da água. Este é fator preponderante na formação de estratificações, exercendo uma grande influência sobre a seqüência temporal e a dinâmica da comunidade fitoplanctônica.

Quanto às funções de força climatológicas, pode-se dizer que a ação do vento pode resultar em grandes modificações nos ambientes aquáticos dependendo da freqüência, intensidade e duração da ação.

Os eventos de ventos na superfície induzem à circulação da água e aceleram a transferência de calor para regiões mais profundas da coluna d'água. A periodicidade dos eventos é particularmente importante e relevante para a biologia do fitoplâncton, por propiciar a capacidade de locomoção, tanto para baixo como para cima, contra gradientes verticais. Essa capacidade é importante, principalmente, para os organismos maiores (REYNOLDS, 1990).

Outra função climática importante é a precipitação. Esta pode atuar de maneira direta nos corpos aquáticos, provocando a circulação das camadas superficiais da água, e, de maneira indireta, aumentando o volume das entradas não pontuais nos corpos aquáticos e resultando em pulsos de nutrientes que estarão disponíveis ao desenvolvimento dos produtores primários planctônicos e à produção orgânica.

Os macronutrientes e os micronutrientes são essenciais para o crescimento das algas. A ausência de um ou outro elemento limita o crescimento desses organismos. Segundo De acordo com HARRIS (1980), os organismos fitoplanctônicos têm uma grande afinidade por nutrientes, absorvendo-os, em curtos períodos (menor que um tempo de geração), em velocidades que excedem suas necessidades para o crescimento em longos períodos. Segundo o autor, muitas espécies apresentam uma capacidade tampão e, através dessas características fisiológicas, podem fazer com que a velocidade de crescimento celular não seja alterada pelas flutuações do ambiente externo.

Para os produtores primários, as capacidades de absorver nutrientes, sintetizar novas proteínas celulares e arranjá-las dentro de tecidos de células filhas estão, no entanto, diretamente relacionadas com a disponibilidade de energia química celular que, por sua vez, depende da presença da luz no ambiente aquático (REYNOLDS, 1990).

De acordo com GANF (1974), o sucesso do crescimento das espécies individuais está vinculado a uma série de fatores: capacidade fotossintética das algas, estado de nutrição das células, perdas por respiração e principalmente pelo tempo em que a alga consegue permanecer na zona eufótica. Para o autor, a distribuição vertical do fitoplâncton é uma função da densidade do organismo e dos movimentos da água.

O maior ou menor tempo de permanência na região mais iluminada da coluna d'água depende das características intrínsecas de cada espécie. Embora afundar seja uma tendência, pela densidade relativa do protoplasma, os organismos planctônicos mostram uma variedade de adaptações que impedem ou retardam o afundamento. A capacidade de locomoção e as variações estruturais para diminuir a velocidade de afundamento são fatores que diferem entre indivíduos, favorecendo determinados grupos que adquiriram certas vantagens competitivas ao longo do processo evolucionário.

De acordo com REYNOLDS (1987), o sucesso das cianofíceas nos ambientes aquáticos está associado as suas capacidades de boiar e de locomover-se na coluna d'água. Essa capacidade está relacionada à presença de vacúolos gasosos, que diminuem a densidade celular para valores mais baixos que a densidade da água. Assim, esses organismos podem procurar locais com melhores condições hidrodinâmicas, de luz e de nutrientes.

Outra habilidade característica das cianofíceas é a de armazenar nutrientes, em discretas concentrações, e consumi-los em fases posteriores de crescimento, quando houver deficiências no ambiente externo. Assim, a produção e crescimento são lentos, mas contínuos. Além disso, as Nostocales (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindropermopsis*) possuem heterocistos com a finalidade de fixar nitrogênio atmosférico, o que fornece uma vantagem ecológica em relação a outras espécies do fitoplâncton, quando o suprimento externo de nutrientes nitrogenados é reduzido. Em

muitos casos também, a quantidade de nitrogênio disponível relacionada à de fósforo é o fator regulador da fixação de nitrogênio (REYNOLDS, op. cit.).

Através de diversas características, mas principalmente pela capacidade de flutuação, as cianofíceas conseguem desenvolver um fenômeno aquático característico: o florescimento algal. O termo florescimento, nesse caso, refere-se estritamente à formação irregular e imprevisível de populações migratórias flutuantes na superfície da água. De acordo com REYNOLDS (op. cit.), os florescimentos estão associados a fatores como:

- Presença de uma substancial população de cianobactérias no ambiente;
- Capacidade que os organismos dispõem de flutuar ou boiar;
- energia cinética de turbulência insuficiente para diminuir a tendência dos organismos de flutuar até a superfície do lago.

Ainda, segundo o autor, essa característica das cianofíceas de ignorar o confinamento ambiental, além de outras estratégias evolucionárias adotadas pelas espécies individuais, garante-lhes a reputação de proeminente e bem sucedido grupo de organismos.

As florações de algas, em reservatórios de água utilizados para abastecimento público, têm causado sérios problemas econômicos e de saúde pública. As florações, na sua maioria, além das substâncias tóxicas, também produzem gosto e odor indesejáveis na água, não eliminados pelos sistemas de tratamento convencionais. No grupo das cianofíceas, cerca de quarenta espécies podem ser tóxicas. A presença de toxinas naturais põe em risco a manutenção da qualidade da água, seja para a agropecuária, uso recreacional ou abastecimento público (ZAGATTO et al., 1996).

O estudo das comunidades fitoplanctônicas fornece informações sobre a estrutura dessas comunidades básicas de ambientes pelágicos e também noções sobre a qualidade da água para múltiplos usos, muito importantes para o conhecimento dos corpos aquáticos.

De acordo com REYNOLDS (1990), uma das escalas de tempo mais importantes para o conhecimento da estrutura e funcionamento das populações do fitoplâncton é o ciclo anual. Segundo esse autor (comunicação pessoal), o estudo

anual das comunidades fitoplanctônicas, associado a estudos em escalas de tempo de curta ou média duração, são essenciais para produzir-se informações adequadas para o conhecimento dessas comunidades.

Os organismos fitoplanctônicos são sensíveis a toda variabilidade ambiental. As relações anuais entre a composição e distribuição dos indivíduos e os regimes físicos e químicos, devem ser estudadas para que as estratégias de sobrevivência e mudanças adaptativas possam ser compreendidas, em meio à ampla gama de alterações que devem ocorrer em tal período.

## PRODUÇÃO PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA

O fitoplâncton é um dos principais componentes das comunidades básicas nos ambientes aquáticos oceânicos e continentais. A dinâmica de seu desenvolvimento desempenha um papel fundamental na estrutura e funcionamento dos ecossistemas, especialmente no que se relaciona à ciclagem de materiais ( JIAO & NI, 1997).

Para REYNOLDS (1984), a importância das comunidades fitoplanctônicas é inquestionável. A produção primária desses organismos fornece a base para as cadeias alimentares aquáticas, que culminam nas populações naturais de peixes exploradas pelo homem. Ao mesmo tempo, o fitoplâncton gera 70% do suprimento mundial de oxigênio atmosférico.

As medidas de produtividade e crescimento populacional são realizadas para avaliar-se o estado trófico e aperfeiçoar-se os conhecimentos sobre as cadeias alimentares e a ciclagem de materiais (HARRIS, 1984).

Segundo HENRY (1993), as investigações em reservatórios são muito importantes, pois como esses ambientes concentram grandes volumes de água, as medidas de atividade fotossintética do fitoplâncton fornecem dados sobre a produção de matéria orgânica. Segundo o autor, os reservatórios diferem de lagos, pois sofrem duas perturbações que influenciam a produção primária:

- cargas relativamente altas de nutrientes e sedimentos por escoamento superficial;
- tempos de residência relativamente curtos.

As perturbações, a que são submetidos os ambientes aquáticos, interferem nos organismos de diferentes maneiras.

STEEMANN NIELSEN (1974) relacionou a produção primária fitoplanctônica a alguns de seus fatores controladores: disponibilidade de nutrientes, intensidade e a composição da luz, profundidade da zona eufótica, temperatura e herbivoria.

Segundo CALIJURI et. al. (1989), o mecanismo fotossintético desdobra-se em dois processos essenciais: o fotoquímico e o enzimático. O processo fotoquímico depende da luz absorvida pelos pigmentos e da intensidade luminosa. O processo enzimático depende da concentração de enzimas ativas na fotossíntese e da temperatura.

O processo fotoquímico é determinado pela intensidade da luz e qualidade espectral no ambiente aquático e pelas propriedades de absorção da luz da biomassa fotossintética. Portanto, a taxa de fotossíntese não é simplesmente proporcional à taxa de captura de fótons. A eficiência com que o aparelho fotossintético pode utilizar a energia absorvida, para fixar CO<sub>2</sub>, varia de uma célula a outra e na mesma célula, dependendo do seu estado fisiológico (KIRK, 1983).

A limitação da luz na taxa de fotossíntese, em muitas populações, é atenuada devido à estrutura do aparelho da fotossíntese. As células dispõem de um potencial para regular o conteúdo de enzimas e pigmentos, possibilitando ao fitoplâncton exibir um alto grau de adaptabilidade e eficiência fotossintética, permitindo-lhe manter a sobrevivência em uma ampla série de condições ambientais (REYNOLDS, 1984; CALIJURI et al., 1989).

Segundo PREZÉLIN et. al. (1991), uma perturbação (na zona eufótica) pode induzir a várias mudanças nas propriedades do fitoplâncton, com diferentes tempos de resposta. Uma mudança continuada de radiação induz a mudanças na fluorescência da clorofila, em escalas de tempo de segundos a minutos, e alterações nas concentrações de clorofila serão evidentes em escalas de tempo de horas a

poucos dias. Assim, as concentrações de clorofila estão diretamente relacionadas à atividade fotossintética do fitoplâncton.

As populações de algas introduzem um elemento controlador ao seu desenvolvimento: o autosombreamento. O aumento da densidade populacional relaciona-se diretamente com o sombreamento e, conseqüentemente, com a limitação da produção primária pela atenuação da luz (TALLING, 1975). O florescimento algal, fenômeno que ocorre na superfície das águas, funciona como um "bloqueador de luz", diminuindo radicalmente a profundidade da zona eufótica.

A luz pode limitar a atividade fotossintética, de maneira oposta, pela inibição em altas intensidades. Segundo REYNOLDS (1984), existe uma marcante redução nas taxas de fotossíntese fitoplanctônica, em experimentos de incubação em garrafas próximas à superfície. Essa redução é atribuída à intensidade de radiação incidente na região superficial da coluna d'água. Um dos fatores identificados como causadores da foto-inibição é a radiação ultravioleta, que tem efeito inibidor dos sistemas fotoquímicos e pode, também, danificar estruturas orgânicas da célula, como tilacóides e clorofila. Essa radiação é rapidamente atenuada com o aumento da profundidade.

O processo enzimático, como já foi comentado anteriormente, depende da concentração de enzimas ativas na fotossíntese e da temperatura. Esse processo é, assim como o processo fotoquímico, controlado por fatores biológicos, intrínsecos às células, e por fatores externos, regulados pelas condições ambientais.

Segundo REYNOLDS (op. cit.), muitos dos processos celulares são dependentes da temperatura. Suas taxas são aceleradas proporcionalmente aos aumentos de temperatura, até atingirem, valores máximos que ocorrem entre 25° e 40°C. De acordo com o autor, outro fator que influencia as taxas de fotossíntese das algas é o suprimento de carbono. Em algumas circunstâncias, a concentração de CO<sub>2</sub> livre é diretamente relacionada às taxas de fotossíntese das algas e diferenças de concentrações de 1 ou 2 unidades de pH, na coluna d'água, não são incomuns na zona eufótica de águas estratificadas. A solubilização de CO<sub>2</sub> atmosférico em águas superficiais, muitas vezes, não é tão rápida para suprir densas populações algais, causando uma significativa depleção do carbono disponível. Potencialmente, a taxa fotossintética pode ser limitada por essa depleção (TALLING, 1984).

De acordo com PREZÉLIN et. al.(1991), o crescimento e desenvolvimento das comunidades fitoplanctônicas converte muitos íons inorgânicos em substâncias orgânicas que, por sua vez, entram na cadeia alimentar. Qualquer limitação no suprimento de nutrientes irá afetar diretamente a abundância, composição e produtividade dessas comunidades. Segundo os autores, a disponibilidade de nutrientes no meio é acoplada ao transporte ativo para o interior celular, processo que consome energia e é sempre dependente de taxas instantâneas de fotossíntese.

Além dos fatores controladores ou limitantes à produção primária fitoplanctônica já mencionados, um outro fator de grande importância está relacionado aos processos de perdas de biomassa. Segundo REYNOLDS (1984), grande parte das perdas de biomassa fitoplanctônica é atribuída à mortalidade, que pode ser causada por diversos fatores:

- fontes insuficientes de energia ou nutrientes;
- limitações fisiológicas;
- herbivoria, ou consumo por outros organismos;
- sedimentação;
- estresse mecânico.

Outras perdas podem estar associadas às correntes hidráulicas de saída de água dos reservatórios.

A produtividade primária tem sido quantificada tradicionalmente pelo método de liberação de oxigênio pelas algas, produto da fotólise da água, na etapa fotoquímica. A partir da década de cinquenta, STEEMANN NIELSEN (1952) introduziu a técnica de fixação de  $^{14}\text{C}$  pelo fitoplâncton, com o mesmo objetivo, a mensuração da produtividade. Desde então, inúmeras estimativas de produtividade primária têm sido realizadas nos ambientes aquáticos.

Um pouco da problemática que surge na utilização dessas metodologias é mencionada em diferentes trabalhos. Segundo TALLING (1983), a comparação entre o crescimento e a fotossíntese de populações naturais de fitoplâncton é cercada de problemas. Tendo em vista que as populações são heterogêneas, as taxas específicas obtidas com a utilização dos métodos usuais podem ser médias fictícias, que não se

aplicam a um único componente algal. O autor menciona ainda, que a incorporação de  $^{14}\text{C}$  em curtos períodos de tempo pode subestimar as perdas em longos períodos.

De acordo com HARRIS (1984), nos experimentos de incubação em garrafas de amostras contendo populações algais, a mortalidade de células, o afundamento e a herbivoria são sempre negligenciados. Como essas perdas são ignoradas, haverá sempre uma discrepância entre o que é medido pelas taxas de produção ( $\text{O}_2$  e  $^{14}\text{C}$ ) e o que é obtido pelas medidas de crescimento populacional (contagem populacional ou mudança na biomassa).

Ao incubar-se populações naturais em garrafas, surgem outros agravantes. A coluna d'água, em períodos de mistura, é um ambiente em constante transformação. As populações do fitoplâncton são extremamente sensíveis às transformações que ocorrem ao seu redor, principalmente à turbulência que ocorre na camada de mistura (HARRIS, op. cit.).

Muitas respostas adaptativas poderiam ocorrer com as espécies, se elas permanecessem fora do confinamento. Nas garrafas, a variabilidade ambiental é amenizada e o ambiente externo passa a exercer influência apenas em termos de temperatura e radiação solar.

De acordo com HARRIS (op. cit.), as garrafas estáticas em série, comumente usadas para medir-se a produtividade "in situ", subestimam a produção das águas livres, quando a coluna está homogênea, livremente circulável, pois as populações naturais ficam livres da fotoinibição.

Os problemas metodológicos devem ser levados em conta na análise dos resultados de estimativas da produtividade primária fitoplanctônica.

A natureza da luz incidente e o histórico de um conjunto de fatores que interrelacionam-se, influenciando as populações de algas, são os determinantes das taxas instantâneas da produtividade primária fitoplanctônica. O estudo desses fatores e sua distribuição espacial e temporal, acoplados, ao levantamento da biomassa da comunidade, fornecem a base para o levantamento detalhado da ciclagem de materiais e transferência de energia nos ecossistemas aquáticos (BARBOSA & TUNDISI, 1980; PRÉZELIN et al., 1991).

Com base nas informações mencionadas anteriormente, pode-se observar a importância das investigações sobre a diversidade biológica e as taxas de

produtividade primária do fitoplâncton, em diferentes escalas de tempo e de espaço. Os resultados desses estudos geram informações básicas sobre os ecossistemas aquáticos artificiais, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento e manejo desses ambientes.

## 2.OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos principais:

1. Estudar a estrutura da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande, acoplada às análises física e química da água às variáveis meteorológicas (vento, precipitação, temperatura do ar e radiação solar) e hidrológicas (vazão), em termos de densidade, abundância relativa, diversidade e equidade dos organismos, ao longo de um ano de estudo.
2. Determinar a produção primária fitoplanctônica no período de estudo e seus fatores reguladores.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RESERVATÓRIO DE SALTO GRANDE

A bacia hidrográfica do Rio Atibaia localiza-se no centro leste do Estado de São Paulo, aproximadamente entre os paralelos 22°41' e 23°18' sul, e os meridianos 46°00' e 47°16' oeste, perfazendo uma área total de 2.724 km<sup>2</sup>.

O Reservatório de Salto Grande, concluído em 1949, localiza-se no Município de Americana (Estado de São Paulo), na região oeste da bacia do Rio Atibaia, numa altitude de 530 metros (Figura 1). É o segundo grande represamento desse rio. Foi construído com a finalidade hidrelétrica, tendo a USINA HIDRELÉTRICA DE AMERICANA (USAM), uma capacidade de geração de 30MW (10 MW em cada unidade geradora). A barragem da Usina represa o Rio Atibaia 700 metros a montante do ponto onde ocorre a confluência com o Rio Jaguari, local onde se inicia o Rio Piracicaba.

#### Características morfométricas do reservatório

- área : 11,5 km<sup>2</sup>
- perímetro : 64 km
- comprimento : 17 km

- volume máximo (total) :  $106 \times 10^6 \text{ m}^3$
- volume mínimo :  $67,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- volume útil :  $38,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- altura da Barragem : 25 metros
- tempo de residência médio anual: 54 dias

### 3.1.1.GEOLOGIA

De acordo com COELHO (1993), a bacia hidrográfica do Rio Atibaia tem seu início nas rochas cristalinas do Planalto Atlântico e em seu baixo curso atravessa rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná, além de alguns corpos de rochas intrusivas básicas, de idade juro-cretácica.

O Rio Atibaia, em seu trecho final até o reservatório de Salto Grande, percorre rochas da borda leste da Bacia do Paraná. Aí afloram rochas paleozóicas da Formação Itararé, rochas extrusivas básicas e sedimentos cenozóicos indiferenciados.

Os arenitos de variadas texturas são as litologias predominantes da Formação Itararé e os diamictitos, suas rochas mais características.

Às margens do Reservatório, a Formação é representada por três litologias distintas. Coelho (op. cit.) denominou-as da seguinte maneira:

- Itararé I – predomina nos entornos do reservatório, sendo constituído por um lamito arenoso cinza escuro e pardo amarelado quando alterado, condição em que apresenta alta desagregabilidade, propiciando forte erosão nas margens;
- Itararé II – corpos de arenito cinza claro que se inserem no lamito formador da unidade litológica Itararé I.
- Itararé III – representado por um corpo alongado de arenito conglomerático avermelhado, de textura grosseira e origem fluvio-glacial.

Os sedimentos paleozóicos são atravessados, em três locais distintos, por diques de rochas intrusivas básicas, que cortam o vale transversalmente, formando saltos no antigo leito do rio Atibaia, submersos pelo enchimento do reservatório.

Caapeando o interflúvio da margem esquerda, ocorrem ainda depósitos cenozóicos argilo arenosos de cor avermelhada.

### 3.1.2. GEOMORFOLOGIA

Segundo COELHO (op. cit.), o rio Atibaia nasce na confluência dos rios Cachoeira e Atibainha e é um dos formadores do rio Piracicaba, inserindo-se portanto na área de cabeceira da Bacia superior do Rio Paraná.

Com um comprimento aproximado de 180 km, o rio principal apresenta um desnível próximo de 250 metros. Trata-se de um sistema hidrográfico relativamente pobre, em termos de vazão, com média anual de 36, 50 m<sup>3</sup>/s.

A bacia hidrográfica do rio Atibaia desenvolve-se em duas províncias geomorfológicas distintas: o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista.

O rio percorre, na sua parte inferior, cerca de 30 km na área da Depressão Periférica até o reservatório de Salto Grande, de onde, logo a jusante, encontra-se com o Jaguari para formar o Piracicaba.

O relevo aí é denominado por colinas amplas, com baixa declividade (< 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m. Os interflúvios têm áreas superiores a 4 km<sup>2</sup>, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexos, drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos a fechados com planícies aluviais restritas.

Há propensão a ataques dos processos erosivos em áreas localizadas, principalmente escoamento concentrado, provocando sulcos e ravinas em função da retirada da vegetação natural.

Às margens do reservatório, as colinas têm seus topos nivelados em torno de 600 metros. Como o nível d'água do mesmo situa-se próximo à cota de 532 metros, há um desnível aproximado de 70 metros entre o topo das colinas e a lâmina d'água. Esse tipo de relevo permite livre circulação dos ventos, o que contribui para a circulação total das águas do reservatório, dificultando os processos de estratificação térmica e química, além de, propiciar a formação de ondas, que são as maiores responsáveis pela abrasão das margens.

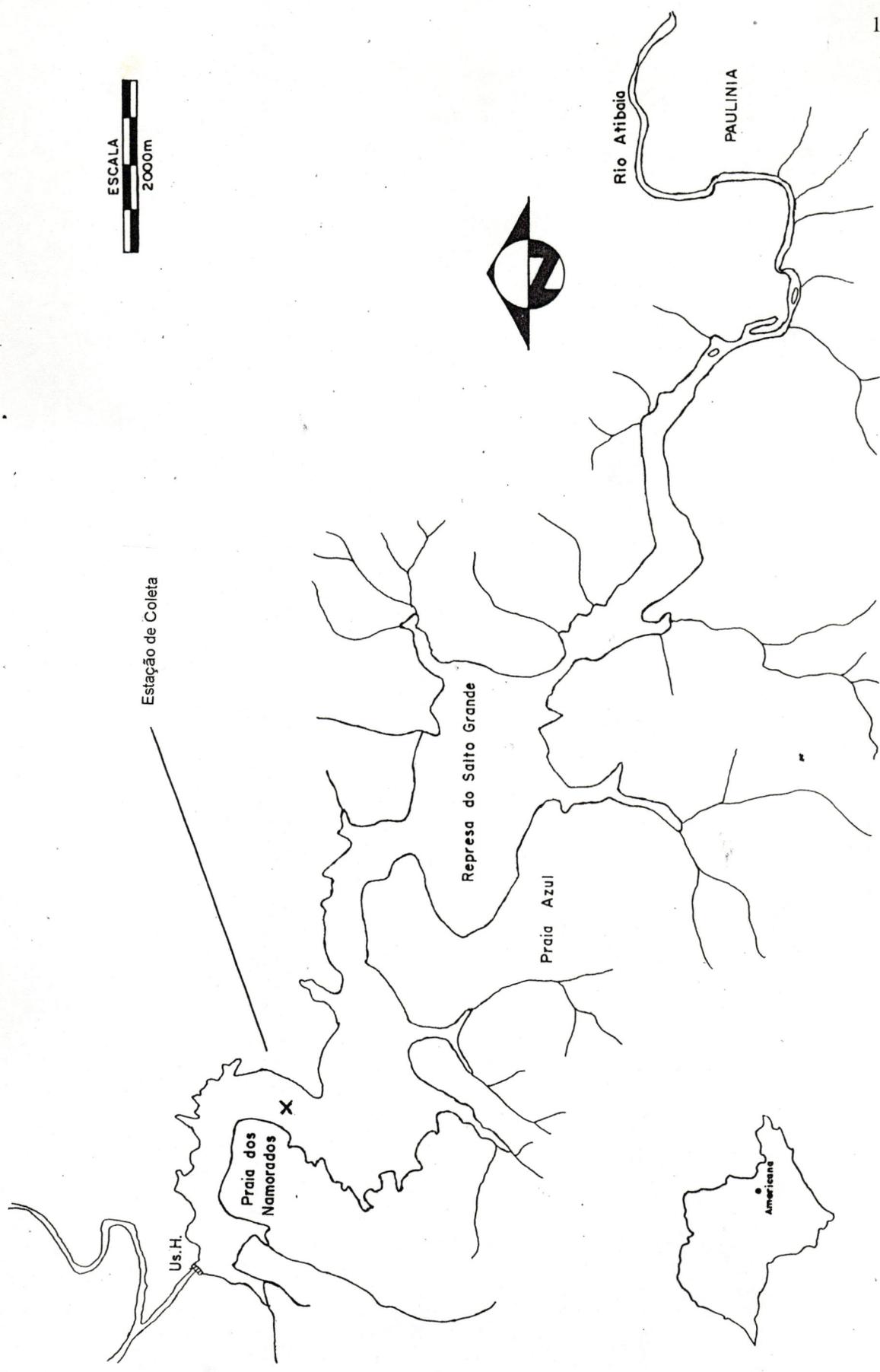


Figura 1 - Reservatório de Salto Grande - principais formadores e localização da estação de coleta. Sua localização no Estado de São Paulo.

O reservatório tem, como única drenagem significativa a alimentá-lo, o rio Atibaia. Além desse rio, apenas pequenos córregos desaguam nesse ambiente, conferindo-lhe um padrão nitidamente longitudinal com poucas ramificações laterais.

### 3.1.3. CLIMA

Segundo COELHO (op. cit.), a bacia hidrográfica do rio Atibaia encontra-se sob a influência das massas de ar polar atlântico, tropical atlântico e tropical continental, cujas intensidades de atuação variam com a estação do ano.

No trecho inferior da bacia hidrográfica, onde está localizado o reservatório de Salto Grande, o clima é do tipo temperado brando, com inverno seco e verão quente. A temperatura média anual é de 20°C e a precipitação apresenta valores de 1300 mm/ano. A diferença entre a precipitação e a evapotranspiração é de 500mm/ano.

Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os mais quentes e chuvosos, e os meses de junho, julho e agosto, os mais frios e secos.

### 3.1.4. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo COELHO (op. cit.), a cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Atibaia, originalmente constituída de matas tropicais, cedeu lugar ao café, que vem sendo substituído pelas pastagens, geralmente naturais e pobres, devido ao esgotamento do solo. A tênue vegetação nada contribui para reter água no solo, havendo assim uma perfeita superposição dos regimes fluvial e pluviométrico da bacia.

A bacia do rio Atibaia é um exemplo, no Estado de São Paulo, de como o crescimento da produção agroindustrial e a elevada urbanização podem alterar os ecossistemas aquáticos. As águas provenientes da bacia de drenagem atingem o reservatório de Salto Grande antes de o rio Atibaia desaguar no rio Piracicaba. Na região situada a montante do reservatório, devido à grande quantidade de sedimentos trazidos pelas águas do rio, ocorre a formação de um sistema único, denominado pelos moradores da região de "Pantanalzinho" (Figuras 2 e 3). Outras fontes

poluidoras menores, sobretudo ao longo do reservatório, são chácaras, fazendas de criação de gado e cultivo de cana-de-açúcar, clubes e casas de veraneio (Figuras 4,5,6 e 7).

A bacia do rio Atibaia apresenta alta densidade urbana e industrial, principalmente em seu trecho inferior, onde estão localizados dez municípios, para as quais desempenha papel de manancial abastecedor de água e de receptor da carga de esgotos, quase sem tratamento.

A qualidade das águas em uma bacia hidrográfica reflete nitidamente as características de ocupação e uso do solo. A bacia do rio Atibaia segue esse padrão de comportamento, cujas águas decrescem em qualidade, da montante para a jusante, à medida em que cresce a carga poluidora lançada.

Até a foz do Ribeirão Anhumas, onde são lançados os esgotos do município de Campinas, a qualidade das águas do rio Atibaia ainda é boa. Poucos quilômetros a jusante desse ponto, o rio recebe ainda os resíduos do polo petroquímico de Paulínia, uma alta concentração industrial, algumas altamente poluentes, e também os esgotos da cidade de Paulínia. Assim, além da carga orgânica doméstica, são jogados no Rio Atibaia e em seus tributários, efluentes orgânicos e inorgânicos (metais pesados) provenientes das indústrias instaladas na bacia hidrográfica.

Como o reservatório de Salto Grande fica a poucos quilômetros de Paulínia, recebe uma grande carga de poluentes, pois a capacidade de auto depuração do rio, nesse trecho, não é suficiente para estabilizar toda a carga recebida.

As altas taxas de ocupações urbana e industrial da parte inferior da bacia provocam também erosão acelerada, principalmente devido à eliminação da vegetação nativa e às atividades de construção civil.

### 3.2. OPERAÇÃO DA USAM

Segundo dados da COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL - (1994), todo sistema elétrico costuma apresentar sua maior demanda entre 19:00 e 21:00 horas, quando todas as usinas devem contribuir com a maior parcela possível de energia elétrica gerada. Assim, sob o ponto de vista elétrico, a operação ideal de uma usina seria o que se denomina "Operação de Ponta", ou seja, acumula-se água

durante a maior parte do dia, gerando-se a maior potência possível no período de pico. O que se observa, no entanto, é que a USAM vem operando com a mesma potência durante as 24 horas do dia, em detrimento das necessidades energéticas da própria CPFL. Com isto, obtém-se uma vazão efluente constante, variando apenas em função de maiores ou menores vazões afluentes.

Apesar de Hidrelétrica, a operação da USAM vem, há muito tempo, servindo principalmente para regularização da Bacia do Piracicaba e não apenas para os objetivos energéticos para os quais foi projetada. Assim, ocorre grande variação de vazões ao longo do ano. Nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março ocorrem as vazões máximas e nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro a incidência das mínimas, caracterizando três períodos hidrológicos diferenciados para o ano e, conseqüentemente, três tipos de operações: de cheia, de seca e normal.

Existem ainda outros fatores que interferem no funcionamento da Usina. Anteriormente, a capacidade de amortecimento das grandes vazões estava diretamente associada às limitações do Reservatório, ou seja, a um volume máximo de  $38,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , a partir do qual cessava a capacidade de retenção. Em função das condições de preservação do "Pantanalzinho" de Paulínia, da urbanização em volta do Reservatório e principalmente da instalação da estação de captação de água para abastecimento da cidade de Sumaré, vêm sendo impostas novas e mais severas restrições, redefinindo o nível mínimo operativo e conseqüente diminuições do volume útil para  $16 \times 10^6 \text{ m}^3$  e da capacidade de amortecimento. Uma diminuição no volume útil do Reservatório faz com que a variação do tempo de residência da água seja menor, em períodos de mudanças operacionais.

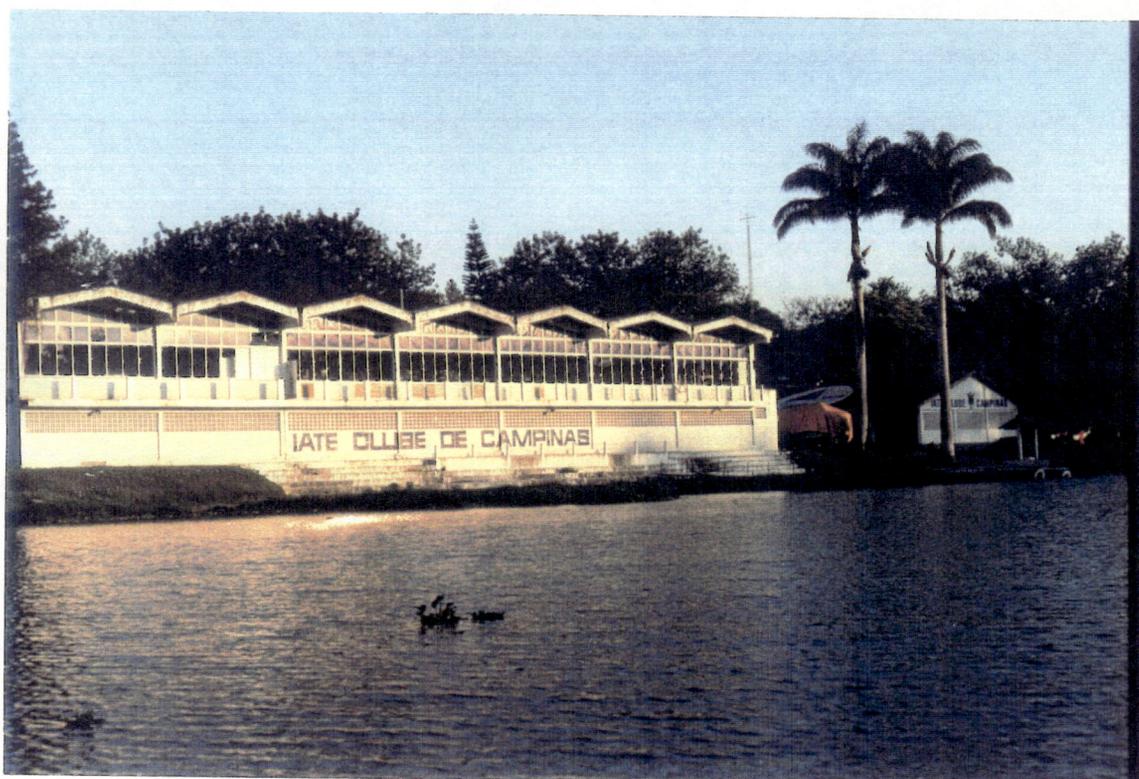
Apesar das águas dessa bacia de drenagem estarem recebendo, há anos, forte carga de poluentes, o reservatório é utilizado também para fins de abastecimento e recreação. Os múltiplos usos aos quais é submetido, evidenciam a necessidade de estudos para que o processo de poluição seja revertido.



**Figura 2.** “Pantanalzinho” formado à montante do reservatório de Salto Grande evidenciando o acelerado processo de assoreamento (outubro de 1997).



**Figura 3.** “Pantanalzinho”, praticamente um mini-ecossistema artificial, formado à montante do reservatório de Salto Grande evidenciando o acelerado processo de assoreamento (outubro de 1997).



**Figura 4.** Uso e ocupação das margens do reservatório de Salto Grande (outubro de 1997).



**Figura 5.** . Uso e ocupação das margens do reservatório de Salto Grande (outubro de 1997).



**Figura 6.** Uso e ocupação das margens do reservatório de Salto Grande (outubro de 1997).



**Figura 7.** Uso e ocupação das margens do reservatório de Salto Grande (outubro de 1997).

### 3.3.A AMOSTRAGEM

A escolha do local de coleta para a realização deste trabalho baseou-se na facilidade logística. Assim, foi definida uma estação de coleta (latitude 22°42'S e longitude 47°16'O), para o estudo da variação sazonal da produtividade primária fitoplanctônica, próxima ao corpo central do reservatório.

A amostragem foi realizada durante o período de um ano, iniciando-se em agosto de 1995 e finalizando-se em julho de 1996. As amostras de água foram coletadas com garrafa de Van Dorn de 5 litros de capacidade, em determinadas profundidades, relacionadas com as porcentagens de radiação solar subaquática determinadas nos dias de coleta (a partir da superfície 100%, 75%, 50%, 25%, 10%, 1% e uma ou mais na zona afótica).

### 3.4.VARIÁVEIS ABIÓTICAS DO SISTEMA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram consideradas algumas variáveis abióticas que influenciam na dinâmica das populações estudadas.

#### 3.4.1.VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

##### 3.4.1.1.VENTO

Os valores de velocidades do vento, dos dias anteriores e concomitantes aos da coleta (incluindo também as médias mensais), foram obtidos na Estação Meteorológica do INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC), de Limeira (altitude de 639 metros - latitude 22°32'S e longitude 47°27'O), a mais próxima do Reservatório.

A velocidade do vento também foi medida, nos dias de coleta, com um anemômetro totalizador Windwed da R. Fuess (Berlin Stegeglitz), instalado a 2m do solo, próximo à barragem do Reservatório, obtendo-se valores médios horários (m/s) para o período de realização dos experimentos nos dias de coleta.

### 3.4.1.2.PRECIPITAÇÃO

Os valores de precipitação foram obtidos na própria USAM (CPFL). As medidas de precipitação total (mm) foram obtidas através de registros diários por 24 horas em um pluviômetro tipo "Ville de Paris". Também foram usados os valores de precipitação dos dias anteriores e concomitantes aos das coletas (incluindo também as médias mensais), obtidos na Estação Meteorológica do IAC de Limeira.

### 3.4.1.3.TEMPERATURA DO AR

Os valores de temperaturas médias, dos dias anteriores e concomitantes aos das coletas (incluindo também as médias mensais), foram obtidos na Estação Meteorológica do IAC, de Limeira.

A temperatura também foi medida, nos dias de coleta, com um termógrafo (marca Tokyo Ota – modelo Jis B 7306) instalado em um local próximo à barragem do Reservatório, obtendo-se valores médios horários para o período de realização dos experimentos.

Os valores de temperatura do ar, no ponto de coleta, foram obtidos através de um termistor (marca Toho-Dentan – modelo ET-5) colocado a aproximadamente 0,50 m da superfície da água.

### 3.4.1.4.HORAS DE INSOLAÇÃO e RADIAÇÃO SOLAR

Os valores de horas de insolação, nos dias anteriores e concomitantes aos das coletas (incluindo também as médias mensais), foram obtidos na Estação Meteorológica do IAC, de Limeira.

Os valores da radiação solar incidente, no reservatório de Salto Grande, foram medidos com um actinógrafo (marca Tokyo Ota), e registrados durante o período de realização dos experimentos, nos dias de coleta, em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ . No ponto de coleta, a medida foi realizada utilizando-se um "Quanta-Meter" Ly-Cor entre 400-700  $\text{m}\mu$  (faixa do visível), com os resultados expressos em  $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

### 3.4.2.VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

As variáveis hidrológicas, com exceção da temperatura e transparência da água, foram obtidas nas mesmas profundidades estabelecidas para as coletas de fitoplâncton.

#### 3.4.2.1.VAZÃO

Os dados de vazões afluente e defluente (turbinada e vertida) foram fornecidos pela USAM (CPFL).

#### 3.4.2.2.TEMPO MÉDIO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA

O tempo médio de residência da água, para o Reservatório de Salto Grande, foi calculado diariamente, obtendo-se assim, informações a partir dos dias que antecederam a coleta, até o dia em que a mesma foi realizada. Foram determinadas também as médias mensais. A fórmula utilizada, segundo CALIJURI (1988), foi a seguinte:

$$TR = \frac{V}{86.400 \times Q}$$

onde:

TR = tempo médio de residência da água (dias)

V = volume do Reservatório

Q = vazão média defluente para cada mês considerado (m<sup>3</sup>/s)

86.400 = fator de conversão de segundos, para dias

### 3.4.2.3. TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA E COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO

A transparência da água foi determinada como descrito em KIRK (1986), através do disco de Secchi (0,30m de diâmetro - pintado de branco), suspenso por uma corda previamente marcada de 10 em 10 centímetros. O valor foi calculado pela média das profundidades de desaparecimento e reaparecimento do disco, que é abaixado e resuspenso verticalmente na coluna d'água.

O coeficiente de atenuação total foi determinado com valores de radiação solar, e através da seguinte fórmula (WETZEL, 1975):

$$K_t = \frac{\ln I_0 - \ln I_z}{Z}$$

Onde:

$K_t$  – coeficiente de atenuação total

$I_0$  – R.F.A. (em  $\mu E \cdot m^{-3}/s$ ) na profundidade 0,00m.

$I_z$  - R.F.A. (em  $\mu E \cdot m^{-3}/s$ ) na profundidade Z (m)

Z - profundidade limite da zona eufótica.

### 3.4.2.4. RADIAÇÃO SOLAR SUBAQUÁTICA

A radiação solar subaquática foi determinada, em  $\mu E/m^2 \cdot s$ , com um “Quanta-Meter” Ly-Cor entre 400-700 m $\mu$  (faixa do visível).

### 3.4.2.5. TEMPERATURA DA ÁGUA

O perfil de temperatura da água, em °C, foi obtido através da sonda Horiba (U-10).

#### 3.4.2.6.OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O perfil do oxigênio dissolvido da água, em mg/L, foi obtido através da sonda de marca Horiba modelo U10.

#### 3.4.2.7.pH, ALCALINIDADE e FORMAS DE CARBONO

As amostras de água foram coletadas a partir da superfície, nas profundidades anteriormente mencionadas, e transferidas para frascos de vidro âmbar.

Alíquotas de 100 ml de amostra foram usadas para determinações de pH, condutividade elétrica e de alcalinidade, utilizando-se um potenciômetro portátil Digimed DMPH-P e uma bureta manual de pistão da Methrom, segundo as técnicas descritas em GOLTERMAN et al. (1978). Em seguida, foram calculadas as concentrações de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) livre, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) total, íon bicarbonato ( $\text{H}_2\text{CO}_3^-$ ) e íon carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ), em mg/L, segundo MACKERETH et al. (1978).

#### 3.4.2.8.CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutância específica ou condutividade elétrica é a medida da capacidade de um condutor em prover uma corrente elétrica. No caso da água, está relacionada à concentração de íons presentes e à temperatura da amostra.

O perfil da condutividade elétrica da água, em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , foi obtido através da sonda de marca Horiba modelo U10, durante as coletas.

As medições de condutividade elétrica, em laboratório, foram realizadas utilizando-se um condutivímetro da marca DIGIMED CD-2P, de leitura direta na escala  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 3.4.2.9.MATERIAL EM SUSPENSÃO

Os termos sólidos em suspensão e dissolvidos são sinônimos dos termos resíduos não filtráveis e filtráveis, respectivamente. A determinação da massa fresca

de fitoplâncton é impraticável, pois não existe meio de separá-la do zooplâncton e de detritos orgânicos e inorgânicos. Através de filtração, secagem e calcinação, é possível separar esses materiais e determinar-se a fração orgânica (WETZEL & LIKENS, 1991; APHA, 1985).

A determinação do material em suspensão foi feita pelo método gravimétrico, segundo a técnica descrita em TEIXEIRA et al. (1965) e TUNDISI (1969), ligeiramente modificada por WETZEL & LIKENS (1991).

Amostras coletadas nas diferentes profundidades, e transferidas para galões de polietileno, foram filtradas em laboratório. Através do volume filtrado, determinou-se os valores de material em suspensão (total e frações) por volume de água no Reservatório. Os cálculos foram expressos em mg/L.

Filtros Millipore AP 40 foram calcinados em mufla a 550°C por duas horas (retirada de umidade e de matéria orgânica), resfriados em dessecador e pesados em balança analítica (Mettler 54 AR). Filtros de massas conhecidas ( $M_1$ ) foram utilizados na filtração de réplicas de 500 ml das amostras, colocados cuidadosamente em cápsulas de porcelana e secos até massa constante, em estufa a 100°C (aproximadamente 2 hs). Novos esfriamentos e pesagens forneceram valores da massa  $M_2$ . Então as amostras foram calcinadas a 550°C por duas horas. Novos resfriamentos e pesagens forneceram valores de massas  $M_3$ . As diferenças entre as massas  $M_2$  e  $M_1$ ,  $M_3$  e  $M_2$  e  $M_3$  e  $M_1$ , forneceram valores de material em suspensão, material orgânico e material inorgânico, respectivamente.

Através do volume filtrado conhecido, obteve-se os valores de material em suspensão (total e frações) por volume de água no Reservatório. Os cálculos foram expressos em mg/L.

#### 3.4.2.10. NUTRIENTES INORGÂNICOS

O **nitrogênio orgânico total** (mg/L) foi determinado a partir de digestão e destilação em aparelho Buchi, segundo metodologia descrita em APHA (1985).

O princípio do método de determinação do **nitrato** ( $N-NO_3^-$  em  $\mu g/L$ ) é baseado na sua redução para nitrito, através do cádmio amalgamado ( $Cd^0$  + sal de

mercúrio  $\Rightarrow$  Cd<sup>o</sup>-Hg<sup>o</sup>), sendo o nitrito determinado espectrofotometricamente, a 543 nm, segundo metodologia descrita em MACKERETH et al. (1978).

Para determinação do **nitrito** (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> em µg/l), utilizou-se a reação em meio fortemente ácido, do nitrito com sulfanilamida (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S), para formar um composto diazônico. Este reage com bicloridrato de N-1-naftil etilodiamina (C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>-2HCl), para formar um composto de coloração rósea, com absorção máxima a 543 nm (GOLTERMAN et al., 1978).

O método empregado para determinação do **ion amônio** (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em µg/L), ou nitrogênio amoniacal, foi descrito por KOROLEFF (1976): o amônio reage com fenol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O) e hipoclorito de sódio (NaClO), em solução alcalina catalizada pelo nitroprussiato de sódio (Na<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>5</sub>NO]), formando um composto azul. Em baixas concentrações, a absorbância a 630nm é proporcional ao amônio presente.

Segundo o método de determinação do **fosfato inorgânico dissolvido** (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> em µg/l), descrito em STRICKLAND & PARSONS (1960), em solução acidificada, o fosfato reage com o molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) para formar um complexo amarelo, então reduzido pelo ácido ascórbico a um complexo de coloração azul, e determinado espectrofotometricamente a 882nm.

A determinação do **fosfato total dissolvido** (em µg/l), foi baseada no método de STRICKLAND & PARSONS (op. cit.). O fosfato ligado às substâncias orgânicas e os polifosfatos devem sofrer uma digestão com persulfato de potássio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), em altas temperaturas (120°C) e pressão de 1 atm. A solução obtida deve ser tratada como descrito para a determinação do fosfato inorgânico.

Águas naturais, frequentemente, contêm muito mais fósforo do que o encontrado em forma reativa solúvel. Essa diferença é mais significativa em combinações orgânicas, embora polifosfatos inorgânicos possam ser encontrados em águas poluídas. Fosfato ligado a substâncias orgânicas não reage com o molibdato. Esses compostos orgânicos devem ser hidrolizados a fim liberar ions fosfato para a solução. Alta temperatura e alta acidez são essenciais para a digestão. Análises dos hidrolizados das amostras filtrada e não filtrada fornecem as quantidades de fósforo dissolvido e de **fósforo total**, respectivamente.

A técnica adotada para a análise da **silica** (SiO<sub>4</sub>H<sub>4</sub> - SiO<sub>4</sub>H<sub>3</sub><sup>-</sup> em mg/l) foi a descrita em GOLTERMAN et al. (1978).

### 3.5.VARIÁVEIS BIÓTICAS DO SISTEMA

#### 3.5.1.COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

##### 3.5.1.1.ANÁLISE QUALITATIVA

As amostras foram coletadas nas profundidades pré-determinadas, de acordo com a intensidade luminosa e transferidas em frascos de vidro. As preservações para análises qualitativa e quantitativa foram feitas pelas adições de formol a 4% e de lugol acético, respectivamente. Os frascos foram então embrulhados com jornal e armazenados em caixas de papelão para impedir a entrada de radiação solar.

A identificação dos organismos fitoplanctônicos foi realizada através de um microscópio binocular. Foi utilizado, em nível genérico, o sistema de classificação de BOURRELY (1972, 1981 e 1985). Em nível infra-genérico, foram consultadas publicações especializadas: CASTRO, A.A.J. (1993); Ettl, H. (1978); GEITLER, L. (1932); KOMÁREK, J. (1991); KOMÁREK, J. & AGNOSTIDIS, K. (1989); KOMÁREK, J. & FOTT, B. (1983); KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & CRONENBERG, G. (1994); KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & ELORANTA, P. (1992); MOURA, A.T. do N. (1996); NOGUEIRA, I. de S. (1991); POCHMAN, A. (1942); PRESCOTT, G.W. et al. (1982); TORGAN, L.C. (1997); XAVIER, M.B., (1994) e XAVIER, M.B., (1996) e consulta aos especialistas do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

##### 3.5.1.2.ANÁLISE QUANTITATIVA

A análise quantitativa foi feita utilizando-se o método descrito em UTHERMÖHL (1958), que consiste na distribuição, ao acaso, dos indivíduos no fundo das câmaras de sedimentação. Foram utilizadas câmaras com volume de 5ml. O tempo de sedimentação em horas foi, no mínimo, três vezes a altura da câmara, em cm (WETZEL & LIKENS, 1991).

O número de campos contados foi determinado através de uma curva de estabilização, obtida plotando-se num gráfico o número de campos contados pelo

aparecimento de espécies novas. Onde a curva se estabilizou, obteve-se o número de campos necessários para amostrar, inclusive, as espécies mais raras.

Para a contagem, foi utilizado um microscópio invertido ZEISS, com aumento de 400x.

## DENSIDADE

A densidade fitoplanctônica foi calculada seguindo os critérios descritos em APHA (1985):

$$N^{\circ} \text{ORG./ml} = \frac{C \times AT}{Af \times F \times V}$$

Onde:

$N^{\circ} \text{ORG./ml}$  = número de organismos por ml = densidade

C = número de organismos contados

At = área total do fundo da câmara de sedimentação ( $\text{mm}^2$ )

Af = área de um campo de contagem ( $\text{mm}^2$ )

F = número de campos contados

V = volume da amostra sedimentada (ml)

## PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CLASSES

Para a análise da porcentagem de contribuição das classes, foram determinadas a densidade de cada classe e a densidade total em cada amostra contada. Em seguida, esses valores foram aplicados na seguinte fórmula (DEBERDT, 1997):

$$PCC = \frac{Dc}{Dt} \times 100$$

Onde:

PCC = porcentagem de contribuição de cada classe

Dc = densidade de cada classe

Dt = densidade total

### ABUNDÂNCIA RELATIVA

A abundância relativa foi estimada considerando-se o número de indivíduos de cada táxon, em relação ao total de indivíduos. Os grupos de abundância entre 50 e 100% foram considerados dominantes; entre 30 e 49 %, abundantes; entre 10 e 29 %, comuns; entre 1 e 9 %, ocasionais; e menores que 1 %, raros (McCLOUGH & JACKSON, 1985).

### NÚMERO DE ESPÉCIES

O número de espécies encontrado foi o número de espécies determinado em cada amostra.

### ÍNDICES DE DIVERSIDADE, EQUIDADE, RIQUEZA E DOMINÂNCIA

A biodiversidade foi estimada utilizando-se o índice proposto por Shannon & Weaver em 1949. O índice de Shannon foi obtido através da seguinte fórmula (DOS SANTOS, 1996):

$$H = \sum -P_i \times \log_2 P_i$$

Sendo que:

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Onde:

$n_i$  = número de indivíduos, ou biomassa total do taxon  $i$ ;

$N$  = número, ou biomassa total de indivíduos;

H = índice de diversidade

Segundo PIELOU (1975), a diversidade máxima pode ser encontrada quando todas as espécies estiverem igualmente distribuídas. Nesse caso, o índice de diversidade pode ser considerado como uma medida da equidade, a qual é expressa como a razão entre a diversidade real e a diversidade hipotética (distribuição uniforme das espécies), de acordo com a fórmula abaixo:

$$E = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Onde:

E = equidade

H' = índice de diversidade de Shannon

H'max =  $\log_2 S$  = número de diversidade específica máxima teórica, resultante da distribuição uniforme de todas as espécies na amostra.

Os valores de equidade variam entre 0 e 1, sendo que equidade igual a 1 representa a condição em que as espécies estão igualmente distribuídas. A equidade representa de que forma os indivíduos estão distribuídos entre os táxons; a riqueza de uma amostra equivale ao número total de táxons nela presente (POOLE, 1974).

O índice de riqueza e o índice de dominância foram calculados de acordo com as fórmulas propostas por SIMPSON (1949) apud ODUM (1988):

$$d = \frac{S-1}{\log N} \quad c = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$

Onde:

d = índice de riqueza

c = índice de dominância

### 3.5.2. BIOVOLUME DAS CÉLULAS FITOPLANCTÔNICAS

O tamanho e volume das células fitoplanctônicas foram determinados utilizando-se a forma geométrica aproximada de cada espécie, segundo técnica descrita em WETZEL & LIKENS (1991).

Foram medidos no mínimo 30 e no máximo 50 indivíduos das espécies mais freqüentes por amostra. Nas espécies raras, as medidas foram efetuadas em todos os indivíduos que apareceram na contagem.

### 3.5.3. CLOROFILA E FEOPIGMENTOS

Os filtros Whatmann GFC utilizados para filtração das amostras (réplicas de 500 ml) foram acondicionados em envelopes de papel e frascos âmbar contendo sílica-gel e mantidos no freezer até o dia anterior à extração, quando então foram transferidos à geladeira.

Os teores de clorofila *a* e feofitina foram determinados segundo a técnica descrita em norma holandesa (Nederlandse Norm – NEN 6520, 1981) baseada em NUSCH & PALME (1975), MOED & HALLEGRAEFF (1978) e NUSCH (1980). Foram determinadas as concentrações totais e as concentrações em partículas menores que 20  $\mu\text{m}$ . Para o fracionamento foi utilizada uma rede de 20  $\mu\text{m}$  de porosidade.

A clorofila foi extraída com etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ ) a 80 %. Após 5 minutos em banho maria a 75°C, os tubos contendo os filtros foram resfriados e deixados em repouso por aproximadamente 15 horas e os extratos foram lidos no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda 665 e 750 nm. Para acidificação dos extratos e determinação da feofitina, utilizou-se ácido clorídrico (HCl) 0,4N, sendo adicionado cerca de 0,05 ml para 8-10 ml de cada extrato, estabelecido o pH em torno de 2,6 e 2,8. Após intervalos de 5 e 30 minutos foram feitas novas leituras no espectrofotômetro, nos mesmos comprimentos de onda.

As fórmulas utilizadas para o cálculo desses pigmentos são as descritas em NUSCH (op. Cit.), com modificações no coeficiente de absorção específica da clorofila *a*, baseado em MARKER et al. (1980):

$$\text{Clorofila } a = 27,9.(E_b - E_a).V$$

$$\text{Feofitina} = 27,9.[(1,7 E_a) - E_b] . V$$

Onde:

$E_b$  = diferença das leituras entre 665nm – 750nm antes da acidificação

$E_a$  = diferença das leituras entre 665nm – 750nm depois da acidificação

$$V = \frac{a}{b}$$

Onde:

$a$  = volume do solvente usado para extrair a amostra, em ml (10 ml)

$b$  = volume de água filtrada em litros (0,5 litros) × caminho óptico da cubeta do espectrofotômetro em cm (1 cm)

Os resultados são expressos em  $\mu\text{g/L}$ .

### 3.5.4. PRODUÇÃO PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA

#### 3.5.4.1. MÉTODO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O método do  $\text{O}_2$  foi introduzido por GAARDER & GRAN (1972) e não sofreu consideráveis modificações com relação à base técnica. Consiste na estimativa do oxigênio liberado durante a fotossíntese, em condições experimentais. O oxigênio é determinado pelo método de “Winkler” (1888) modificado por POMEROY & KIRSCHMAN (1945), descrito em GOLTERMAN et al. (1978).

Essa técnica apresentou, fundamentalmente, as seguintes fases (CALIJURI, 1985):

a) Coletou-se as amostras nas profundidades-padrão de radiação solar subaquática anteriormente mencionadas.

- b) Determinou-se a concentração inicial de oxigênio na coluna de água.
- c) Utilizou-se amostras em frascos transparentes e escuros, com 250 ml de capacidade. Essas amostras foram incubadas pelo processo "in situ", por um período de 4 horas.
- d) Determinou-se a concentração final de oxigênio, nos frascos transparentes e escuros.
- e) A quantidade de oxigênio produzida pela fotossíntese, pôde ser calculada levando-se em conta que:

$$\text{Respiração da Comunidade} = C_1 - C_2 / \Delta t$$

$$\text{Produção primária Bruta} = C_3 - C_2 / \Delta t$$

$$\text{Produção líquida da Comunidade} = (C_3 - C_2) - (C_1 - C_2) / \Delta t \quad \text{onde;}$$

$C_1$  = concentração inicial de  $O_2$  nas amostras

$C_2$  = concentração de  $O_2$  no frasco escuro após o tempo experimental

$C_3$  = concentração de  $O_2$  no frasco claro após o tempo experimental

$\Delta t$  = tempo de incubação.

#### 3.5.4.2. MÉTODO DO $^{14}C$

No método do  $^{14}C$ , a determinação da produção primária do fitoplâncton seguiu as bases técnicas desenvolvidas por STEEMANN-NIELSEN (1952), descritas por VOLLENWEIDER (1974) e GARGAS (1975). Esse método consiste na adição de uma quantidade conhecida do isótopo  $^{14}C$ , sob a forma de bicarbonato de sódio ( $NaH^{14}CO_3$ ), e na determinação da fixação de carbono radioativo pelo fitoplâncton sob condições experimentais.

A sequência seguida nesse experimento foi a seguinte:

a) As amostras de água foram coletadas nas profundidades-padrão de radiação solar subaquática anteriormente mencionadas e transferidas para frascos de vidro transparente tipo Jenna, de 70 ml de capacidade e com 98% de transparência. Foi utilizada a técnica dos frascos claros e escuros.

b) Então, procedeu-se a inoculação das amostras, com 1,00 ml de solução de  $NaH^{14}CO_3$ , com atividade equivalente a 5  $\mu Ci$ .

c) A incubação foi realizada “in situ”, com exposição das amostras durante 4 horas (VOLLENWEIDER, 1974), em posição horizontal e suspensas nas mesmas profundidades das coletas.

d) Após o período de incubação, as amostras foram retiradas, envolvidas em pano preto e úmido e levadas ao laboratório, onde foram filtradas. A filtração, sob vácuo, foi feita utilizando-se filtros Millipore H.A. (0,45 µm de porosidade e 25mm de diâmetro). O volume filtrado foi de 30 ml. Após a filtração, os filtros foram secos, embrulhados em alumínio e guardados em um dessecador com sílica-gel.

e) Para a determinação da radioatividade do  $^{14}\text{C}$ , os filtros foram dissolvidos na solução cintiladora “Bray”, composta das proporções de solutos (BRAY, 1960):

60 g naftaleno p.a. ( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ )

4g (PPO) 2,5 dipheniloxazol ( $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{NO}$ )

20 g (POPOP) 1,4- Bis - 2(4-methyl-5-feniloxazol) benzeno

100 ml de metanol p.a. ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )

100 ml de etileno glicol p.a.

Dioxano 1,4 até completar 1 litro, em balão volumétrico.

Para a leitura (em CPM - “counts per minutes”) no cintilador Beckman mod. L.S. 100, os filtros foram colocados em frascos com 10 ml do líquido cintilador “Bray”.

f) Pela curva de eficiência de cada amostra, os CPM foram corrigidos para 100%.

Para o cálculo final de carbono assimilado, foi usada a equação de GARGAS (1975):

$$^{12}\text{C} \text{ assimilado} = \frac{^{14}\text{C} \text{ assimilado}(a) \times ^{12}\text{C} \text{ disponível}(c)}{^{14}\text{C} \text{ adicionado}(b)} \times 1,05(d) \times 1,06(e) \times K1 \times K2 \times K3$$

Onde:

a = CPM líquido = (CPM<sub>fr. transp.</sub> - background) - (CPM<sub>fr. preto</sub> - background);

b = atividade específica da ampola;

c =  $\text{CO}_2$  total (mol/l  $\times$  12 (P.A. do carbono) = mgC inorg/l;

$d$  = correção devido à respiração da matéria orgânica produzida durante o experimento. A taxa de produção é assim corrigida para representar a taxa de produção bruta;

$e$  = correção devido ao efeito de discriminação isotópica do carbono;

$K_1$  = correção para o volume da alíquota filtrada. Neste trabalho,  $K_1 = 7/3$ ;

$K_2$  = correção para o fator tempo de exposição da amostra;

$K_3$  = um fator dimensional para converter  $\text{mgC.l}^{-1}$  em  $\text{mgC/m}^3$ .

Para o cálculo da produção primária em  $\text{mgC/m}^2\cdot\text{h}$  utilizou-se o método geométrico da soma das áreas dos trapézios (GARGAS, 1975).

### 3.5.5. TAXA DE ASSIMILAÇÃO

A partir dos resultados obtidos de produção primária e de concentração de clorofila  $a$ , foi determinada a taxa de assimilação na coluna d'água em  $\text{mgC/mgChla}\cdot\text{h}$ .

### 3.6. ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

Os Índices de Estado Trófico (IET) foram desenvolvidos com a finalidade de classificar-se as águas de lagos e reservatórios, facilitando assim, a comunicação ao público sobre o estado ou natureza em que se encontram tais sistemas. Toda a classificação trófica é dividida em uma série de classes denominadas de estados tróficos. Os sistemas tradicionais dividem-se em três classes: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. Alguns sistemas também incluem algumas outras classes como ultraoligotrófico, hipereutrófico, entre outros (CARLSON, 1977).

Através dos resultados e concentrações de clorofila  $a$ , transparência da água (Disco de Secchi) e de fósforo total, foi determinado o IET proposto por CARLSON (1977), modificado por KRATZER & BREZONIK (1981). Realizou-se transformações lineares dos valores obtidos para essas variáveis, utilizando-se as seguintes equações:

$$IET(Ds) = 10 \times \left( 6 - \ln \frac{Ds}{\ln 2} \right)$$

$$IET(Pt) = 10 \times \left( 6 - \ln 48 / Pt / \ln 2 \right)$$

$$IET(Chl) = 10 \times \left( 6 - 2,04 - 0,68 \ln Chl / \ln 2 \right)$$

Onde:

Ds = leitura da transparência do Disco de Secchi (m)

Pt = concentração de fósforo total na superfície (µg/l)

Chl = concentração de clorofila na superfície (µg/l)

Os resultados obtidos foram comparados aos valores que constam na Tabela 2, obtendo-se, assim, o estado de trofia.

**TABELA 1:** Índice de Carlson alterado por KRATZER & BREZONIK (1981).

| <i>Estado Trófico</i>     | <i>IET</i> |
|---------------------------|------------|
| <b>Ultra-oligotrófico</b> | <20        |
| <b>Oligotrófico</b>       | 21-40      |
| <b>Mesotrófico</b>        | 41-50      |
| <b>Eutrófico</b>          | 51-60      |
| <b>Hipereutrófico</b>     | >61        |

Para a confirmação dos resultados obtidos utilizando-se o IET de CARLSON (op. cit.) modificado por KRATZER & BREZONIK (op. cit.), utilizou-se um modelo simplificado para avaliação do processo de Eutrofização em lagos e reservatórios tropicais, proposto por TOLEDO JR. et. al. (1983). Realizou-se, também, as transformações lineares dos valores obtidos para as variáveis já utilizadas no modelo anterior, acrescentando-se ainda o fosfato inorgânico (ortofosfato), utilizando-se as seguintes equações:

$$IET(S) = 10 \times \left( 6 - 0,64 + \ln S / \ln 2 \right)$$

$$IET(P) = 10 \times \left( 6 - \frac{\ln(80,32 / P)}{\ln 2} \right)$$

$$IET(PO_4) = 10 \times \left( 6 - \frac{\ln(21,67 / PO_4)}{\ln 2} \right)$$

$$IET(Cl) = 10 \times \left( 6 - 2,04 - \frac{0,695 \ln Cl}{\ln 2} \right)$$

Onde:

S = leitura da transparência do Disco de Secchi (m)

P = concentração de fósforo total na superfície ( $\mu\text{g/l}$ )

$PO_4$  = concentração de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g/l}$ )

Cl = concentração de clorofila na superfície ( $\mu\text{g/l}$ )

Segundo TOLEDO JR. et. al. (op. cit.), a equação obtida para a profundidade de disco de Secchi apresenta uma deficiência em certos casos, sendo a sua utilização uma referência grosseira ao estado de trofia. Para contornar tal problema, os autores propõem uma ponderação, um IET médio, incluindo todos os outros. Essa ponderação seria calculada da seguinte maneira:

$$IET = \frac{IET(S) + 2[IET(P) + IET(PO_4) + IET(Cl)]}{7}$$

Os resultados obtidos pelas transformações lineares de todas as variáveis e também pela ponderação, foram avaliados conforme o critério de avaliação observado na Tabela 3, obtendo-se o estado de trofia.

**TABELA 2:** Índice de Carlson alterado por TOLEDO JR. et. al. (1983).

| <i>Estado Trófico</i> | <i>IET</i>      |
|-----------------------|-----------------|
| <b>Oligotrófico</b>   | $\leq 44$       |
| <b>Mesotrófico</b>    | $44 < IET < 54$ |
| <b>Eutrófico</b>      | $\geq 54$       |

## 4.RESULTADOS

### 4.1.VARIÁVEIS ABIÓTICAS DO SISTEMA

#### 4.1.1.VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

As horas de insolação, a precipitação total, os valores médios de velocidade do vento e de temperatura do ar nos dias antecedentes à coleta, nos dias de coleta e ao longo dos meses de estudo encontram-se nas Tabelas 4a e 4b. Os valores médios de temperatura do ar, velocidade do vento e radiação solar, durante os experimentos de produção primária, encontram-se na Tabela 5.

##### 4.1.1.1.VENTO

Nos três dias antecedentes aos de coletas, os maiores valores de velocidade do vento foram encontrados no mês de agosto de 1995, e os menores valores, no mês de abril de 1996. Ainda nos dias antecedentes às coletas, o valor máximo de velocidade do vento registrado, 8,7 m/s, foi obtido no dia 12/09/95 (dia anterior à coleta de setembro) e o mínimo, 0,7 m/s, no dia 12/03/96 (dia anterior à coleta de março). Nos dias de coleta, o valor máximo de velocidade do vento foi de 4,0 m/s, observado em 13/09/95. O menor valor registrado foi de 1,3 m/s nos dias 09/11/95, 08/01/96 e 02/07/96. A maior média mensal foi encontrada no mês de setembro de 1995 com o valor de 4,2 m/s, e as menores médias mensais, 2,2 m/s, nos meses de

janeiro e março de 1996. Os valores obtidos no reservatório de Salto Grande durante os experimentos, confirmam os dados obtidos nas estações climatológicas. O maior valor de velocidade do vento, 2,33 m/s, foi obtido no dia 13/09/95 e o menor valor, 0,37 m/s, no dia 08/01/96.

#### 4.1.1.2.PRECIPITAÇÃO

Nos três dias antecedentes aos de coletas, os maiores valores de precipitação total foram encontrados nos meses de dezembro de 1995 e janeiro de 1996 e os menores valores, nos meses de setembro, outubro e novembro de 1995. Ainda nos dias antecedentes às coletas, o valor máximo de precipitação, 65,3 mm, foi encontrado no dia 07/01/96 (dia anterior à coleta de janeiro) e nos dias que antecederam as coletas dos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 1995 e março, maio, junho e julho de 1996, não houve precipitação. Nos dias de coleta a maior precipitação, 41,2 mm, foi obtida em 08/01/96. Nos demais meses de coleta, com exceção de 08/02/96 (8,5 mm), praticamente não houve precipitação nos dias de coleta. A maior média mensal, 366,5 mm, ocorreu no mês de janeiro de 1996 e a menor, 1,3 mm, no mês de agosto de 1995.

#### 4.1.1.3.TEMPERATURA DO AR

Nos três dias antecedentes aos de coletas, os maiores valores de temperatura do ar foram encontrados no mês de setembro de 1995, e os menores valores, no mês de julho de 1996. Ainda nos dias antecedentes às coletas, o valor máximo de temperatura do ar registrado, 26,0 °C, foi obtido nos dias 11/09/95 (dois dias antes da coleta de setembro) e 08/11/95 (dia anterior à coleta de novembro) e o mínimo 10,5 °C, no dia 30/06/96 (dois dias antes da coleta de julho). Nos dias de coleta, o valor máximo de temperatura do ar foi de 27,2 °C, no dia 09/11/95. O menor valor registrado foi de 15,8 °C, no dia 10/06/96. A maior média mensal foi encontrada no mês de fevereiro de 1996 com o valor de 24,5 °C, e a menor média mensal, 16,6 °C, no mês de julho de 1996. Os valores obtidos no reservatório de Salto Grande durante os experimentos, confirmam os dados obtidos nas estações climatológicas. O maior

valor de temperatura do ar, 36,5 °C, foi obtido no dia 09/11/95 e o menor valor, 22,1 °C, no dia 13/09/95, apesar dos dias anteriores a essa coleta terem apresentado maiores temperaturas.

#### 4.1.1.4. RADIAÇÃO SOLAR e HORAS DE INSOLAÇÃO

Nos três dias antecedentes aos de coletas, os maiores valores de horas de insolação foram encontrados no meses de junho e julho de 1996, e os menores, nos meses de dezembro de 1995 e janeiro de 1996. Ainda nos dias antecedentes às coletas, o valor máximo de horas de insolação, 9,8 h, foi registrado no dia 01/07/96 (dia anterior à coleta de julho) e o mínimo, 0,0 h, nos três dias que antecederam as coletas dos meses de setembro, março e abril, respectivamente. Nos dias de coleta, o valor máximo de horas de insolação foi de 8,0 h, no dia 02/07/96, e o menor, de 0,0 h, no dia 12/04/96. A maior média mensal foi encontrada no mês de agosto de 1995, com o valor de 7,1 h, e a menor, 2,1 h, no mês de janeiro de 1996. Os valores de radiação solar obtidos no reservatório de Salto Grande durante os experimentos, tanto na medição em  $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  como em  $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , confirmam os menores valores de horas de insolação obtidos nas estações climatológicas, nos dias que antecederam a coleta do mês de abril de 1996. Os menores valores,  $133,7 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  (durante todo o período de incubação) e  $435,0 \mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  (média entre as radiações no início e final do experimento) foram obtidos no dia 12/04/96. Os maiores valores de radiação solar,  $401,5 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  (durante todo o período de incubação) e  $1650,0 \mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  (média entre as radiações no início e final do experimento) obtidos nos dias 09/11/95 e 13/03/96, respectivamente, divergiram dos valores de horas de insolação obtidos nas estações climatológicas.

**TABELA 3a.** Variáveis climatológicas nos dias antecedentes às coletas, nos dias de coleta e ao longo dos meses de estudo no primeiro semestre de trabalho, no reservatório de Salto Grande.

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 05/08/95                 | 06/08/95 | 07/08/95 | 08/08/95             | Agosto/95           |
| Horas de Insolação      | 0,0                      | 5,5      | 5,5      | 4,2                  | 7,1                 |
| Precipitação Total (mm) | 0,0                      | 1,3      | 0,0      | 0,0                  | 1,3                 |
| Vento (m/s)             | 7,7                      | 7,0      | 3,3      | 2,0                  | 3,2                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 18,9                     | 13,9     | 17,6     | 23,6                 | 21,8                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 10/09/95                 | 11/09/95 | 12/09/95 | 13/09/95             | Setembro/95         |
| Horas de Insolação      | 8,2                      | 8,0      | 0,0      | 0,2                  | 4,2                 |
| Precipitação Total (mm) | 0,0                      | 0,0      | 0,0      | 0,0                  | 48,7                |
| Vento (m/s)             | 1,0                      | 1,7      | 8,7      | 4,0                  | 4,2                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 24,6                     | 26,0     | 24,9     | 21,1                 | 21,5                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 08/10/95                 | 09/10/95 | 10/10/95 | 11/10/95             | Outubro/95          |
| Horas de Insolação      | 2,7                      | 0,9      | 4,2      | 6,7                  | 3,1                 |
| Precipitação Total (mm) | 0,0                      | 0,0      | 0,0      | 0,0                  | 165,7               |
| Vento (m/s)             | 0,7                      | 3,0      | 2,3      | 3,7                  | 3,0                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 24,4                     | 24,8     | 22,1     | 20,6                 | 21,0                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 06/11/95                 | 07/11/95 | 08/11/95 | 09/11/95             | Novembro/95         |
| Horas de Insolação      | 5,7                      | 6,7      | 6,5      | 6,3                  | 4,2                 |
| Precipitação Total (mm) | 0,0                      | 0,0      | 0,0      | 0,0                  | 138,6               |
| Vento (m/s)             | 2,7                      | 3,7      | 2,3      | 1,3                  | 3,3                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 22,9                     | 24,8     | 26,0     | 27,2                 | 22,1                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 12/12/95                 | 13/12/95 | 14/12/95 | 15/12/95             | Dezembro/95         |
| Horas de Insolação      | 0,0                      | 0,3      | 1,4      | 3,8                  | 2,8                 |
| Precipitação Total (mm) | 2,4                      | 29,8     | 10,0     | 0,0                  | 226,6               |
| Vento (m/s)             | 2,7                      | 4,7      | 4,7      | 3,7                  | 3,0                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 23,0                     | 20,5     | 18,6     | 20,1                 | 23,1                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 05/01/96                 | 06/01/96 | 07/01/96 | 08/01/96             | Janeiro/96          |
| Horas de Insolação      | 1,2                      | 0,0      | 0,4      | 0,5                  | 2,1                 |
| Precipitação Total (mm) | 1,2                      | 11,3     | 65,3     | 41,2                 | 366,5               |
| Vento (m/s)             | 3,3                      | 3,7      | 2,0      | 1,3                  | 2,2                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 23,0                     | 24,8     | 23,2     | 22,8                 | 24,2                |

**TABELA 3b.** Variáveis climatológicas nos dias antecedentes às coletas, nos dias de coleta e ao longo do meses de estudo no segundo semestre de trabalho, no reservatório de Salto Grande.

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 05/02/96                 | 06/02/96 | 07/02/96 | 08/02/96             | Fevereiro/96        |
| Horas de Insolação      | 1,7                      | 0,1      | 0,5      | 1,7                  | 2,3                 |
| Precipitação Total (mm) | 9,8                      | 0,0      | 8,9      | 8,5                  | 277,6               |
| Vento (m/s)             | 2,3                      | 1,0      | 4,0      | 2,7                  | 2,9                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 24,8                     | 25,1     | 23,8     | 24,5                 | 24,5                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 10/03/96                 | 11/03/96 | 12/03/96 | 13/03/96             | Março/96            |
| Horas de Insolação      | 4,3                      | 2,5      | 0,0      | 0,2                  | 2,4                 |
| Precipitação Total (mm) | 3,3                      | 0,0      | 0,0      | 0,0                  | 200,7               |
| Vento (m/s)             | 6,3                      | 3,3      | 0,7      | 2,0                  | 2,2                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 21,5                     | 21,4     | 22,5     | 20,5                 | 23,6                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 09/04/96                 | 10/04/96 | 11/04/96 | 12/04/96             | Abril/96            |
| Horas de Insolação      | 5,2                      | 4,8      | 0,0      | 0,0                  | 6,5                 |
| Precipitação Total (mm) | 0,0                      | 16,5     | 6,8      | 0,2                  | 61,7                |
| Vento (m/s)             | 1,0                      | 1,7      | 2,3      | 2,0                  | 2,9                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 24,0                     | 24,6     | 25,1     | 20,9                 | 21,9                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 18/05/96                 | 19/05/96 | 20/05/96 | 21/05/96             | Maió/96             |
| Horas de Insolação      | 0,0                      | 4,3      | 2,0      | 2,3                  | 4,6                 |
| Precipitação Total (mm) | 0,0                      | 2,3      | 0,0      | 0,0                  | 21,2                |
| Vento (m/s)             | 2,3                      | 1,7      | 1,3      | 2,0                  | 2,8                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 19,9                     | 16,5     | 18,4     | 17,9                 | 18,2                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 07/06/96                 | 08/06/96 | 09/06/96 | 10/06/96             | Junho/96            |
| Horas de Insolação      | 6,1                      | 6,5      | 6,5      | 6,2                  | 4,5                 |
| Precipitação Total (mm) | 3,9                      | 0,0      | 0,0      | 0,0                  | 38,9                |
| Vento (m/s)             | 1,0                      | 2,0      | 3,7      | 3,0                  | 2,7                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 15,0                     | 16,4     | 16,1     | 15,8                 | 17,7                |

|                         | <i>3 Dias Anteriores</i> |          |          | <i>Dia de Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
|                         | 29/06/96                 | 30/06/96 | 01/07/96 | 02/07/96             | Julho/96            |
| Horas de Insolação      | 2,9                      | 4,7      | 9,8      | 8,0                  | 4,6                 |
| Precipitação Total (mm) | 23,5                     | 0,0      | 0,0      | 0,0                  | 2,3                 |
| Vento (m/s)             | 2,0                      | 4,0      | 1,7      | 1,3                  | 2,7                 |
| Temperatura do ar (°C)  | 12,3                     | 10,5     | 17,1     | 18,7                 | 16,6                |

## 4.1.2.VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

### 4.1.2.1.VAZÃO

Os valores médios mensais de vazão podem ser observados na figura 8.

A maior média mensal de vazão foi encontrada no mês de março de 1996, com o valor de 87,31 m<sup>3</sup>/s, e a menor média mensal, 11,73 m<sup>3</sup>/s, no mês de setembro de 1995.

Na figura 8 podem ser observados os picos de vazão média nos meses de janeiro e março de 1996 e o valor mais baixo no mês de setembro de 1995.

### 4.1.2.2.TEMPO MÉDIO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA

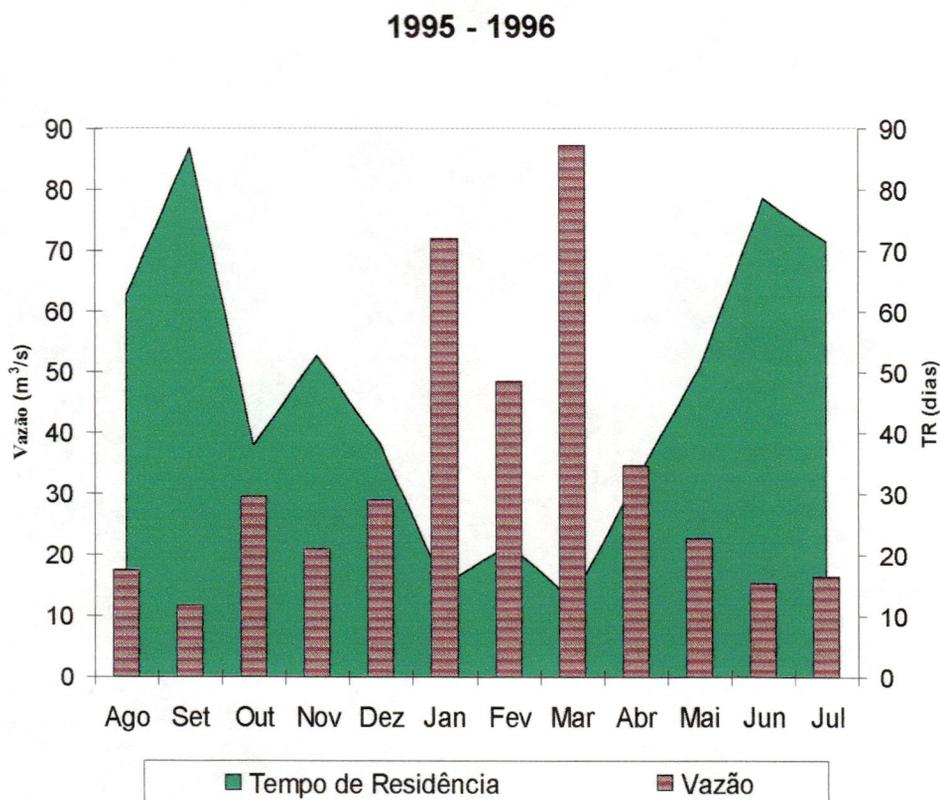
Na figura 8 podem ser observados os picos de tempo médio de retenção hidráulica encontrados nos meses de setembro de 1995 e junho de 1996, onde se observam, pela relação inversa, os menores valores de vazão. Esses picos médios mensais, registrados nos meses de seca, foram 5 vezes maiores que os valores mais baixos obtidos nos meses chuvosos (janeiro e março de 1996).

A maior média mensal foi encontrada no mês de setembro de 1995 com o valor de 87,0 dias, e a menor, 12,7 dias, no mês de março de 1996.

### 4.1.2.3. RADIAÇÃO SOLAR SUBAQUÁTICA

Na Figura 9 são apresentados os perfis de radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) na estação de coleta, ao longo dos meses de estudo.

Os valores médios de R.F.A. registrados (médias entre as duas medidas; hora inicial dos experimentos e hora final) variaram entre 975  $\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$  em 13/03/96 (mais alto) e 202,5  $\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$  em 12/04/96 (mais baixo). A profundidade de extinção variou de 1,25 metros de profundidade nos dias 08/01/96 e 13/03/96 a 3,75 metros no dia 11/10/95. Os perfis de R.F.A. apresentaram maiores valores na superfície da coluna d'água.



**Figura 8.** Variação do tempo de residência (dias) e vazão ( $m^3/s$ ) da água, no reservatório de Salto Grande, médias mensais de agosto/95 a julho/96.

#### 4.1.2.4. TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA E COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO

As profundidades de desaparecimento do disco de Secchi, da coluna d'água, da zona eufótica, a razão entre a profundidade da zona eufótica e coluna d'água e os valores dos coeficientes de extinção total, ao longo do período de estudo, são apresentados na Tabela 6.

A profundidade máxima na qual o disco de Secchi desapareceu foi de 1,40 metros no dia 15/12/95, e mínima, de 0,20 metros, no dia 13/03/96.

A variação da profundidade máxima da estação de coleta pode estar relacionada às variações do volume de água do reservatório ou mudanças de poucos

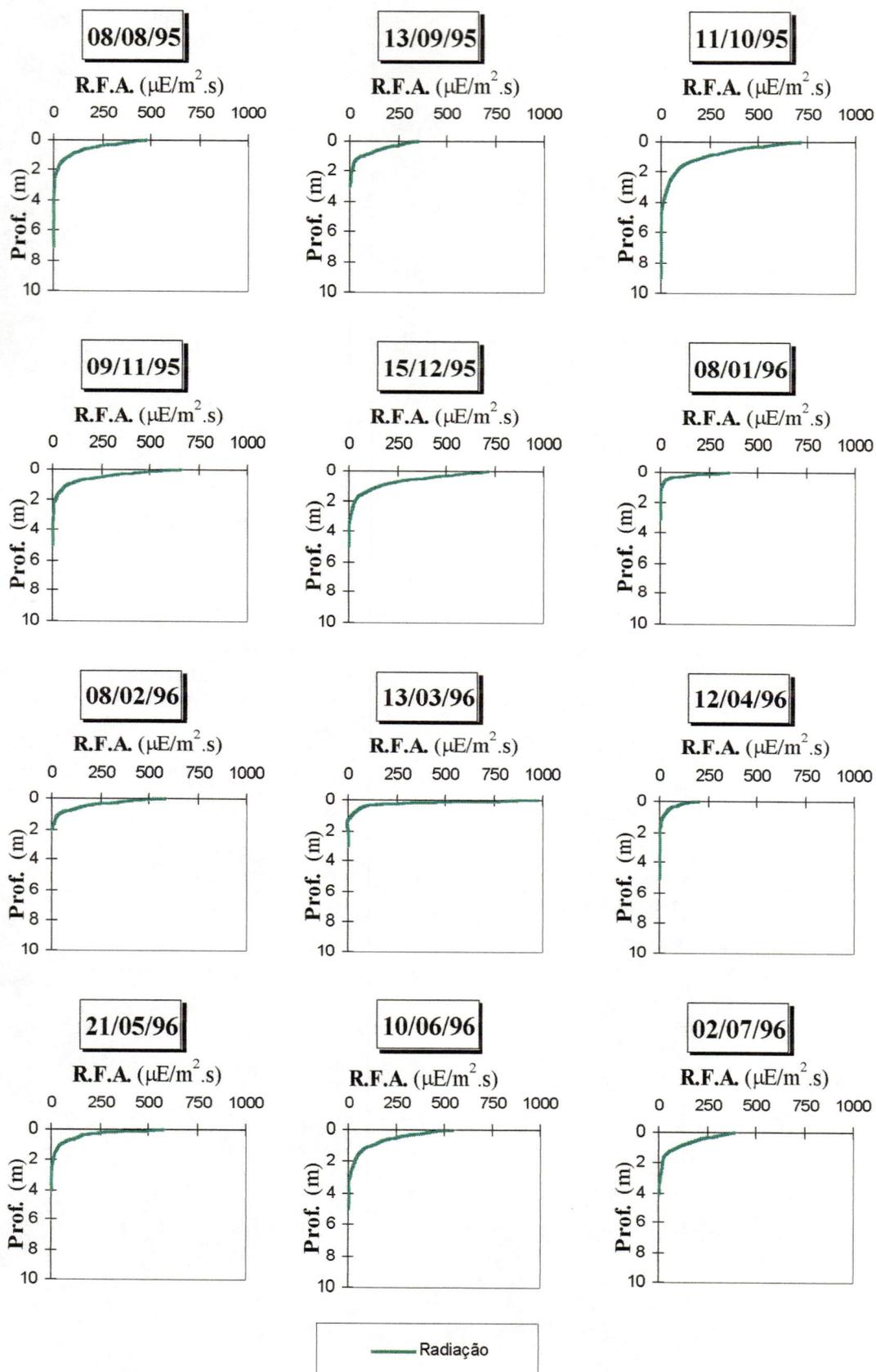
metros na localização da estação de coleta. A estação de coleta atingiu o máximo de profundidade, 14,0 m, na coleta do dia 11/10/1995 e o mínimo, 10,30 m, no dia 13/09/1995.

O limite mais elevado da zona eufótica, 3,75 m, foi registrado na coleta do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 1,25m, nas coletas dos dias 08/01 e 13/03/1996. A relação entre profundidade limite da zona eufótica e profundidade máxima foi maior no dia 15/12/1995, com o valor de 0,32, e menores nos dias 08/01 e 13/03/1996.

O maior valor do coeficiente de extinção total,  $4,56 \mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , foi obtido no dia 13/03/96 e o menor, 1,13, no dia 11/10/95.

**TABELA 4:** Variáveis climatológicas nos dias de coleta (dados obtidos no Reservatório de Salto Grande – Americana S.P.).

|          | Durante Experimento<br>(Incubação) |             |                                       | Radiação Solar no Ponto de Coleta<br>( $\mu E/m^2 \cdot s$ ) |          |              |          | Duração do Experimento        |                |
|----------|------------------------------------|-------------|---------------------------------------|--|----------|--------------|----------|-------------------------------|----------------|
|          | Temperatura do Ar (°C)             | Vento (m/s) | Radiação Solar (Cal.cm <sup>3</sup> ) | Hora Início  | Radiação | Hora Término | Radiação | Radiação Média entre Horários | Total em Horas |
| 08/08/95 | 24,7                               | 0,65        | 262,5                                 | 10:00  | 1050     | 14:00        | 1250     | 1150,0                        | 4:00           |
| 13/09/95 | 22,1                               | 2,33        | 230,3                                 | 10:15  | 500      | 15:15        | 1200     | 850,0                         | 5:00           |
| 11/10/95 | 27,3                               | 1,26        | 320,0                                 | 09:20  | 1400     | 13:20        | 1500     | 1450,0                        | 4:00           |
| 09/11/95 | 36,5                               | 0,89        | 401,5                                 | 9:55   | 1400     | 13:55        | 1500     | 1450,0                        | 4:00           |
| 15/12/95 | ----                               | 0,73        | ----                                  | 10:06  | 1350     | 14:06        | 1750     | 1550,0                        | 4:00           |
| 08/01/96 | 23,8                               | 0,37        | ----                                  | 09:40  | 650      | 14:40        | 1000     | 825,0                         | 5:00           |
| 08/02/96 | 32,3                               | 0,48        | 397,3                                 | 09:25  | 150      | 14:25        | 1920     | 1035,0                        | 5:00           |
| 13/03/96 | 31,8                               | 0,51        | 308,5                                 | 09:30  | 1300     | 13:30        | 2000     | 1650,0                        | 4:00           |
| 12/04/96 | 26,3                               | ----        | 133,7                                 | 10:45  | 370      | 15:30        | 500      | 435,0                         | 4:45           |
| 21/05/96 | 30,2                               | 0,43        | 191,5                                 | 09:35  | 950      | 13:35        | 1000     | 975,0                         | 4:00           |
| 10/06/96 | 28,2                               | 1,02        | 205,4                                 | 09:55  | 1200     | 13:55        | 1350     | 1275,0                        | 4:00           |
| 02/07/96 | ----                               | 0,84        | ----                                  | 09:40  | 1125     | 13:40        | 1100     | 1112,5                        | 4:00           |



**Figura 9.** Perfis de radiação fotossinteticamente ativa no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

**TABELA 5:** Profundidades em que o disco de Secchi desapareceu ( $Z_{ds}$ ), profundidade máxima ( $Z_{max}$ ), limite da zona eufótica ( $Z_{euf}$ ), razão zona eufótica e profundidade máxima ( $Z_{euf}/Z_{max}$ ) e coeficiente de atenuação total ( $K_t$ ) na estação de coleta do Reservatório de Salto Grande, ao longo dos doze meses de estudo.

| <i>Datas</i> | $Z_{DS}$<br>(m) | $Z_{max}$<br>(m) | $Z_{euf}$<br>(m) | $Z_{euf}/Z_{max}$ | $K_t$<br>( $\mu E/m^2.s$ ) |
|--------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| 08/08/1995   | 1,15            | 12,60            | 3,50             | 0,27              | 1,42                       |
| 13/09/1995   | 1,00            | 10,30            | 3,00             | 0,29              | 1,65                       |
| 11/10/1995   | 1,20            | 14,00            | 3,75             | 0,27              | 1,14                       |
| 09/11/1995   | 0,60            | 11,50            | 2,00             | 0,17              | 1,93                       |
| 15/12/1995   | 1,40            | 11,00            | 3,50             | 0,32              | 1,56                       |
| 08/01/1996   | 0,45            | 11,50            | 1,25             | 0,11              | 4,16                       |
| 08/02/1996   | 0,60            | 12,80            | 2,00             | 0,16              | 2,66                       |
| 13/03/1996   | 0,20            | 11,50            | 1,25             | 0,11              | 4,56                       |
| 12/04/1996   | 0,70            | 12,00            | 2,00             | 0,16              | 2,39                       |
| 21/05/1996   | 0,80            | 13,00            | 2,25             | 0,17              | 2,22                       |
| 10/06/1996   | 1,35            | 11,00            | 3,00             | 0,27              | 1,47                       |
| 02/07/1996   | 1,00            | 12,00            | 3,00             | 0,25              | 1,49                       |

#### 4.1.2.5. PERFIS DE TEMPERATURA, OXIGÊNIO DISSOLVIDO, pH e CONDUTIVIDADE

As médias dos valores de temperatura e das concentrações de oxigênio dissolvido, nas zona eufótica e afótica, ao longo dos doze meses de estudo, são observados na Tabela 7. Na Figura 10 são apresentados os perfis de temperatura e oxigênio dissolvido. Nas figuras 11 e 12 são apresentadas as isolíneas de temperatura e oxigênio dissolvido, respectivamente.

As temperaturas médias mais altas, tanto na zona eufótica, 27,4 °C, como na afótica, 27,2 °C, foram observadas na coleta do dia 08/02/96. As temperaturas médias mais baixas, 18,7 °C na zona eufótica e 18,3 °C na afótica, foram medidas na coleta do dia 02/07/96.

Os perfis de temperatura mostram uma tendência à homogeneidade na coluna d'água ao longo dos meses de estudo. Apenas nos meses de outubro e novembro (11/10/95 e 09/11/95 respectivamente) observou-se a ocorrência de estratificação, sendo que nesse último mês aparece a formação de termoclina em torno de 2 metros de profundidade. No dia 09/11/95 registrou-se a maior variação de temperatura na coluna d'água, 21,3 °C a 27,5 °C, sendo, essa última, a mais alta registrada em todo o período de estudo. A mais baixa temperatura da água, 18,2 °C, foi registrada no dia 02/07/96, sendo que nessa data também ocorreu a menor variação ao longo da coluna d'água, 18,2 a 18,8 °C.

As isolíneas evidenciam os maiores valores de temperatura da água entre os meses de outubro de 1995 e abril de 1996, com picos nos meses de novembro de 1995 e fevereiro de 1996. A estratificação térmica é facilmente visualizada nos meses de outubro e novembro de 1995.

A concentração média mais alta de oxigênio dissolvido na zona eufótica, com o valor de 14,36 mg/l, foi determinada no dia 09/11/95 e na zona afótica, 5,19 mg/l, no dia 13/09/95. A concentração média de oxigênio dissolvido mais baixa, na zona eufótica, 2,40 mg/l, foi determinada no dia 10/06/96 e na zona afótica, 0,19 mg/l, no dia 11/10/95.

Os perfis de oxigênio dissolvido, apresentaram-se da maneira mais homogênea apenas nos dias 13/09/95 e 10/06/96. Nos dias 09/08, 11/10, 09/11 de 1995 e 08/01, 08/02, 12/04, 21/05 de 1996 os perfis mostraram-se estratificados, com padrão clinogrado. Nos dias 15/12/95 e 13/03, 02/07 de 1996 os perfis não se mostraram estratificados, mas sofreram pequenas variações ao longo da coluna d'água. A maior variação da concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água, de 0,0 a 16,32 mg/l, ocorreu no dia 09/11/95, que apresentou também a maior concentração de O.D. na água ao longo de todo o estudo. As menores concentrações de O.D. foram observadas no dia 12/04/96, variando de 0,0 a 4,35 mg/l.

As isolíneas evidenciam os maiores valores de oxigênio dissolvido na água nas camadas superficiais da coluna d'água, na coleta do mês de novembro de 1995. Nesse mesmo mês, a estratificação provocada pela variação dos valores de oxigênio dissolvido é facilmente visualizada. Apesar de no dia 11/10/1995 ter sido

observada a mais baixa média de oxigênio dissolvido na zona afótica, as isolíneas evidenciam a presença de anoxia nas camadas mais profundas da coluna d'água, nas coletas dos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 1995 e de fevereiro e abril de 1996.

As médias dos valores de pH e condutividade, nas zona eufótica e afótica ao longo dos doze meses de estudo, são observados na Tabela 7. Na Figura 13 são apresentados os perfis de pH e condutividade. Nas figuras 14 e 15 são apresentadas as isolíneas de pH e condutividade, respectivamente.

Os valores médios mais elevados de pH, na zona eufótica, foram de 9,31, no dia 09/11/95 e na zona afótica, 8,02, no dia 15/12/95. Os valores médios de pH mais baixos, na zona eufótica, foram de 6,50, no dia 10/06/96 e na zona afótica, 6,38, no dia 13/03/96.

O pH mostrou, em geral, valores entre 6,0 e 7,5 ao longo de todo o período de estudo. Apenas no dia 09/11/95 observou-se os valores mais altos encontrados nos doze meses de coleta, variando na coluna d'água entre 6,33 e 9,52. Os perfis de pH mostraram-se homogêneos ao longo de todo o ano de estudo. Estratificações foram observadas apenas nos meses de novembro e dezembro (09/11 e 15/12 de 1995, respectivamente).

Apesar da constância dos valores de pH ao longo do ano de estudo, as isolíneas evidenciam um pequeno aumento nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 1995 e de janeiro e fevereiro de 1996 em toda a coluna d'água. Nos demais meses, o pH apresentou-se ligeiramente mais baixo em grande parte da coluna d'água. As estratificações são bem visíveis nos meses de novembro e dezembro de 1995, quando ocorreram os picos de pH na zona eufótica e afótica, respectivamente.

Os valores mais elevados de condutividade, tanto a média da zona eufótica, 219  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , como a média da zona afótica, 227  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , foram obtidos na coleta do dia 11/10/95. Os valores mais baixos de condutividade, tanto a média da zona eufótica, 108  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , como a média da zona afótica, 107  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , foram obtidos na coleta do dia 13/03/96.

Os perfis de condutividade evidenciaram uma homogeneidade na coluna d'água ao longo de todo o ano de estudo. Observou-se estratificação apenas no dia 08/01/96. Os valores mais baixos, 93 a 108  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , foram encontrados no dia 13/03/96 e os valores mais elevados, 219 a 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no dia 11/10/95.

As isolíneas evidenciam um aumento na condutividade da água nos meses de setembro, outubro e dezembro de 1995 e de julho de 1996 em toda a coluna d'água. Nos meses de janeiro a maio de 1996, a condutividade apresentou-se ligeiramente mais baixa. Estratificações são visíveis nos meses de novembro e dezembro de 1995 e de janeiro de 1996. Na coleta do dia 11/10/1995 observou-se um aumento da condutividade, em direção à região mais profunda da coluna d'água.

**TABELA 6:** Temperatura, oxigênio dissolvido, pH, e condutividade no Reservatório de Salto Grande nos doze meses de coleta.

| <i>Datas</i> |                  | <i>Temperatura</i><br>(°C) | <i>Oxigênio Dissolvido</i><br>(mg/L) | <i>pH</i> | <i>Condutividade</i><br>( $\mu$ S/cm) |
|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 08/08/1995   | Z <sub>euf</sub> | 20,48                      | 4,28                                 | 6,59      | 191                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 19,63                      | 1,59                                 | 6,42      | 195                                   |
| 13/09/1995   | Z <sub>euf</sub> | 20,90                      | 4,92                                 | 6,95      | 209                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 20,90                      | 5,19                                 | 6,89      | 210                                   |
| 11/10/1995   | Z <sub>euf</sub> | 24,20                      | 6,96                                 | 7,09      | 219                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 21,47                      | 0,19                                 | 6,64      | 227                                   |
| 09/11/1995   | Z <sub>euf</sub> | 26,98                      | 14,36                                | 9,31      | 138                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 22,20                      | 2,46                                 | 6,78      | 156                                   |
| 15/12/1995   | Z <sub>euf</sub> | 25,26                      | 6,55                                 | 7,40      | 214                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 24,70                      | 5,04                                 | 8,02      | 213                                   |
| 08/01/1996   | Z <sub>euf</sub> | 25,21                      | 7,24                                 | 6,75      | 180                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 24,63                      | 4,46                                 | 6,59      | 161                                   |
| 08/02/1996   | Z <sub>euf</sub> | 27,40                      | 5,80                                 | 6,93      | 137                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 27,20                      | 3,49                                 | 6,64      | 140                                   |
| 13/03/1996   | Z <sub>euf</sub> | 25,20                      | 3,66                                 | 6,54      | 108                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 24,48                      | 2,71                                 | 6,38      | 107                                   |
| 12/04/1996   | Z <sub>euf</sub> | 25,90                      | 4,12                                 | 6,55      | 115                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 25,90                      | 2,76                                 | 6,42      | 116                                   |
| 21/05/1996   | Z <sub>euf</sub> | 21,10                      | 6,15                                 | 6,82      | 158                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 20,98                      | 3,04                                 | 6,50      | 161                                   |
| 10/06/1996   | Z <sub>euf</sub> | 19,18                      | 2,40                                 | 6,50      | 161                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 19,23                      | 2,29                                 | 6,44      | 170                                   |
| 02/07/1996   | Z <sub>euf</sub> | 18,66                      | 4,06                                 | 6,69      | 193                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 18,28                      | 3,14                                 | 6,54      | 193                                   |
| Média        | Z <sub>euf</sub> | 23,37                      | 5,87                                 | 7,01      | 169                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 22,47                      | 3,03                                 | 6,69      | 171                                   |

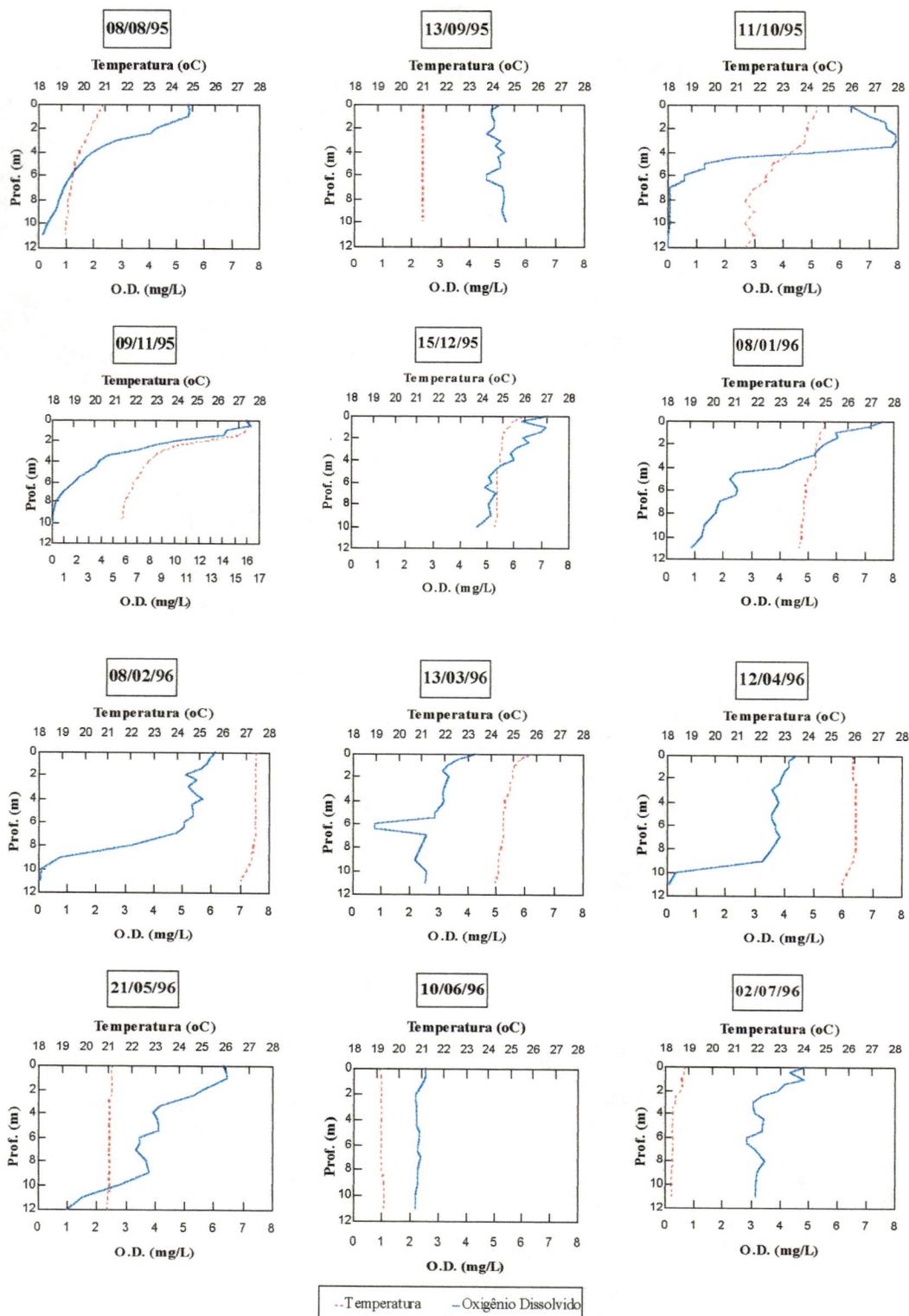
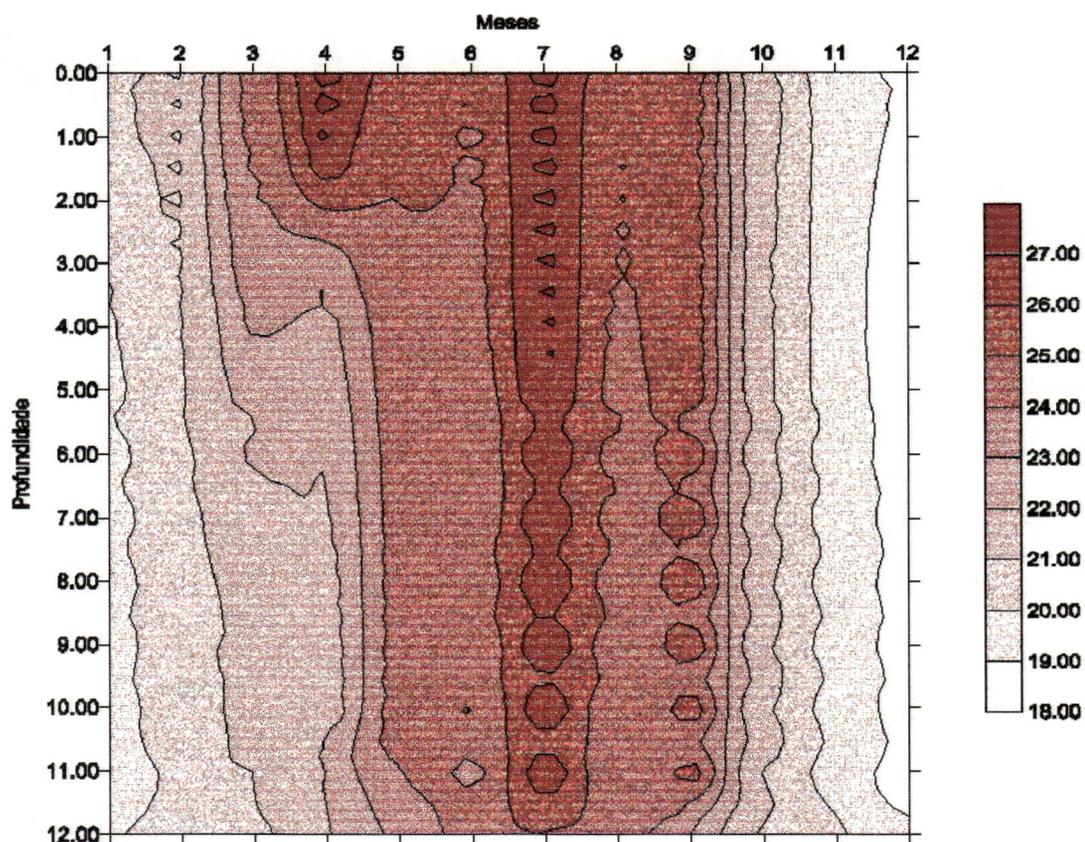
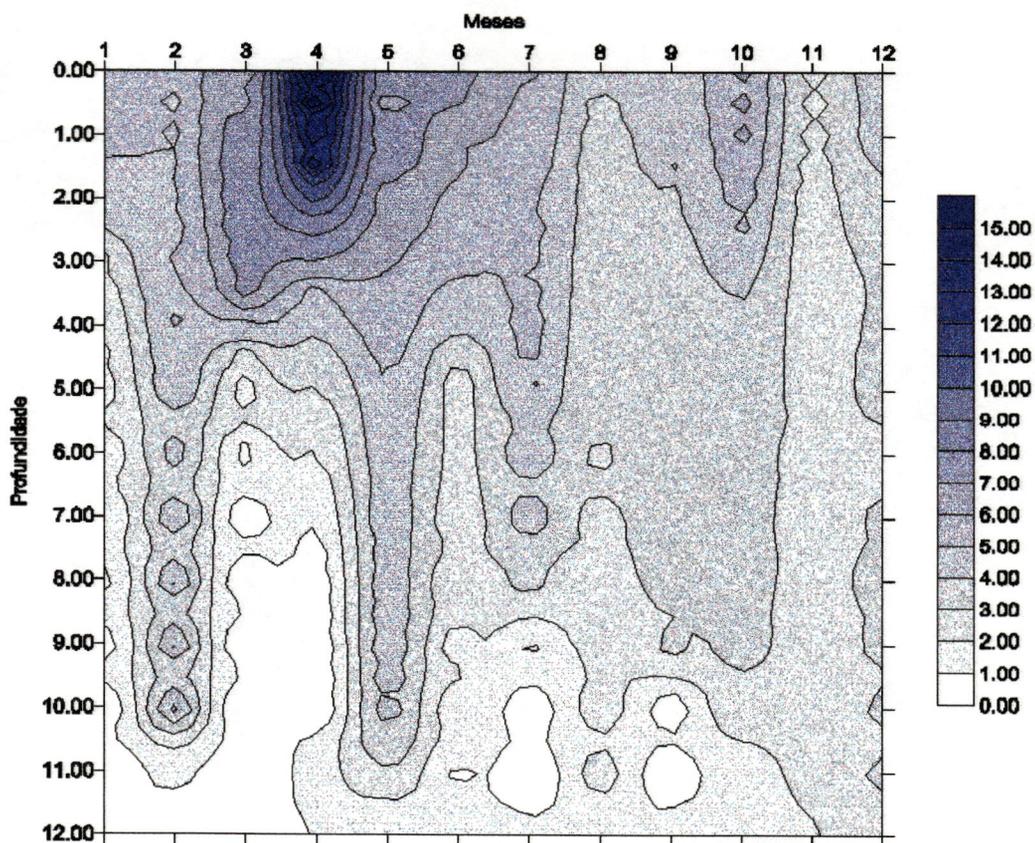


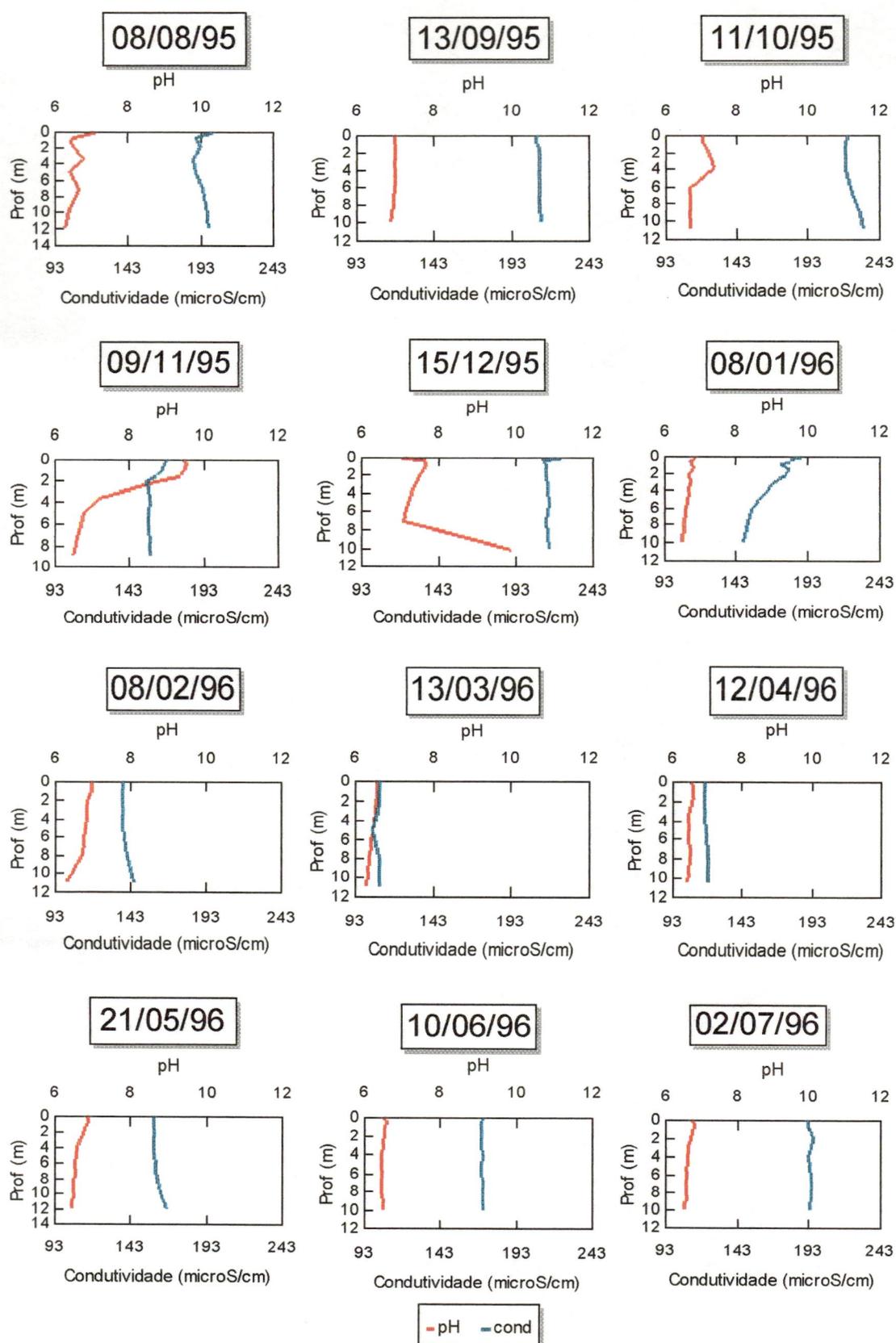
Figura 10. Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.



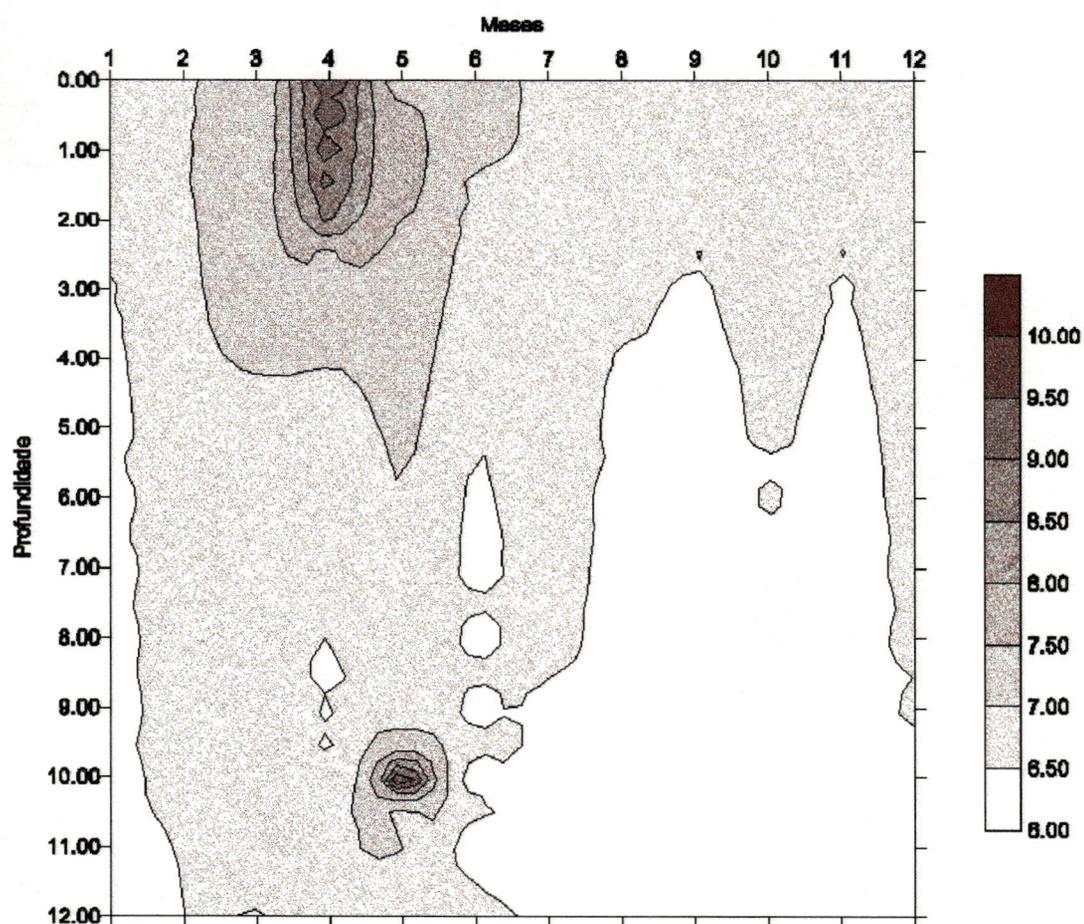
**Figura 11.** Isolíneas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996 (o n $^{\circ}$  1 indica o mês de agosto de 1995, mês em que se iniciaram as coletas, e o n $^{\circ}$  12 indica o mês de julho de 1996, mês em que foi realizada a última coleta do trabalho).



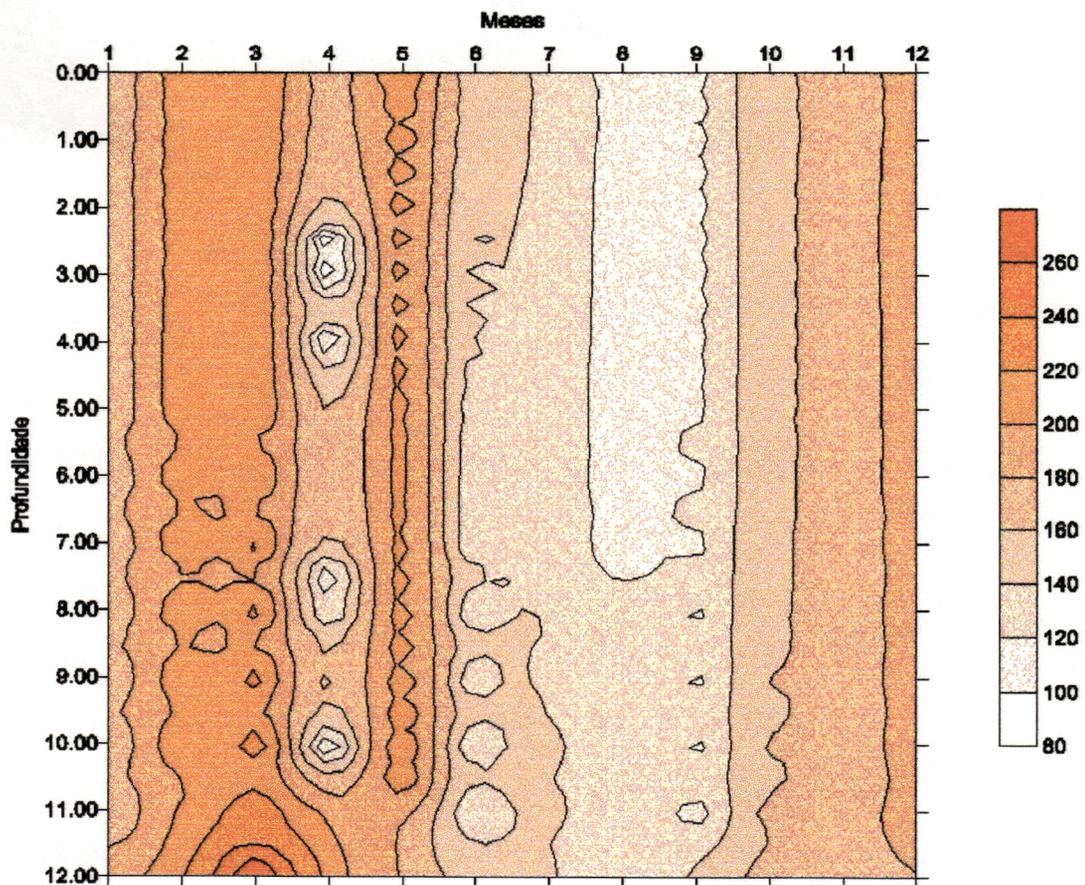
**Figura 12.** Isolíneas de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996 (o n° 1 indica o mês de agosto de 1995, mês em que se iniciaram as coletas, e o n° 12 indica o mês de julho de 1996, mês em que foi realizada a última coleta do trabalho).



**Figura 13.** Perfis de pH e condutividade no reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.



**Figura 14.** Isolíneas de pH no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996 (o n° 1 indica o mês de agosto de 1995, mês em que se iniciaram as coletas, e o n° 12 indica o mês de julho de 1996, mês em que foi realizada a última coleta do trabalho).



**Figura 15.** Isolíneas de Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ ) no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996 (o n° 1 indica o mês de agosto de 1995, mês em que se iniciaram as coletas, e o n° 12 indica o mês de julho de 1996, mês em que foi realizada a última coleta do trabalho).

#### 4.1.2.7. ALCALINIDADE e FORMAS DE CARBONO

As médias dos valores de alcalinidade e das concentrações carbono inorgânico, CO<sub>2</sub> total, CO<sub>2</sub> livre, bicarbonato e carbonato, nas zona eufótica e afótica ao longo dos doze meses de estudo, são observados na Tabela 8.

A alcalinidade apresentou uma média de 0,69 meq/l ao longo do ano de estudo, tanto na zona eufótica, como na afótica. O valor médio na zona eufótica apresentou-se mais elevado na coleta do dia 13/09/1995, 0,87 meq/l e mais baixo, 0,55 meq/l, nos dias 13/03 e 12/04/1996. Na zona afótica, o valor médio mais alto, 0,91 meq/l, foi determinado na coleta do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 0,54 meq/l, no dia 13/03/1996.

As concentrações de carbono inorgânico apresentaram médias de 11,70 mg/l na zona eufótica e de 12,82 mg/l na zona afótica, ao longo do ano de estudo. O valor médio na zona eufótica apresentou-se mais elevado na coleta do dia 10/06/1996, 14,03 mg/l e mais baixo, 6,51 mg/l, no dia 09/11/1995. Na zona afótica, o valor médio mais alto, 16,22 mg/l, foi determinado na coleta do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 10, mg/l, no dia 13/03/1996.

As concentrações de CO<sub>2</sub> total apresentaram médias de 42,90 mg/l na zona eufótica e 44,49 mg/l na zona afótica, ao longo do ano de estudo. O valor médio na zona eufótica apresentou-se mais elevado na coleta do dia 11/10/1995, 55,99 mg/l e mais baixo, 23,88 mg/l, no dia 09/11/1995. Na zona afótica, o valor médio mais alto, 59,49 mg/l, foi determinado na coleta do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 37,67 mg/l, no dia 13/03/1996.

As concentrações de CO<sub>2</sub> livre apresentaram médias de 13,59 mg/l na zona eufótica e de 16,14 mg/l na zona afótica ao longo do ano de estudo. O valor médio na zona eufótica apresentou-se mais elevado na coleta do dia 10/06/1996, 23,38 mg/l e o mais baixo, 5,76 mg/l, no dia 13/09/1995. Na zona afótica, o valor médio mais alto, 24,15 mg/l, foi determinado na coleta do dia 08/08/1995 e o mais baixo, 6,51 mg/l, no dia 13/09/1995.

As concentrações de bicarbonato apresentaram médias de 40,80 mg/l na zona eufótica e de 42,31 mg/l na zona afótica ao longo do ano de estudo. O valor médio na zona eufótica apresentou-se mais elevado na coleta do dia 13/09/1995, 52,70 mg/l e o

mais baixo, 27,05 mg/l, no dia 09/11/1995. Na zona afótica, o valor médio mais alto, 55,49 mg/l, foi obtido na coleta do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 32,78 mg/l, no dia 13/03/1996.

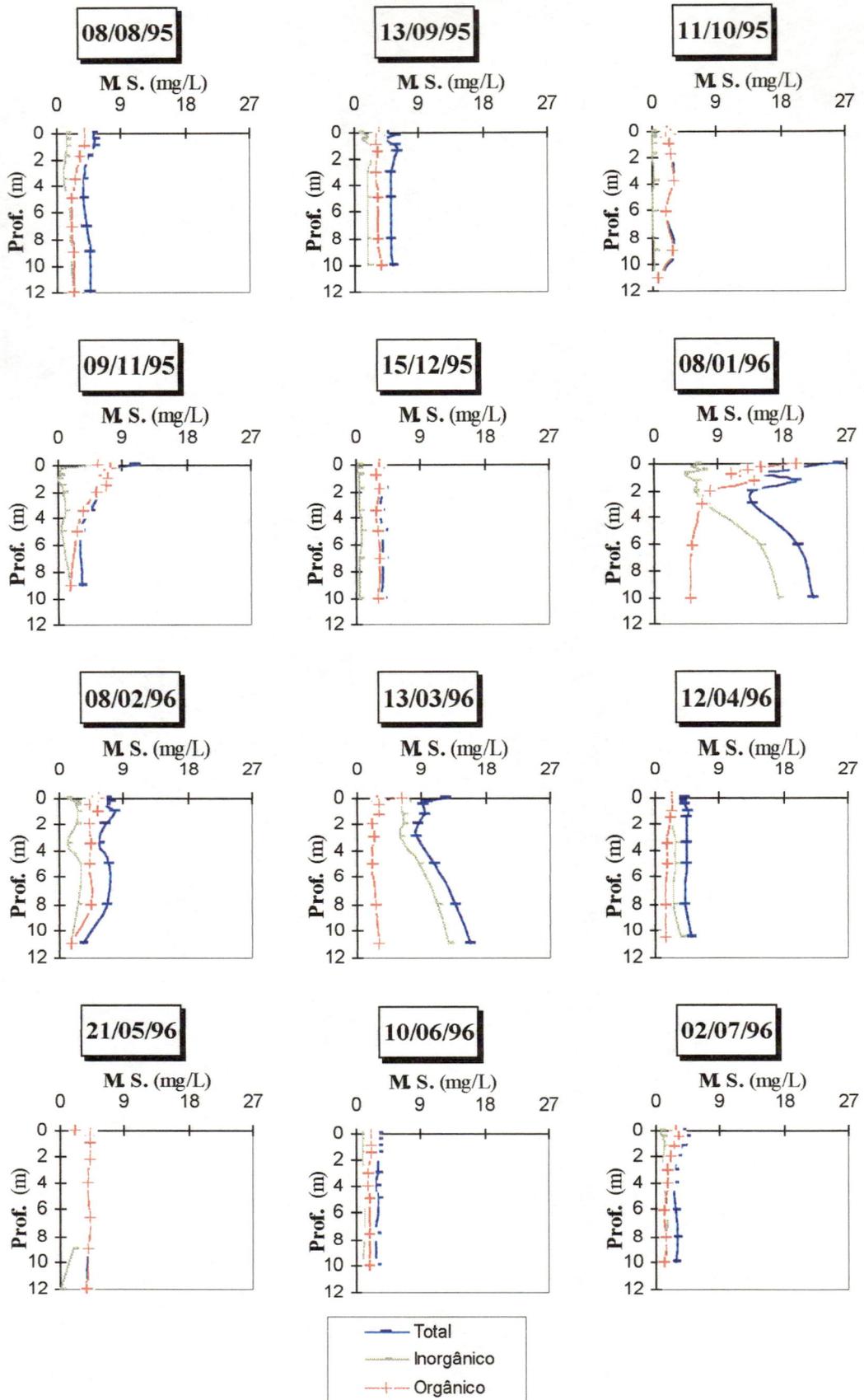
As concentrações de carbonato apresentaram médias de 0,024 mg/l na zona eufótica e de 0,016 mg/l na zona afótica ao longo do ano de estudo. O valor médio na zona eufótica apresentou-se mais elevado na coleta do dia 15/12/1995, 0,037 mg/l e o mais baixo, 0,006 mg/l, no dia 10/06/1996. Na zona afótica, o valor médio mais alto, 0,052 mg/l, foi obtido na coleta do dia 13/09/1995 e o mais baixo, 0,006 mg/l, no dia 12/04/1996.

**TABELA 7:** Concentrações de alcalinidade total, concentrações de carbono inorgânico, dióxido de carbono total e livre, bicarbonato e carbonato na zona eufótica ( $Z_{euf}$ ) e na zona afótica ( $Z_{af}$ ) no Reservatório de Salto Grande nos doze meses de coleta.

| <i>Datas</i> |           | <i>Alcalinidade</i><br><i>(meq/L)</i> | <i>Carbono</i><br><i>Inorgânico</i><br><i>(mg/L)</i> | <i>CO2 Total</i><br><i>(mg/L)</i> | <i>CO2 Livre</i><br><i>(mg/L)</i> | <i>Bicarbonato</i><br><i>(mg/L)</i> | <i>Carbonato</i><br><i>(mg/L)</i> |
|--------------|-----------|---------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 08/08/1995   | $Z_{euf}$ | 0,67                                  | 12,97  | 47,54                             | 18,28                             | 40,59                               | 0,032                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,68                                  | 14,70  | 53,90                             | 24,15                             | 41,25                               | 0,020                             |
| 13/09/1995   | $Z_{euf}$ | 0,87                                  | 11,95  | 43,81                             | 5,76                              | 52,70                               | 0,052                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,87                                  | 12,24  | 44,87                             | 6,51                              | 53,12                               | 0,052                             |
| 11/10/1995   | $Z_{euf}$ | 0,85                                  | 15,27  | 55,99                             | 18,50                             | 51,97                               | 0,013                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,91                                  | 16,22  | 59,49                             | 19,45                             | 55,49                               | 0,014                             |
| 09/11/1995   | $Z_{euf}$ | 0,64                                  | 6,51   | 23,88                             | 5,93                              | 27,05                               | 0,010                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,64                                  | 12,18  | 44,64                             | 16,50                             | 39,00                               | 0,018                             |
| 15/12/1995   | $Z_{euf}$ | 0,83                                  | 12,33  | 45,20                             | 8,81                              | 50,40                               | 0,037                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,84                                  | 13,63  | 49,99                             | 13,19                             | 51,00                               | 0,018                             |
| 08/01/1996   | $Z_{euf}$ | 0,61                                  | 10,24  | 37,53                             | 10,58                             | 37,37                               | 0,032                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,59                                  | 10,81  | 39,64                             | 13,54                             | 36,19                               | 0,025                             |
| 08/02/1996   | $Z_{euf}$ | 0,66                                  | 11,11  | 40,73                             | 11,80                             | 40,10                               | 0,012                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,68                                  | 12,06  | 44,21                             | 14,52                             | 41,15                               | 0,011                             |
| 13/03/1996   | $Z_{euf}$ | 0,55                                  | 10,30  | 37,75                             | 13,52                             | 33,58                               | 0,007                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,54                                  | 10,27  | 37,67                             | 14,02                             | 32,78                               | 0,007                             |
| 12/04/1996   | $Z_{euf}$ | 0,55                                  | 10,69  | 39,19                             | 14,97                             | 33,56                               | 0,007                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,56                                  | 11,32  | 41,50                             | 16,69                             | 34,39                               | 0,006                             |
| 21/05/1996   | $Z_{euf}$ | 0,65                                  | 11,57  | 42,42                             | 13,65                             | 39,88                               | 0,011                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,65                                  | 13,37  | 49,02                             | 20,53                             | 39,50                               | 0,007                             |
| 10/06/1996   | $Z_{euf}$ | 0,64                                  | 14,03  | 51,44                             | 23,38                             | 38,89                               | 0,006                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,64                                  | 12,85  | 47,12                             | 18,80                             | 39,25                               | 0,008                             |
| 02/07/1996   | $Z_{euf}$ | 0,71                                  | 13,46  | 49,37                             | 17,97                             | 43,52                               | 0,009                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,73                                  | 14,14  | 51,85                             | 15,72                             | 44,54                               | 0,010                             |
| Média        | $Z_{euf}$ | 0,69                                  | 11,70  | 42,90                             | 13,59                             | 40,80                               | 0,024                             |
|              | $Z_{af}$  | 0,69                                  | 12,82  | 44,49                             | 16,14                             | 42,31                               | 0,016                             |

#### 4.1.2.8.MATERIAL EM SUSPENSÃO

As concentrações de material em suspensão, na forma de perfis, são apresentados na figura 16. O valor mais elevado de material em suspensão total, 25,90 mg/l, foi determinado em amostra do dia 08/01/1996 e o mais baixo, 0,58 mg/l, no dia 11/10/1995. O valor mais elevado de material em suspensão inorgânico, 17,35 mg/l, foi determinado no dia 08/01/1996 e o mais baixo, 0,0 mg/l, no dia 11/10/1995. O valor mais elevado de material em suspensão orgânico, 19,84 mg/l, foi determinado no dia 08/01/1996 e o mais baixo, 0,58 mg/l, no dia 11/10/1995. Nas coletas dos meses chuvosos, de novembro de 1995 a abril de 1996, com exceção de dezembro de 1995, as concentrações de material em suspensão foram mais elevadas do que no restante do período de coletas. Nos meses de agosto a dezembro de 1995 e de fevereiro e junho de 1996, as concentrações de material em suspensão orgânico foram mais altas que as concentrações de material em suspensão inorgânico. Nos meses de março e abril de 1996, a fração inorgânica foi mais elevada, e nos demais meses, essas duas formas de material em suspensão se alteraram ao longo da coluna d'água estando muito próximas ou com oscilações desencontradas.



**Figura 16.** Perfis da concentração de material em suspensão total, inorgânico e orgânico no reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

#### 4.1.2.9. NUTRIENTES E RAZÃO N/P

As concentrações médias de nitrogênio orgânico total, nitrato, nitrito e íon amônio, nas zona eufótica e afótica, podem ser observadas na Tabela 9.

As concentrações médias de nitrogênio orgânico total, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 4126 µg/L e 3461 µg/L, respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 9836 µg/L, foi determinado em amostra do dia 08/01/1996 e o mais baixo, 861 µg/L, no dia 08/08/1995. O valor mais alto na zona afótica, 7416 µg/L, foi determinado em amostra do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 888 µg/L, no dia 08/08/1995.

As concentrações médias de nitrato, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 760,15 µg/L e 738,64 µg/L, respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 1101,15 µg/L, foi determinado em amostra do dia 21/05/1996 e o mais baixo, 529,50 µg/L, no dia 09/11/1995. O valor mais alto na zona afótica, 1029,00 µg/L, foi observado em amostra do dia 09/11/1995 e o mais baixo, 568,14 µg/L, no dia 08/02/1996.

As concentrações médias de nitrito, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 47,64 µg/L e 47,47 µg/L, respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 78,70 µg/L, foi registrado em amostra do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 12,42 µg/L, no dia 13/03/1996. O valor mais alto na zona afótica, 78,96 µg/L, foi determinado em amostra do dia 08/08/1995 e o mais baixo, 19,86 µg/L, no dia 13/03/1996.

As concentrações médias de amônio, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 194,17 µg/L e 325,31 µg/L, respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 439,85 µg/L, foi registrado em amostra do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 12,81 µg/L, no dia 09/11/1995. O valor mais alto na zona afótica, 760,66 µg/L, foi encontrado em amostra do dia 11/10/1995 e o mais baixo, 29,00 µg/L, no dia 10/06/1996.

As concentrações médias de fósforo orgânico total, fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico e silicato reativo, nas zona eufótica e afótica, podem ser observadas na Tabela 10.

As concentrações médias de fósforo orgânico total, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 139,36  $\mu\text{g/L}$  e 138,35  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 254,40  $\mu\text{g/L}$ , foi determinado na amostra do dia 08/02/1996 e o mais baixo, 36,40  $\mu\text{g/L}$ , no dia 15/12/1995. O valor mais alto na zona afótica, 245,30  $\mu\text{g/L}$ , foi registrado em amostra do dia 13/03/1996 e o mais baixo, 43,30  $\mu\text{g/L}$ , no dia 15/12/1995.

As concentrações médias de fosfato total dissolvido, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 28,63  $\mu\text{g/L}$  e 29,24  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 81,40  $\mu\text{g/L}$ , foi determinado em amostra do dia 13/03/1996 e o mais baixo, 11,33  $\mu\text{g/L}$ , no dia 10/06/1996. O valor mais alto na zona afótica, 74,00  $\mu\text{g/L}$ , foi apresentado-se em amostra do dia 13/03/1996 e o mais baixo, 10,66  $\mu\text{g/L}$ , no dia 10/06/1996.

As concentrações médias de fosfato inorgânico, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 10,42  $\mu\text{g/L}$  e 13,22  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 31,00  $\mu\text{g/L}$ , foi determinado em amostra do dia 13/03/1996 e o mais baixo, 4,85  $\mu\text{g/L}$ , no dia 15/12/1995. O valor mais alto na zona afótica, 37,28  $\mu\text{g/L}$ , apresentou-se em amostra do dia 13/03/1996 e o mais baixo, 4,15  $\mu\text{g/L}$ , no dia 15/12/1995.

As concentrações médias de silicato reativo, ao longo de todo o ano de estudo, na zona eufótica e afótica foram de 11,17  $\text{mg/L}$  e 10,98  $\text{mg/L}$ , respectivamente. O mais alto valor na zona eufótica, 23,52  $\text{mg/L}$ , foi determinado em amostra do dia 08/02/1996 e o mais baixo, 4,27  $\text{mg/L}$ , no dia 15/12/1995. O valor mais alto na zona afótica, 22,75  $\text{mg/L}$ , apresentou-se em amostra do dia 08/02/1996 e o mais baixo, 2,25  $\text{mg/L}$ , no dia 09/11/1995.

Os valores médios da razão N/P na zona eufótica, zona afótica e coluna d'água, podem ser observados na Tabela 11 e Figura 17.

As médias das razões N/P, ao longo do ano de estudo, foram de 19,28; 23,08 e 20,25 para a zona eufótica, zona afótica e coluna d'água, respectivamente. O valor médio mais elevado, 35,36, na zona eufótica, foi encontrado em amostra do dia 10/06/1996 e o mais baixo, 4,57, no dia 13/03/1996. Na zona afótica, o valor médio mais elevado, 46,16, foi determinado em amostra do dia 21/05/1996 e o mais baixo,

5,72, no dia 13/03/1996. Na coluna d'água, o valor médio mais elevado, 34,17, foi determinado em amostra do dia 10/06/1996 e o mais baixo, 5,12, no dia 13/03/1996. Valores menos elevados da razão N/P foram encontrados nos meses mais quentes do ano, com exceção para o mês de dezembro e os valores mais elevados, nos meses de clima mais ameno.

**TABELA 8:** Concentrações médias de nitrogênio orgânico total, nitrato, nitrito e amônio das zonas eufótica e afótica, no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

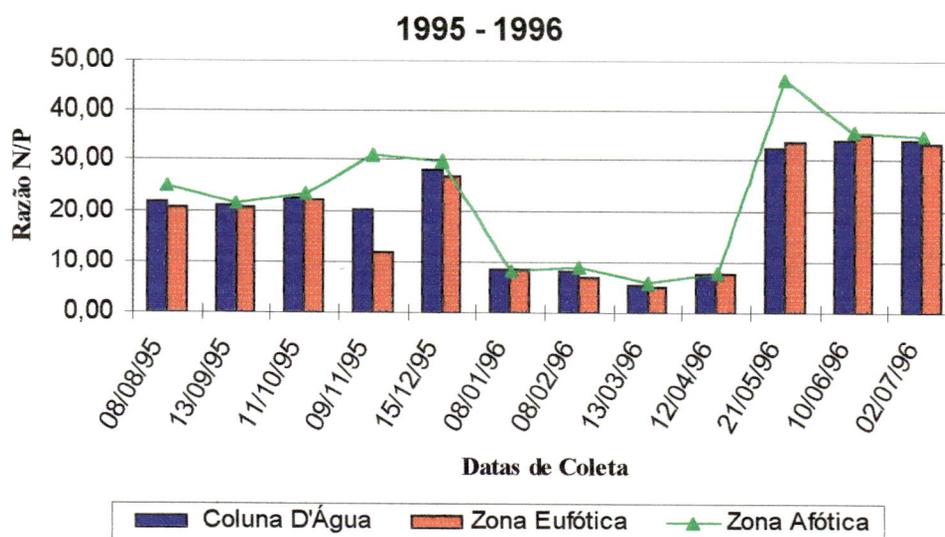
| <i>Datas</i> |                  | <i>Nitrogênio Orgânico Total</i><br><i>µg/l</i> | <i>Nitrato</i><br><i>µg/l</i> | <i>Nitrito</i><br><i>µg/l</i> | <i>Amônio</i><br><i>µg/l</i> |
|--------------|------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 08/08/1995   | Z <sub>euf</sub> | 861   | 584,39                        | 68,24                         | 148,48                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 888   | 626,31                        | 78,96                         | 344,39                       |
| 13/09/1995   | Z <sub>euf</sub> | 6238  | 653,31                        | 25,37                         | 438,58                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 6130  | 655,46                        | 28,93                         | 426,59                       |
| 11/10/1995   | Z <sub>euf</sub> | 2858  | 646,83                        | 78,70                         | 439,85                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 7416  | 612,33                        | 47,00                         | 760,66                       |
| 09/11/1995   | Z <sub>euf</sub> | 3966  | 529,50                        | 56,03                         | 12,81                        |
|              | Z <sub>af</sub>  | 1476  | 1029,00                       | 31,20                         | 220,90                       |
| 15/12/1995   | Z <sub>euf</sub> | 4102  | 854,60                        | 77,40                         | 144,40                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 4236  | 824,66                        | 73,30                         | 191,00                       |
| 08/01/1996   | Z <sub>euf</sub> | 9836  | 716,62                        | 73,35                         | 256,89                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 7041  | 653,43                        | 66,67                         | 451,22                       |
| 08/02/1996   | Z <sub>euf</sub> | 7690  | 617,91                        | 38,9                          | 55,44                        |
|              | Z <sub>af</sub>  | 4612  | 568,14                        | 37,90                         | 368,40                       |
| 13/03/1996   | Z <sub>euf</sub> | 4488  | 714,18                        | 12,42                         | 273,70                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 2625  | 711,50                        | 19,86                         | 389,80                       |
| 12/04/1996   | Z <sub>euf</sub> | 1983  | 782,58                        | 50,70                         | 104,88                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 2290  | 676,57                        | 40,22                         | 230,47                       |
| 21/05/1996   | Z <sub>euf</sub> | 1428  | 1101,15                       | 12,60                         | 50,20                        |
|              | Z <sub>af</sub>  | 902   | 740,23                        | 67,25                         | 86,26                        |
| 10/06/1996   | Z <sub>euf</sub> | 1193  | 1086,05                       | 27,83                         | 17,83                        |
|              | Z <sub>af</sub>  | 956   | 907,10                        | 27,60                         | 29,00                        |
| 02/07/1996   | Z <sub>euf</sub> | 4872  | 834,70                        | 50,75                         | 387,00                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 2960  | 859,00                        | 50,75                         | 405,00                       |
| Média        | Z <sub>euf</sub> | 4126  | 760,15                        | 47,64                         | 194,17                       |
|              | Z <sub>af</sub>  | 3461  | 738,64                        | 47,47                         | 325,31                       |

**TABELA 9:** Concentrações médias de fósforo orgânico total, fósforo total dissolvido, fosfato inorgânico e silicato reativo das zonas eufótica e afótica, no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

| <i>Datas</i> |                  | <i>Fósforo Orgânico Total</i><br><i>µg/l</i> | <i>Fosfato Total Dissolvido</i><br><i>µg/l</i> | <i>Fosfato Inorgânico</i><br><i>µg/l</i> | <i>Silicato Reativo</i><br><i>mg/l</i> |
|--------------|------------------|--|--|--|--|
| 08/08/1995   | Z <sub>euf</sub> | 67,25  | 16,34  | 12,41                                    | 5,74                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 62,30  | 16,78  | 13,68                                    | 5,66                                   |
| 13/09/1995   | Z <sub>euf</sub> | 192,97                                       | 20,84  | 5,44                                     | 15,49                                  |
|              | Z <sub>af</sub>  | 204,42                                       | 19,99  | 7,00                                     | 15,20                                  |
| 11/10/1995   | Z <sub>euf</sub> | 219,5  | 20,87  | 5,52                                     | 5,66                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 252,09                                       | 23,94  | 10,44                                    | 6,11                                   |
| 09/11/1995   | Z <sub>euf</sub> | 182,80                                       | 19,30  | 7,86                                     | 9,44                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 174,29                                       | 15,30  | 9,00                                     | 2,25                                   |
| 15/12/1995   | Z <sub>euf</sub> | 36,40  | 15,14  | 4,85                                     | 4,27                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 43,30  | 14,00  | 4,15                                     | 4,30                                   |
| 08/01/1996   | Z <sub>euf</sub> | 198,89                                       | 46,45  | 15,96                                    | 18,04                                  |
|              | Z <sub>af</sub>  | 209,77                                       | 59,42  | 28,07                                    | 16,76                                  |
| 08/02/1996   | Z <sub>euf</sub> | 254,40                                       | 38,51  | 9,33                                     | 23,52                                  |
|              | Z <sub>af</sub>  | 93,75  | 43,82  | 15,18                                    | 22,75                                  |
| 13/03/1996   | Z <sub>euf</sub> | 160,53                                       | 81,40  | 31,00                                    | 10,31                                  |
|              | Z <sub>af</sub>  | 245,30                                       | 74,00  | 37,28                                    | 17,50                                  |
| 12/04/1996   | Z <sub>euf</sub> | 60,87  | 46,47  | 16,50                                    | 5,35                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 57,84  | 48,00  | 19,00                                    | 5,50                                   |
| 21/05/1996   | Z <sub>euf</sub> | 122,20                                       | 12,20  | 5,31                                     | 21,49                                  |
|              | Z <sub>af</sub>  | 135,75                                       | 11,00  | 4,91                                     | 21,21                                  |
| 10/06/1996   | Z <sub>euf</sub> | 68,33  | 11,33  | 4,94                                     | 7,50                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 77,66  | 10,66  | 5,33                                     | 7,30                                   |
| 02/07/1996   | Z <sub>euf</sub> | 108,21                                       | 14,70  | 5,92                                     | 7,25                                   |
|              | Z <sub>af</sub>  | 103,70                                       | 14,37  | 4,60                                     | 7,25                                   |
| Média        | Z <sub>euf</sub> | 139,36                                       | 28,63  | 10,42                                    | 11,17                                  |
|              | Z <sub>af</sub>  | 138,35                                       | 29,24  | 13,22                                    | 10,98                                  |

**TABELA 10:** Médias da razão N/P na zona eufótica, zona afótica e coluna d'água no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

| <i>Datas</i> | <i>Zona eufótica</i> | <i>Zona afótica</i> | <i>Coluna d'água</i> |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 08/08/1995   | 20,57                | 25,13               | 21,81                |
| 13/09/1995   | 20,52                | 21,30               | 20,91                |
| 11/10/1995   | 22,05                | 23,47               | 22,81                |
| 09/11/1995   | 11,73                | 30,98               | 20,18                |
| 15/12/1995   | 27,00                | 29,67               | 28,26                |
| 08/01/1996   | 8,40                 | 7,82                | 8,16                 |
| 08/02/1996   | 6,86                 | 8,59                | 7,78                 |
| 13/03/1996   | 4,57                 | 5,72                | 5,12                 |
| 12/04/1996   | 7,52                 | 7,43                | 7,50                 |
| 21/05/1996   | 33,58                | 46,16               | 32,40                |
| 10/06/1996   | 35,36                | 35,75               | 34,17                |
| 02/07/1996   | 33,21                | 34,94               | 33,94                |
| <b>MÉDIA</b> | <b>19,28</b>         | <b>23,08</b>        | <b>20,25</b>         |



**Figura 17.** Razão N/P no reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

## 4.2.VARIÁVEIS BIÓTICAS DO SISTEMA

### 4.2.1.COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

#### 4.2.1.1.ANÁLISE QUALITATIVA

A comunidade fitoplanctônica do reservatório de Salto Grande apresentou-se constituída por 81 táxons (espécies e variedades), distribuídos em 45 gêneros, pertencentes a 8 classes taxonômicas (Bacilariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae, Euglenophyceae e Xantophyceae), conforme relacionado a seguir:

#### BACILARIOPHYCEAE

*Aulacoseira ambigua* (Grünow) Simonsen var. *ambigua*  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Ralfs var. *angustissima* O. Mueller  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen var. *granulata*  
*Cyclotella* sp  
*Fragilaria* sp  
*Navicula* sp  
*Nitzschia* sp  
*Pinnularia* sp  
*Stephanodiscus cf astraea* (E.) Grun.  
*Synedra* sp

Total: 10 táxons; 3 identificados nos níveis específicos e infraespecíficos; 1 a confirmar e 6 identificados no nível genérico.

#### CHLOROPHYCEAE

*Ankistrodesmus gracilis* (Reinsch) Korsikov  
*Ankyra cf. ancora* (G.M. Smith) Fott  
*Ankyra* sp  
*Botryococcus* sp  
*Chlamydomonas* sp  
*Chlorella* sp  
*Closterium limneticum* Lemmermann  
*Closterium* spp  
*Coelastrum pulchrum* Schmidle var. *pulchrum*  
*Coelastrum reticulatum* (Dangeard) Senn  
*Cosmarium* sp  
*Crucigenia fenestrata* (Schmidle) Schmidle  
*Crucigenia* sp

*Dicloster acuatus* Jao et al  
*Kirchneriela lunaris*  
*Kirchneriela* sp  
*Micractinium bornhemiense* (Conr.) Korsikov  
*Micractinium pusillum* Fresenius  
*Monoraphidium contortum* (Thur.) Komárek - Legn.  
*Monoraphidium skujae* Fott  
*Monoraphidium tortile* (W. & G. S. West) Komárek - Legn.  
*Monoraphidium* spp  
*Oocystis borgei* Snow  
*Oocystis lacustris* Chodat  
*Oocystis pusilla* Hansgirg  
*Pediastrum duplex* Meyen var. *duplex*  
*Scenedesmus acuminatus* var. *acuminatus* (Lagerh.) Chodat  
*Scenedesmus arcuatus* (Lemm.) f. *spinosus* Hortobagyr  
*Scenedesmus bicaudatus* Wedus  
*Scenedesmus denticulatus* Lagerh.  
*Scenedesmus linearis* Kom.  
*Scenedesmus* cf. *magnus* Meyen  
*Scenedesmus opoliensis* P. Richter  
*Scenedesmus quadricauda* Turpin  
*Scenedesmus* spp  
*Schoroederia antillarum* Komárek  
*Schoroederia indica* Philipose  
*Schoroederia* cf. *nitzschioides* (G.S. West) Korsikov  
*Sphaerocystis planctonica* (Kors.) Bourrely  
*Sphaerocystis* spp  
*Staurastrum margaritaceum* Menegh.  
*Staurastrum teliferum* Ralfs  
*Staurastrum tetracerum* (Kütz.) Ralfs  
*Staurastrum* spp  
*Tetrastrum* sp

Total: 45 táxons; 29 identificados nos níveis específicos e infraespecíficos; 3 a confirmar e 13 identificados no nível genérico.

#### CHRYSOPHYCEAE

*Mallomonas* spp

Total: 1 táxon; identificado no nível genérico.

#### CRYPTOPHYCEAE

*Cryptomonas brasiliensis*

*Cryptomonas lobata*

*Rhodomonas lacustris*

Total: 3 táxons; identificados nos níveis específicos.

## CYANOPHYCEAE

*Anabaena crassa* (Lemmermann) Komárek - Legn. et Cronb.  
*Anabaena circinalis* Rabenh. Ex Born. Et Flah.  
*Anabaena planctonica* G.M. Smith  
*Aphanocapsa* sp  
*Aphanyzomenon tropicalis*  
*Chroococcus* sp  
*Merismopedia* sp  
*Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing  
*Microcystis lamelliformis* Holsinger  
*Microcystis protocystis* Crow  
*Microcystis* sp  
*Oscillatoria* sp  
*Planktothrix mougeotii*  
*Planktothrix* spp  
*Pseudanabaena mucicola* (Huber - Pestalozzi & Naumann) Burrelly  
*Pseudanabaena* sp  
*Radiocystis fernandoi* Komárek & Komárková

Total: 17 táxons; 10 identificados nos níveis específicos; 7 identificados no nível genérico.

## DINOPHYCEAE

*Peridinium* sp

Total: 1 táxon; identificado no nível genérico.

## EUGLENOPHYCEAE

*Phacus curticauda* Stockes  
*Phacus longicauda* (Ehrenberg) Dujardin

Total: 2 táxons; identificados nos níveis específicos.

## XANTOPHYCEAE

*Isthmochoron lobulatum* (Nägeli) Skuja  
*Pseudostaurastrum* sp

Total: 2 táxons; 1 identificado no nível específico; 1 identificado no nível genérico.

#### 4.2.1.2. ANÁLISE QUANTITATIVA

##### Porcentagem de Contribuição de Classes

As porcentagens de contribuição de classes, em médias, para a coluna d'água, zona eufótica e zona afótica, ao longo de todo o ano de estudo, podem ser observadas nas Figuras 18, 19 e 20, respectivamente. A média anual de contribuição de cada classe pode ser observada na Tabela 12.

As cianofíceas apresentaram maior porcentagem de contribuição média ao longo de todo o ano de estudo. As médias anuais foram de 61,13 %, 63,04 e 57,73 na coluna d'água, zona eufótica e na zona afótica, respectivamente. As euglenofíceas apresentaram a menor média anual de porcentagem de contribuição; 0,02 % na coluna d'água e zona eufótica, 0,03 % na zona afótica.

**TABELA 11:** Médias anuais (agosto/95 a julho/96) da porcentagem de contribuição de cada classe de organismo fitoplanctônico no reservatório de Salto Grande.

|                          | <i>Coluna d'água</i> | <i>Zona eufótica</i> | <i>Zona afótica</i> |
|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|                          | (%)                  | (%)                  | (%)                 |
| <b>Bacillariophyceae</b> | 9,96                 | 5,54                 | 16,94               |
| <b>Chlorophyceae</b>     | 11,38                | 10,43                | 12,78               |
| <b>Chrysophyceae</b>     | 0,17                 | 0,11                 | 0,23                |
| <b>Cryptophyceae</b>     | 17,30                | 20,81                | 12,26               |
| <b>Cyanophyceae</b>      | 61,13                | 63,04                | 57,73               |
| <b>Dinophyceae</b>       | 0,03                 | 0,05                 | 0,04                |
| <b>Euglenophyceae</b>    | 0,02                 | 0,02                 | 0,03                |

Na coluna d'água, as médias de porcentagem de contribuição das classes, apresentaram-se como a seguir: para as bacilariofíceas, variou de 3 % (08/02 e 12/04/1996) a 28 % (13/09/1995); para as clorofíceas, variou de 3 % (09/11/1995) a 20 % (11/10/1995); para as crisofíceas, variou de 0 % (de setembro de 1995 a fevereiro de 1996 e de abril a maio de 1996) a 1,39 % (13/03/1996); para as criptofíceas, variou de 3 % (09/11 e 15/12/1995) a 37 % (11/10/1995); para as cianofíceas, variou de 29 % (11/10/1995) a 85 % (15/12/1995); para as dinofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para junho (10/06/1996) com 0,34 % de contribuição e para as euglenofíceas variou de 0 % ao

longo de todos os meses de estudo com exceção para setembro (09/11/1995) com 0,28 % de contribuição.

Na zona eufótica, as médias de porcentagem de contribuição das classes mostram-se como a seguir: para as bacilariofíceas, variou de 1 % (08/01, 08/02, 13/03 e 02/07/1996) a 32 % (13/09/1995); para as clorofíceas, variou de 3 % (09/11/1995 e 21/05/1996) a 19% (11/10/1995 e 10/06/1996); para as crisofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para a coleta dos dias 08/08/1995 (0,25 % de contribuição), 10/06 e 02/07/1996 (0,55 % de contribuição); para as criptofíceas, variou de 2 % (09/11/1995) a 54 % (08/08/1995); para as cianofíceas, variou de 29 % (08/08/1995) a 93 % (09/11/1995); para as dinofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para junho (10/06/1996) com 0,55 % de contribuição e para as euglenofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para setembro (09/11/1995) com 0,25 % de contribuição.

Na zona afótica, a média de porcentagem de contribuição das classes apresentou-se como a seguir: para bacilariofíceas, variou de 4 % (12/04/1996) a 32 % (11/10/1995); para as clorofíceas, variou de 3 % (15/12/1995 e 21/05/1996) a 24 % (13/03/1996); para as crisofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para a coleta do dia 13/03/1996 com 2,78 % de contribuição; para as criptofíceas, variou de 2 % (15/12/1995) a 32 % (10/06/1996); para as cianofíceas, variou de 20 % (11/10/1995) a 87 % (15/12/1995 e 21/05/1996); para as dinofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para junho (10/06/1996) com 0,48 % de contribuição e para as euglenofíceas, variou de 0 % ao longo de todos os meses de estudo com exceção para setembro (09/11/1995) com 0,34 % de contribuição.

### Abundância Relativa

A abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos para as coletas realizadas nos meses de agosto a novembro de 1995, pode ser observada na figura 21. A abundância relativa para os meses de dezembro de 1995 a março de 1996, pode

ser observada na figura 22 e para os meses de abril a julho de 1996, na Figura 23. A média anual da abundância relativa dos organismos pode ser observada na Tabela 13.

De todos os organismos identificados no processo de contagem, apenas quatorze foram mais abundantes ao longo dos doze meses de trabalho, tendo sido classificados como dominantes, abundantes e comuns. A soma das médias anuais de abundância relativa desses organismos totalizou em 91,06 %, sendo que o mais abundante foi *Microcystis aeruginosa*, com 29,34 %. Entre esses organismos, oito fazem parte do grupo das cianofíceas, três das criptofíceas, dois das clorofíceas e um das bacilariofíceas.

Na coleta do dia 08/08/1995, houve cinco organismos comuns nas amostras da coluna d'água. *Cryptomonas lobata*, 25 %, foi a espécie mais abundante. Em setembro (13/09/1995), houve um organismo abundante, *Pseudoanabaena* spp com 35 % e dois organismos comuns. Em outubro (11/10/1995), houve cinco organismos comuns, *Cryptomonas lobata* e *Cryptomonas brasiliensis*, com 13 %, foram os mais abundantes. Em novembro (09/11/1995) houve também cinco organismos comuns, *Anabaena circinalis*, com 28 %, foi o mais abundante. Em dezembro (15/12/1995) houve um organismo dominante, *Aphanocapsa* sp com 53 % e dois organismos comuns. Em janeiro (08/08/1996) houve um organismo abundante, *Pseudoanabaena* spp com 43 % e dois outros comuns. Em fevereiro (08/02/1996) houve um organismo dominante, *Microcystis aeruginosa* com 58 % de abundância e apenas um organismo comum. Em março (13/03/1996) houve um organismo abundante, *Microcystis aeruginosa* com 42 % e dois outros comuns. Em abril (12/04/1996) houve um organismo dominante, *Microcystis aeruginosa* com 58 %. Em maio (21/05/1996) ocorreu um organismo dominante, *Microcystis aeruginosa* com 82 %. Em junho (10/06/1996) ocorreram três organismos comuns, *Microcystis aeruginosa*, com 29%, foi o mais abundante. No último mês de coleta, julho (02/07/1996), houve um organismo abundante, *Microcystis aeruginosa* com 45 %. Em todos os meses, os demais organismos apresentaram uma abundância relativa igual ou inferior a 9 %, tendo sido classificados como ocasionais ou raros.

De acordo com os resultados, *Microcystis aeruginosa* apresentou-se dominante em três dos doze meses de estudo e abundante em mais dois outros meses.

**TABELA 12:** Médias anuais (agosto/95 a julho/96) da abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos, em ordem decrescente, no reservatório de Salto Grande.

| <i>Organismos Fitoplanctônicos</i> | <i>Média Anual (%)</i> |
|------------------------------------|------------------------|
| <b>Microcystis aeruginosa</b>      | 29,34                  |
| <b>Pseudoanabaena spp</b>          | 10,83                  |
| <b>Cryptomonas lobata</b>          | 7,84                   |
| <b>Cryptomonas brasiliensis</b>    | 7,08                   |
| <b>Aulacoseira granulata</b>       | 6,48                   |
| <b>Microcystis lameliformis</b>    | 6,08                   |
| <b>Aphanocapsa sp</b>              | 5,59                   |
| <b>Anabaena circinalis</b>         | 4,87                   |
| <b>Schroederia spp</b>             | 4,20                   |
| <b>Rhodomonas lacustris</b>        | 2,39                   |
| <b>Monoraphidium spp</b>           | 2,37                   |
| <b>Aphanizomenon sp</b>            | 1,74                   |
| <b>Cylindropermopsis sp</b>        | 1,20                   |
| <b>Anabaena planctonica</b>        | 1,06                   |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>91,06</b>           |

### Número de Espécies

O número de espécies encontradas no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais, pode ser observado na Figura 24. O número de espécies para a coluna d'água pode ser observado na Tabela 14.

Na coleta do mês de setembro (13/09/1995), os números de espécies encontradas foram os mais elevados tanto para a coluna d'água (44 espécies), como para as zonas eufótica (42 espécies) e afótica (30 espécies). Na coleta do mês de abril (12/04/1996), os números de espécies encontradas foram os mais baixos tanto para a coluna d'água (17 espécies) como para a zona afótica (13 espécies). Para a zona eufótica, o número mais baixo de espécies encontradas (13), ocorreu na coleta do mês de março (13/03/1996). Os números de espécies encontradas foram menores nos meses mais quentes e chuvosos do que nos meses de clima ameno e seco.

### Densidade de Organismos

As densidades de organismos existentes no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais, podem ser observadas na Figura 25.

As densidades mais elevadas de organismos fitoplanctônicos, ao longo do ano de coletas, foram encontradas no mês de novembro (09/11/1995): valores médios de 3547000 organismos na coluna d'água; 3952000 na zona eufótica e 2735000 na da zona afótica. Os valores mais baixos das densidades médias foram encontrados no mês de março (13/03/1996): 297000 organismos na coluna d'água; 488000 na zona eufótica e 106000 na zona afótica.

A densidade total de organismos encontrada nas amostras foi mais elevada nos meses de setembro de 1995 a janeiro de 1996, e mais baixa, no mês de agosto de 1995 e nos meses de fevereiro a julho de 1997.

### Índices de Diversidade, Equidade, Riqueza e Dominância

Os índices de Diversidade, Equidade, Riqueza e Dominância, determinados neste estudo, referentes às coletas mensais, podem ser observados na Tabela 14.

A média da coluna d'água para os Índices de Diversidade de Shannon foi mais elevada nas amostras do dia 11/10/1995, com o valor de 3,75 e mais baixa, 1,27, no dia 21/05/1996; a média, ao longo de todo o ano foi de 2,65. A média dos Índices de Equidade foi também mais elevada no dia 11/10/1995, com o valor de 0,73, e mais baixa no dia 21/05/1996, com o valor de 0,28; a média ao longo do ano foi de 0,55. Os valores médios do Índice de Riqueza foram mais elevados na coleta do dia 13/09/1995, com o valor de 5,82 e mais baixos, 2,34, no dia 12/04/1996; a média ao longo do ano foi de 3,85. A média dos valores de Índices de Dominância foi mais elevada no dia 21/05/1996, com o valor de 0,68 e mais baixa no dia 11/10/1995, com o valor de 0,10; a média ao longo do ano foi de 0,29.

Os valores médios de Índices de Diversidade, Equidade e Riqueza foram mais elevados nos meses de clima ameno e seco e mais baixos nos meses mais quentes e chuvosos do ano. Ao contrário desses, os valores médios do Índice de Dominância foram mais elevados nos meses mais quentes e de maior precipitação.

**TABELA 13:** Índices de Diversidade, Equidade, Riqueza, Dominância e número de espécies na estação de coleta do Reservatório de Salto Grande ao longo dos doze meses de estudo.

| <i>Datas</i> | <i>Diversidade</i> | <i>Equidade</i> | <i>Riqueza</i> | <i>Dominância</i> | <i>N° de espécies</i> |
|--------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| 08/08/1995   | 2,85               | 0,57            | 4,61           | 0,19              | 32                    |
| 13/09/1995   | 2,91               | 0,53            | 5,82           | 0,22              | 44                    |
| 11/10/1995   | 3,75               | 0,73            | 4,84           | 0,10              | 36                    |
| 09/11/1995   | 3,03               | 0,61            | 4,00           | 0,17              | 31                    |
| 15/12/1995   | 2,61               | 0,49            | 5,25           | 0,31              | 40                    |
| 08/01/1996   | 2,21               | 0,48            | 3,14           | 0,31              | 24                    |
| 08/02/1996   | 1,89               | 0,44            | 2,59           | 0,43              | 19                    |
| 13/03/1996   | 2,72               | 0,65            | 2,67           | 0,25              | 18                    |
| 12/04/1996   | 2,30               | 0,56            | 2,34           | 0,36              | 17                    |
| 21/05/1996   | 1,27               | 0,28            | 3,23           | 0,68              | 24                    |
| 10/06/1996   | 3,33               | 0,68            | 4,19           | 0,16              | 30                    |
| 02/07/1996   | 2,90               | 0,63            | 3,58           | 0,25              | 25                    |
| <b>MEDIA</b> | <b>2,65</b>        | <b>0,55</b>     | <b>3,85</b>    | <b>0,29</b>       | <b>28</b>             |

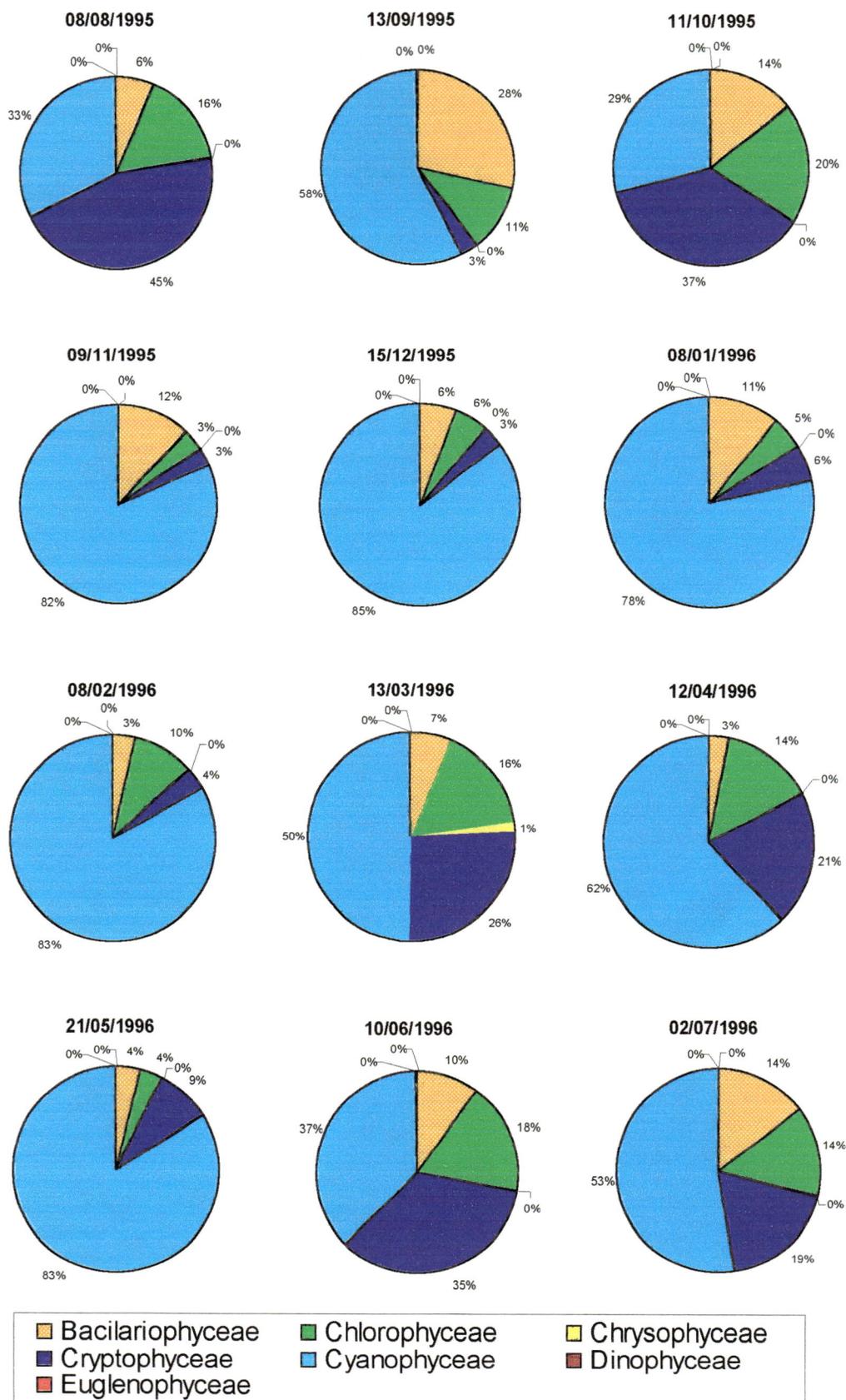
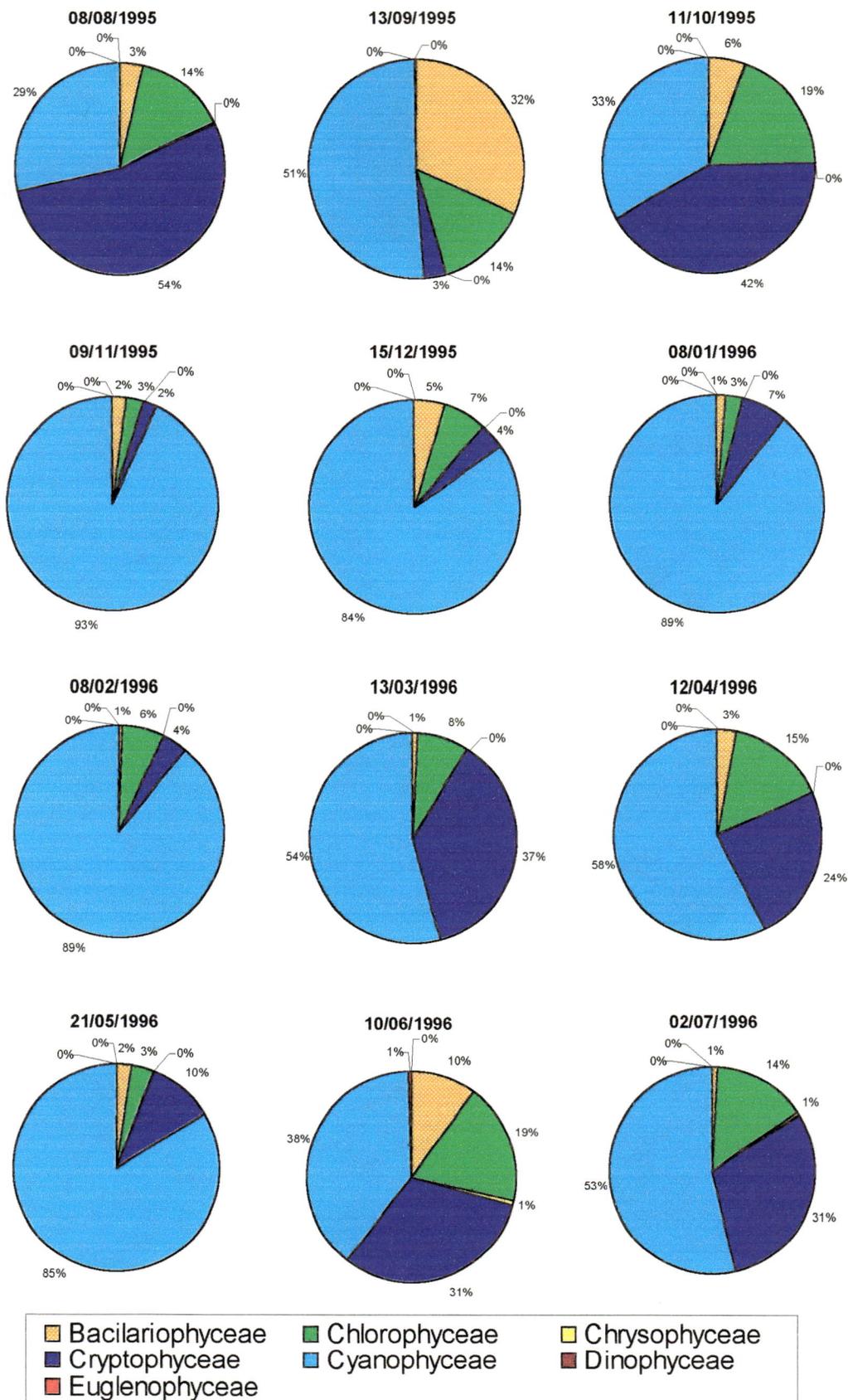
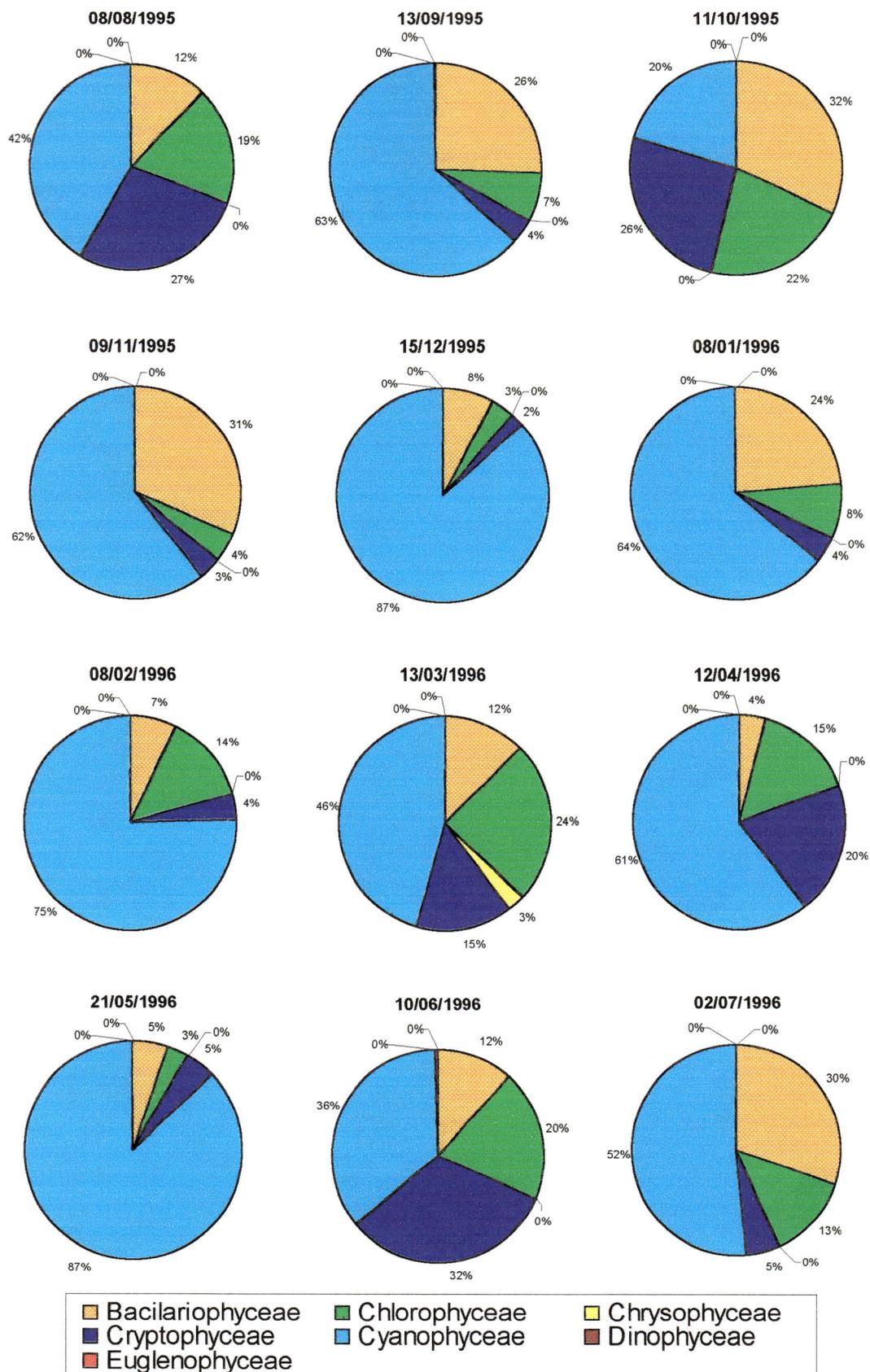


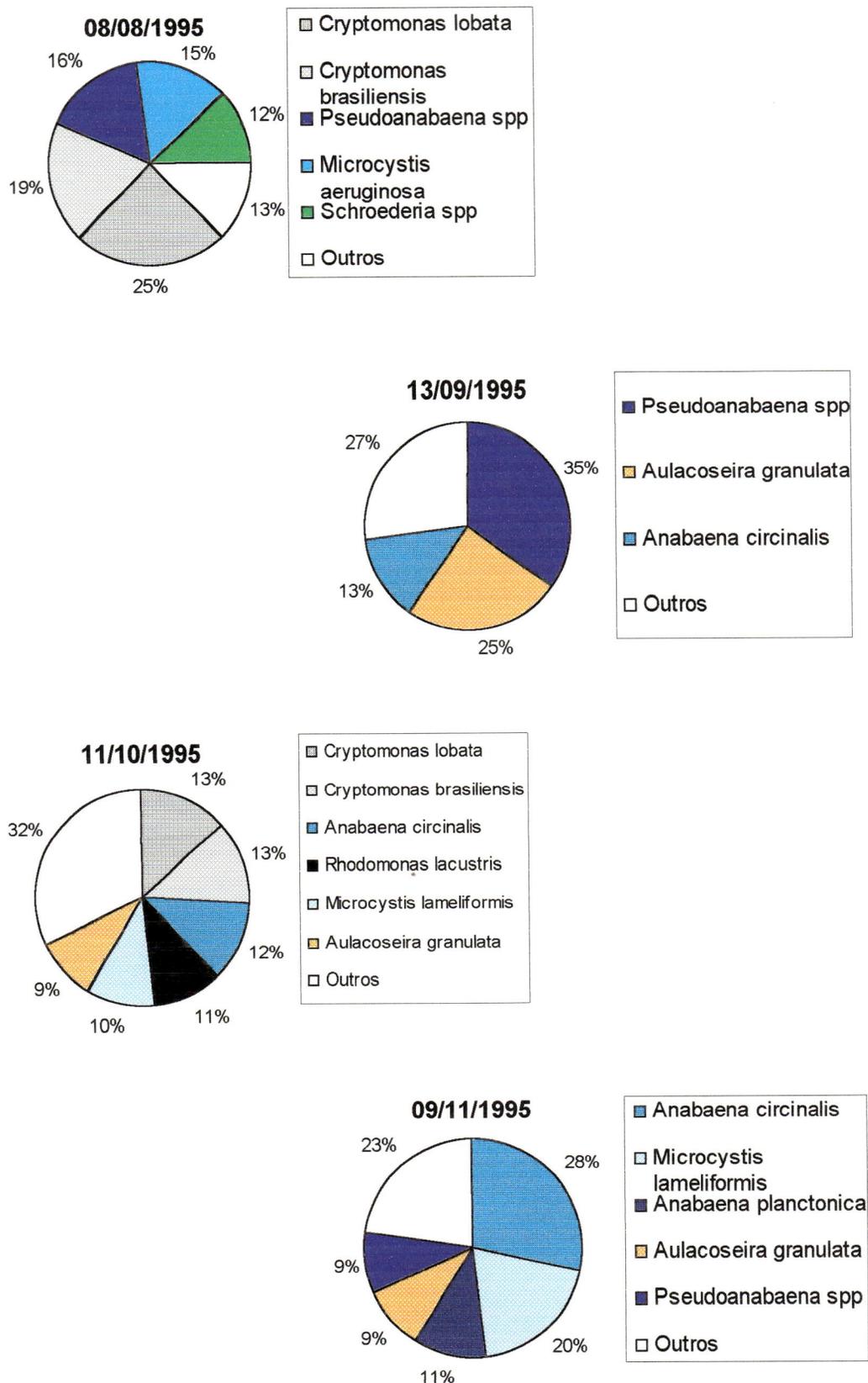
Figura 18. Porcentagem de contribuição média na coluna d'água das diferentes classes, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



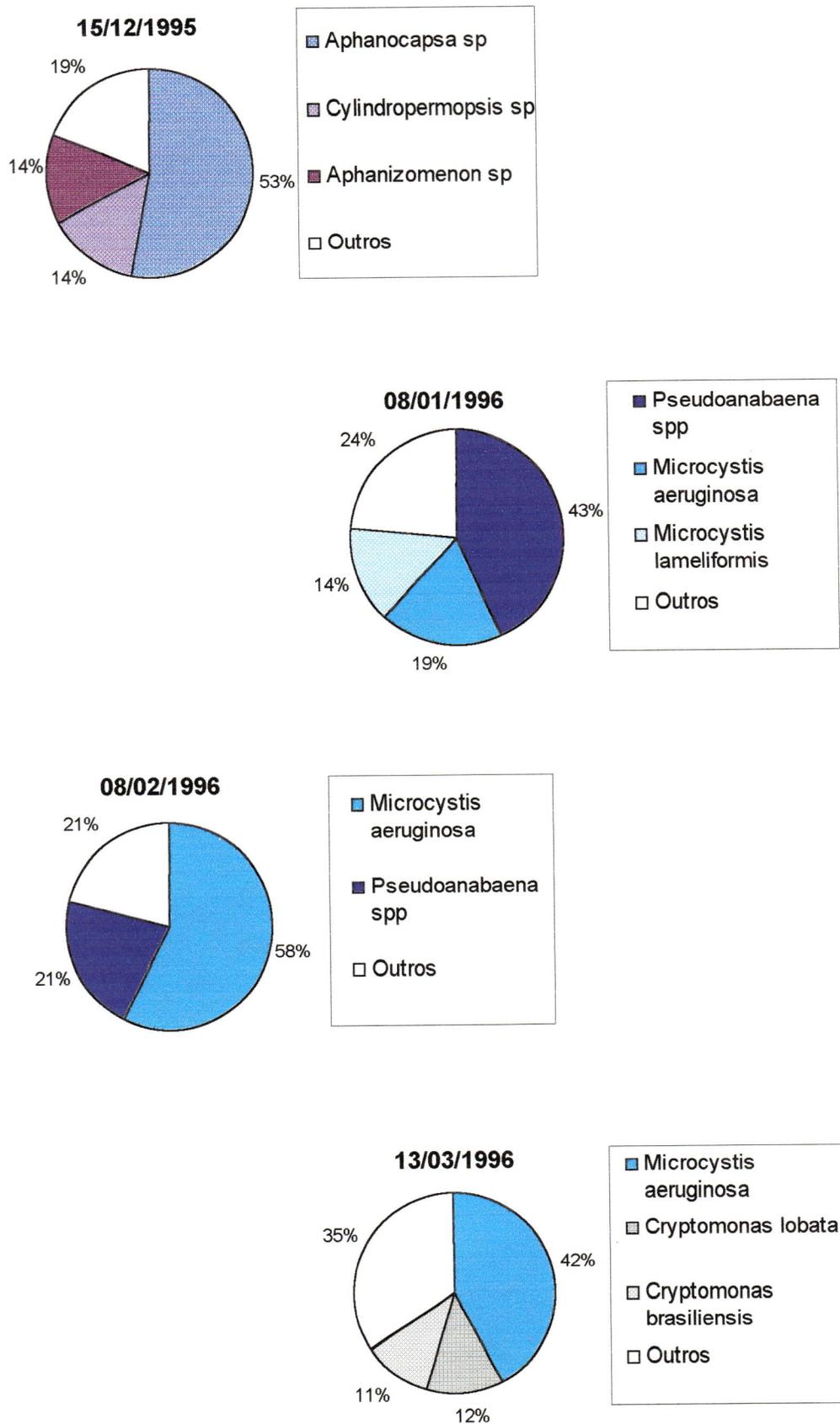
**Figura 19.** Porcentagem de contribuição média na zona eufótica das diferentes classes, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



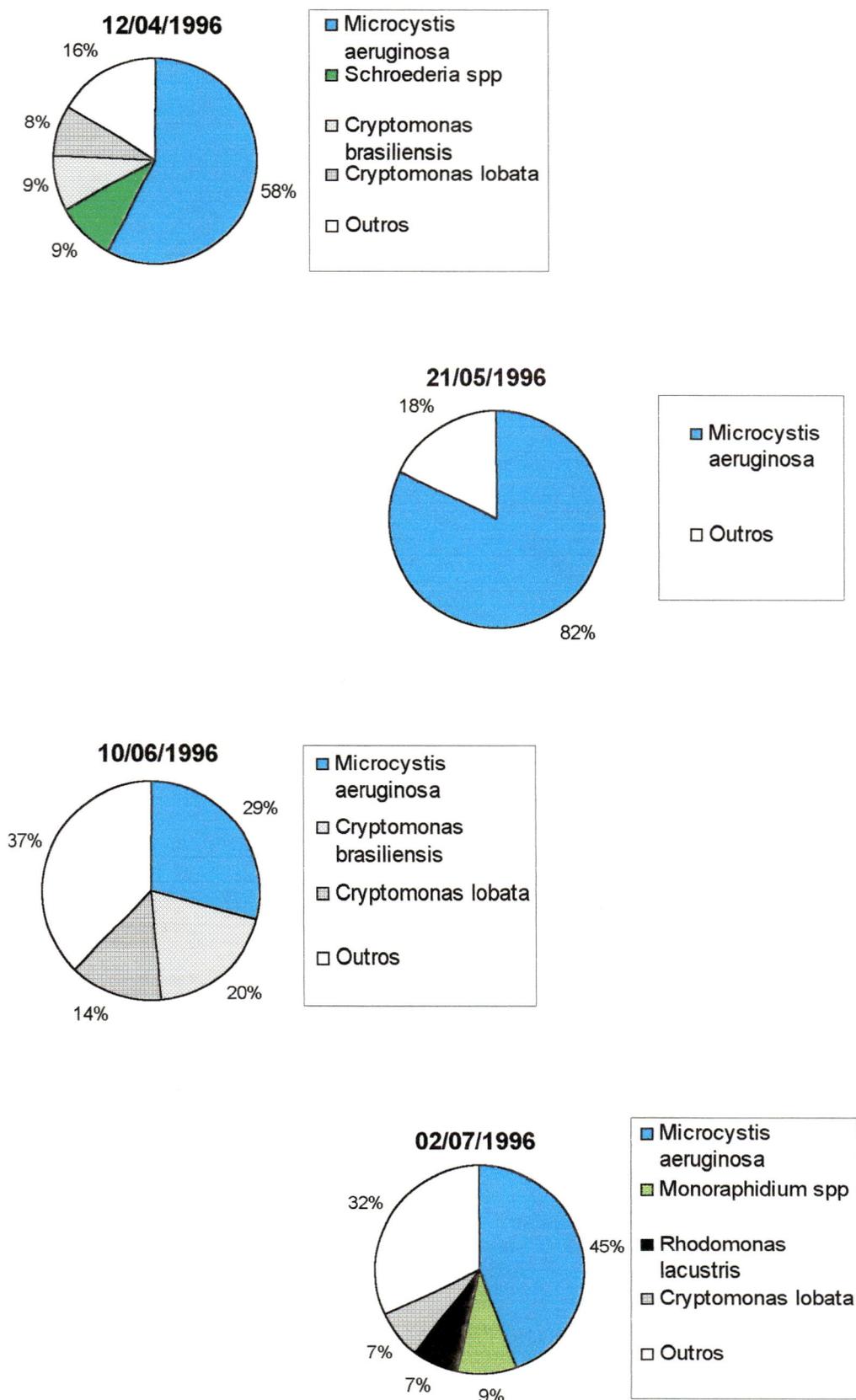
**Figura 20.** Porcentagem de contribuição média na zona afótica das diferentes classes, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



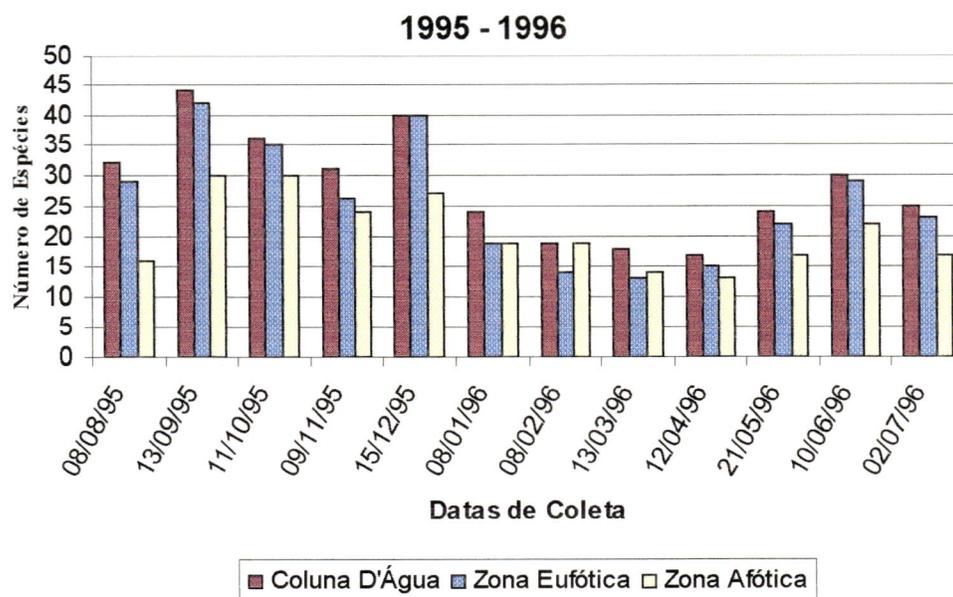
**Figura 21.** Abundância relativa dos organismos fitoplancônicos, média da coluna d'água, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



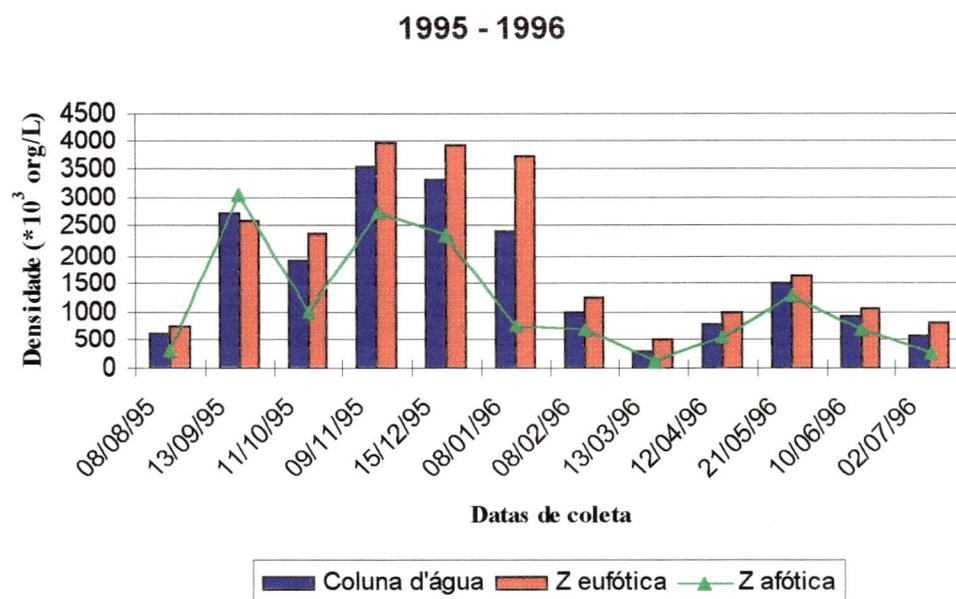
**Figura 22.** Abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos, média da coluna d'água, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



**Figura 23.** Abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos, média da coluna d'água, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



**Figura 24.** Número de espécies fitoplancônicas existentes no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



**Figura 25.** Densidade total de organismos fitoplancônicos no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).

#### 4.2.2. BIOVOLUME DAS CÉLULAS FITOPLANCTÔNICAS

O biovolume celular (média da coluna d'água) e a forma das espécies mais abundantes do fitoplâncton, no reservatório de Salto Grande ao longo de todo o ano de coletas, podem ser observados na Tabela 15. O biovolume médio de todas as células de um determinado organismo em 5 ml de amostra (média da coluna d'água) e a forma das espécies mais abundantes do fitoplâncton, ao longo de todo o ano de estudo, podem ser observado na Tabela 16.

O biovolume médio celular foi calculado para as quatorze espécies mais abundantes ao longo de todo o ano de estudo. Entre essas, a de maior volume foi *Microcystis aeruginosa*, com  $9.799,1 \mu\text{m}^3$  (média do biovolume de 100 células – equivalente ao número médio de células das colônias de *Microcystis aeruginosa* no presente trabalho), nas coletas dos meses de fevereiro a julho de 1996. As colônias de *Microcystis aeruginosa*, nos últimos meses de trabalho, apresentaram diâmetros muito semelhantes, razão pela qual apresentaram biovolumés celulares médios similares. A espécie de maior biovolume, em apenas uma célula foi *Aulacoseira granulata* com  $2315,0 \mu\text{m}^3$  na coleta do mês de dezembro (15/12/1995).

O biovolume médio de cada organismo, multiplicado pelo total de organismos obtidos nas câmaras de contagens de 5mL (resultados das contagens do número de organismos presentes em 5 mL das amostras), foi maior para *Microcystis aeruginosa*, com o valor da biomassa igual a  $1.652.978 \mu\text{m}^3$  (em 5 mL de amostra), na coleta do mês de fevereiro (08/02/1996). Valores elevados também foram encontrados para essa mesma espécie, na coleta do mês de maio (21/05/1996), com  $1.211.518 \mu\text{m}^3$  (em 5 mL de amostra) e para *Aulacoseira granulata* no mês de setembro (13/09/1995), com o valor de  $1.268.610 \mu\text{m}^3$  (em 5 mL de amostra).

As variações dos biovolumés celulares das espécies estudadas ao longo do ano de coletas não podem ser averiguados, pois os cálculos do volume foram realizados em função dos organismos mais abundantes em cada mês, com o único objetivo de identificar-se os organismos mais importantes para a produção primária fitoplanctônica.

### 4.2.3. CLOROFILA E FEOPIGMENTOS

Os perfis das concentrações de clorofila *a* total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$ , feofitina total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  no reservatório de Salto Grande ao longo do ano de estudo, podem ser observados na Figura 26. As médias das concentrações de clorofila *a* total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  na zona eufótica, ao longo do ano de estudo, podem ser observadas na Tabela 17.

As concentrações de clorofila *a* total variaram entre um mínimo de 0,0  $\mu\text{g/l}$  em amostra do dia 12/04/1996, a 10,5 metros de profundidade e um máximo de 110,48  $\mu\text{g/l}$  em amostra do dia 08/02/1996, a 0,0 metros de profundidade. As concentrações de clorofila *a* fracionada variaram entre um mínimo de 0,0  $\mu\text{g/l}$  em amostras dos dias 13/03/1996, a 5,0 e 11,0 metros de profundidade e 12/04/1996, a 10,5 metros e um máximo de 28,60  $\mu\text{g/l}$  em amostra do dia 08/01/1996, a 0,50 metros de profundidade.

As concentrações de feofitina total variaram entre um mínimo de 0,56  $\mu\text{g/l}$ , em amostra do dia 09/11/1995 a 2,0 m de profundidade e um máximo de 42,30  $\mu\text{g/l}$ , no dia 08/02/1996 a 5,0 m. As concentrações de feofitina fracionada variaram entre um mínimo de 0,06  $\mu\text{g/l}$ , em amostra do dia 12/04/1996 a 5,0 m de profundidade e um máximo de 13,17  $\mu\text{g/l}$ , no dia 09/11/1995 a 0,0 m.

Os perfis de clorofila e feofitina (total e fracionada) mostraram-se praticamente homogêneos, em toda a coluna d'água, nas coletas dos meses de agosto a outubro e dezembro de 1995 e junho de 1996. Nos meses de abril, maio e julho de 1996 observou-se uma pequena diminuição das concentrações de clorofila *a* total nas camadas superficiais e aumento nas camadas inferiores. Nos meses de novembro de 1995 e janeiro a março de 1996, os valores de clorofila *a* total mostraram grande elevação na superfície ou camadas superficiais, com quedas nas camadas mais profundas. Nesses meses houve estratificação na coluna d'água.

As concentrações médias de clorofila *a* total, da zona eufótica, variaram entre um mínimo de 11,56  $\mu\text{g/l}$  em amostras do dia 11/10/1995 e um máximo de 73,56  $\mu\text{g/l}$  em amostras do dia 08/02/1996. As concentrações de clorofila

a fracionada variaram entre um mínimo de 1,11 µg/l em amostras do dia 13/03/1996 e um máximo de 24,27 µg/l em amostras do dia 15/12/1995.

#### 4.2.4. PRODUÇÃO PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA

##### 4.2.4.1. MÉTODO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Os perfis da produção primária bruta, líquida e da respiração da comunidade fitoplanctônica pelo método do oxigênio dissolvido, no reservatório de Salto Grande, ao longo do ano de coletas, podem ser observados na Figura 27.

O maior valor de produção primária bruta, ao longo de todo o ano de coletas, ocorreu no dia 08/01/1996, com o valor de 2600 mgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h a 0,0 m de profundidade. O maior valor de produção primária líquida, 2490 mgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h a 0,0 m, foi determinado também em amostra do dia 08/01/1996. O valor mais elevado da respiração da comunidade, 260 mgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h a 0,0 m, ocorreu no dia 09/11/1995.

A produção primária líquida passou a apresentar valores iguais a 0,0 mgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h nas seguintes datas:, no mês de agosto (08/08/1996), a partir de 3,50 m de profundidade; em setembro (13/09/1995), a partir de 5,0 m; em outubro (11/10/1995), a partir de 6,0 m; em novembro (09/11/1995), a partir de 3,50 m; em dezembro (15/12/1995), a partir de 5,0 m; em janeiro (08/01/1996 a partir de 3,0 m; em fevereiro (08/02/1996), a partir de 2,0 m; em março (13/03/1996), a partir de 3,0 m; em abril (12/04/1996), a partir de 2,0 m; em maio (21/05/1996 a partir de 4,5 m; em junho (10/06/1996), a partir de 5,0 m e em julho (02/07/1996), a partir de 6,0 m.

Os valores de produção primária bruta e líquida raramente ultrapassaram 650 mgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h, com exceção das amostras dos meses de janeiro e março de 1996 que apresentaram picos de produção nas camadas superficiais. Nos meses de agosto a dezembro de 1995 e maio e junho de 1996 a inibição da produção foi observada na superfície.

#### 4.2.4.2.MÉTODO DO $^{14}\text{C}$

Os perfis de produção primária total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  da comunidade fitoplanctônica pelo método do  $^{14}\text{C}$ , no reservatório de Salto Grande ao longo do ano de coletas, podem ser observados na Figura 28. As isolíneas de produção primária, pelo mesmo método, podem ser observadas na Figura 29. Os valores médios de produção primária e fixação de Carbono no escuro, totais e fracionados, podem ser observados na Tabela 17. As variações da produtividade primária da comunidade fitoplanctônica (total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$ ) e da fixação no escuro, em  $\text{mgC}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ , ao longo do ano de coleta, podem ser observadas na Figura 30.

O maior valor de produção primária total, ao longo de todo o ano de coletas, ocorreu na amostra do dia 13/03/1996, com o valor de  $246,41 \text{ mgC}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  a 0,0 m de profundidade. O maior valor de produção primária fracionada,  $76,64 \text{ mgC}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  a 0,0 m, ocorreu na amostra do dia 09/11/1995.

Na coleta do dia 08/08/1995, a produção primária atingiu a maior profundidade observada ao longo de todo o ano de estudo, com valor de  $0,39 \text{ mgC}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  a 7,0 m. No mês de março, a profundidade atingida pela produção primária foi a menor,  $0,0 \text{ mgC}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  já a 2,0m de profundidade. Nos demais meses foram observados valores semelhantes: em setembro (13/09/1995), apenas abaixo de 3,0 m; em outubro (11/10/1995), abaixo de 6,0 m; em novembro (09/11/1995), abaixo de 3,50 m; em dezembro (15/12/1995), abaixo de 5,0 m; em janeiro (08/01/1996), abaixo de 3,0 m; em fevereiro (08/02/1996), abaixo de 3,5 m; em abril (12/04/1996), abaixo de 3,5 m; em maio (21/05/1996), abaixo de 4,0 m; em junho (10/06/1996), abaixo de 5,0 m e em julho (02/07/1996), abaixo de 6,0 m.

Os valores de produção primária total e fracionada raramente ultrapassaram  $50 \text{ mgC}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , com exceção para amostras dos meses de novembro de 1995, janeiro, fevereiro, março e maio de 1996 que apresentaram picos de produção nas camadas superficiais. Nos meses de agosto a outubro e dezembro de 1995 e abril a julho de 1996 uma inibição da produção na superfície foi observada.

Nas isolíneas pode-se observar os maiores picos de produção primária nas amostras dos meses de novembro de 1995 e março de 1996. Nessa última, o pico

de produção foi concentrado na superfície. Praticamente em todos os meses os valores de produção primária, abaixo dos 3,0 m, foram inferiores a  $20,0 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$ .

Os valores médios de produção primária total, variaram entre um mínimo de  $3,87 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  nas amostras do dia 12/04/1996 e um máximo de  $74,11 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  nas amostras do dia 09/11/1995. Os valores de produção primária fracionada variaram entre um mínimo de  $0,88 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  nas amostras do dia 12/04/1996 e um máximo de  $34,88 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  nas amostras do dia 09/11/1995.

Os valores médios de fixação de Carbono no escuro, ao longo do ano de estudo, variaram entre um mínimo de  $0,50 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  na amostra do dia 12/04/1996 e um máximo de  $2,96 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  na amostra do dia 21/05/1996. Os valores de fixação de Carbono no escuro fracionados variaram entre um mínimo de  $0,36 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  na amostra do dia 12/04/1996 e um máximo de  $2,16 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{h}$  na amostra do dia 08/08/1995.

As porcentagens médias de fixação do Carbono no escuro, total e fracionada, ao longo do ano de estudo, foram mais baixas na amostra do dia 08/01/1996, com os valores de 1,94 e 2,60 %, respectivamente. As porcentagens de fixação do Carbono no escuro, total e fracionada, foram mais elevadas na amostra do dia 12/04/1996, com os valores de 12,86 e 41,0 %, respectivamente.

A produção primária total, pelo método do  $^{14}\text{C}$ , ao longo do ano de estudo, foi mais elevada no mês de novembro (09/11/1995), com o valor de  $163,45 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$  e mais baixa no mês de abril (12/04/1996), com o valor de  $9,48 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$ . O maior valor de produção primária fracionada, ao longo de todo o ano de coletas, ocorreu na amostra do dia 15/12/1995, com o valor de  $128,53 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$  e o menor,  $2,39 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$ , no dia 12/04/1996. O maior valor de fixação de C no escuro foi de  $33,7 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$  na amostra do dia 08/08/1995 e o menor,  $3,5 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$ , no dia 08/01/1996.

#### 4.2.5. TAXA DE ASSIMILAÇÃO

Os valores médios de taxa de assimilação em  $\text{mgC}/\mu\text{gChla.h}$ , totais e fracionados, ao longo de todo o ano de estudo, podem ser observados na Tabela 17 e na Figura 31.

O valores médios de taxa de assimilação total e fracionada, ao longo do ano de estudo, foram mais baixos nas amostras dos dias 11/10/1995, 2,04  $\text{mgC}/\mu\text{gChla.h}$  e 09/11/1995, 8,02  $\text{mgC}/\mu\text{gChla.h}$ , respectivamente. Os valores médios de taxa de assimilação, total e fracionada, foram mais elevados nas amostras do dia 12/04/1996, com os valores de 0,25 e 0,21  $\text{mgC}/\mu\text{gChla.h}$ , respectivamente.

#### 4.2.6. ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

Os resultados de índice de estado trófico, obtidos através dos dois métodos utilizados, ao longo de todo o ano de estudo no reservatório de Salto Grande, podem ser observados na Tabela 18.

Através dos resultados obtidos pelo método modificado por Kratzer & Brezonik (1981), observou-se que, em todos os meses de coleta, as classificações foram de eutrófico ou hipereutrófico.

Através dos resultados obtidos pelo método modificado por Toledo Jr. et al. (1983), observou-se que, nos meses de agosto e dezembro de 1995 e de maio a julho de 1996, o reservatório pode ser classificado como mesotrófico, enquanto nos demais meses de coleta, como eutrófico.

Em ambos os métodos, nas amostras dos meses de janeiro (08/01/1996) e março (13/03/1996) os resultados indicaram o grau máximo de trofia. Através do primeiro método (Kratzer & Brezonik, 1981), a classificação baseada no o Disco de Secchi, fósforo total e clorofila  $a$ , foi a de hipereutrófico. Através do segundo método (Toledo Jr. et al., 1983), a classificação baseada no Disco de Secchi, fósforo total, fósforo inorgânico e clorofila  $a$ , foi a de eutrófico.

**TABELA 14.** Biovolume celular médio da coluna d'água ( $\mu\text{m}^3$ ) e forma dos organismos fitoplanctônicos mais abundantes existentes no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).

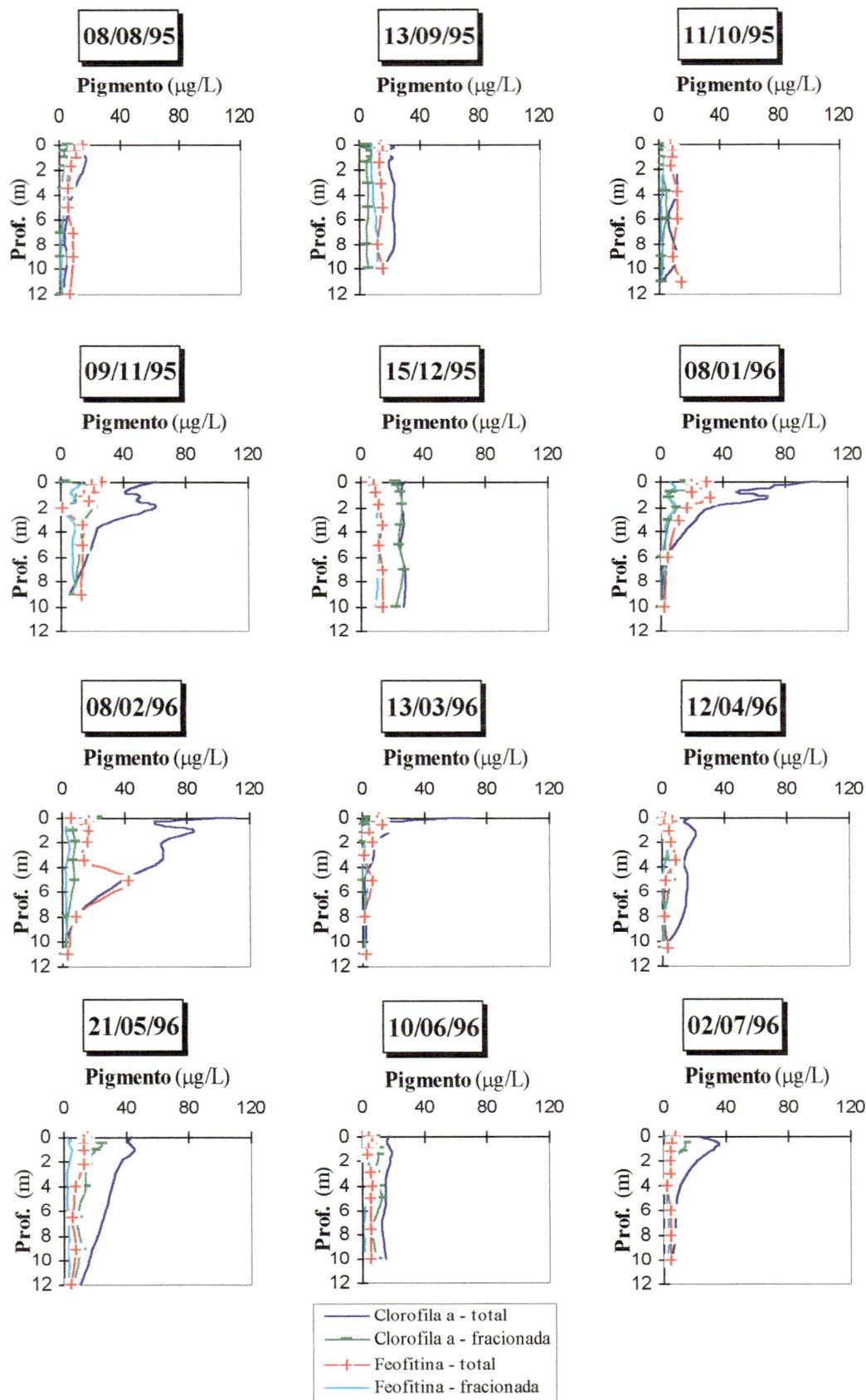
| <i>Taxons</i>                      | <i>Forma</i> | 08/08/95 | 13/09/95 | 11/10/95 | 09/11/95 | 15/12/95 | 08/01/96 | 08/02/96 | 13/03/96 | 12/04/96 | 21/05/96 | 10/06/96 | 02/07/96 |
|------------------------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>Aulacoseira granulata</i>       | cone         | 2176,7   | 2168,44  | ***      | 2123,1   | 2315,0   | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 2175,8   | ***      |
| <i>Monoraphidium</i> spp           | 2 cones      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 8,8      |
| <i>Schroederia</i> spp             | elipse       | 27,7     | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 31,5     | ***      | ***      | ***      |
| <i>Cryptomonas lobata</i>          | elipse       | 526,4    | ***      | 607,88   | ***      | ***      | ***      | ***      | 466,7    | 507,5    | ***      | 507,5    | 509,1    |
| <i>Cryptomonas brasiliensis</i>    | elipse       | 208,6    | ***      | 131,37   | ***      | ***      | ***      | ***      | 156,5    | 208,8    | ***      | 208,6    | 210,9    |
| <i>Rhodomonas lacustris</i>        | elipse       | ***      | ***      | 22,81    | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 22,9     |
| <i>Anabaena circinalis</i>         | esfera       | ***      | 98,22    | 98,75    | 98,5     | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| <i>Anabaena planctonica</i>        | esfera       | ***      | ***      | ***      | 128,8    | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| <i>Aphanizomenon</i> sp            | elipse       | ***      | ***      | ***      | 24,5     | 24,8     | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| <i>Aphanocapsa</i> sp              | esfera       | ***      | ***      | ***      | ***      | 1,5      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| <i>Cylindrocapsa</i>               | elipse       | ***      | ***      | 48,05    | ***      | 25,7     | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| • <i>Microcystis aeruginosa</i>    | esfera       | 8540,0   | 7603,79  | ***      | ***      | ***      | 8342,5   | 9799,1   | 9799,1   | 9799,1   | 9799,1   | 9799,1   | 9799,1   |
| • <i>Microcystis lamelliformis</i> | esfera       | 1149,4   | 1209,7   | 1035,15  | 1277,0   | ***      | 1149,4   | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| <i>Pseudoanabaena</i> spp          | elipse       | ***      | 21,14    | ***      | 20,1     | ***      | 36,0     | 20,1     | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |

• Média do biovolume de 100 células

**TABELA 15.** Biovolume médio da coluna d'água ( $\mu\text{m}^3$ ) em 5 ml de amostra e forma dos organismos fitoplanctônicos mais abundantes existentes no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).

| Taxons                     | Forma   | 08/08/95 | 13/09/95 | 11/10/95 | 09/11/95 | 15/12/95 | 08/01/96 | 08/02/96 | 13/03/96 | 12/04/96 | 21/05/96 | 10/06/96 | 02/07/96 |
|----------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Aulacoseira granulata      | cone    | 7615     | 1268610  | ***      | 122527   | 46880    | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 23955    | ***      |
| Monoraphidium spp          | 2 cones | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 52       |
| Schroederia spp            | elipse  | 283      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 346      | ***      | ***      | ***      |
| Cryptomonas lobata         | elipse  | 18879    | ***      | 37806    | ***      | ***      | ***      | ***      | 2606     | 2829     | ***      | 6070     | 3370     |
| Cryptomonas brasiliensis   | elipse  | 5646     | ***      | 6532     | ***      | ***      | ***      | ***      | 847      | 988      | ***      | 4591     | 699      |
| Rhodomonas lacustris       | elipse  | ***      | ***      | 1046     | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | 363      |
| Anabaena circinalis        | esfera  | ***      | 282549   | 121702   | 234962   | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| Anabaena planctonica       | esfera  | ***      | ***      | ***      | 101648   | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| Aphanizomenon sp           | elipse  | ***      | ***      | ***      | 6952     | 89696    | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| Aphanocapsa sp             | esfera  | ***      | ***      | ***      | ***      | 115905   | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| Cylindrocapsa              | elipse  | ***      | ***      | 10008    | ***      | 30258    | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| • Microcystis aeruginosa   | esfera  | 187310   | 209721   | ***      | ***      | ***      | 843048   | 1652978  | 164686   | 575218   | 1211518  | 243442   | 283325   |
| • Microcystis lameliformis | esfera  | 756      | 92918    | 82320    | 271440   | ***      | 102127   | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |
| Pseudoanabaena spp         | elipse  | ***      | 5075     | ***      | 675      | ***      | 4488     | 746      | ***      | ***      | ***      | ***      | ***      |

• Média do biovolume de 100 células



**Figura 26.** Perfis das concentrações de clorofila a total e da fração menor que  $20 \mu\text{m}$ , feofitina total e da fração menor que  $20 \mu\text{m}$  no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

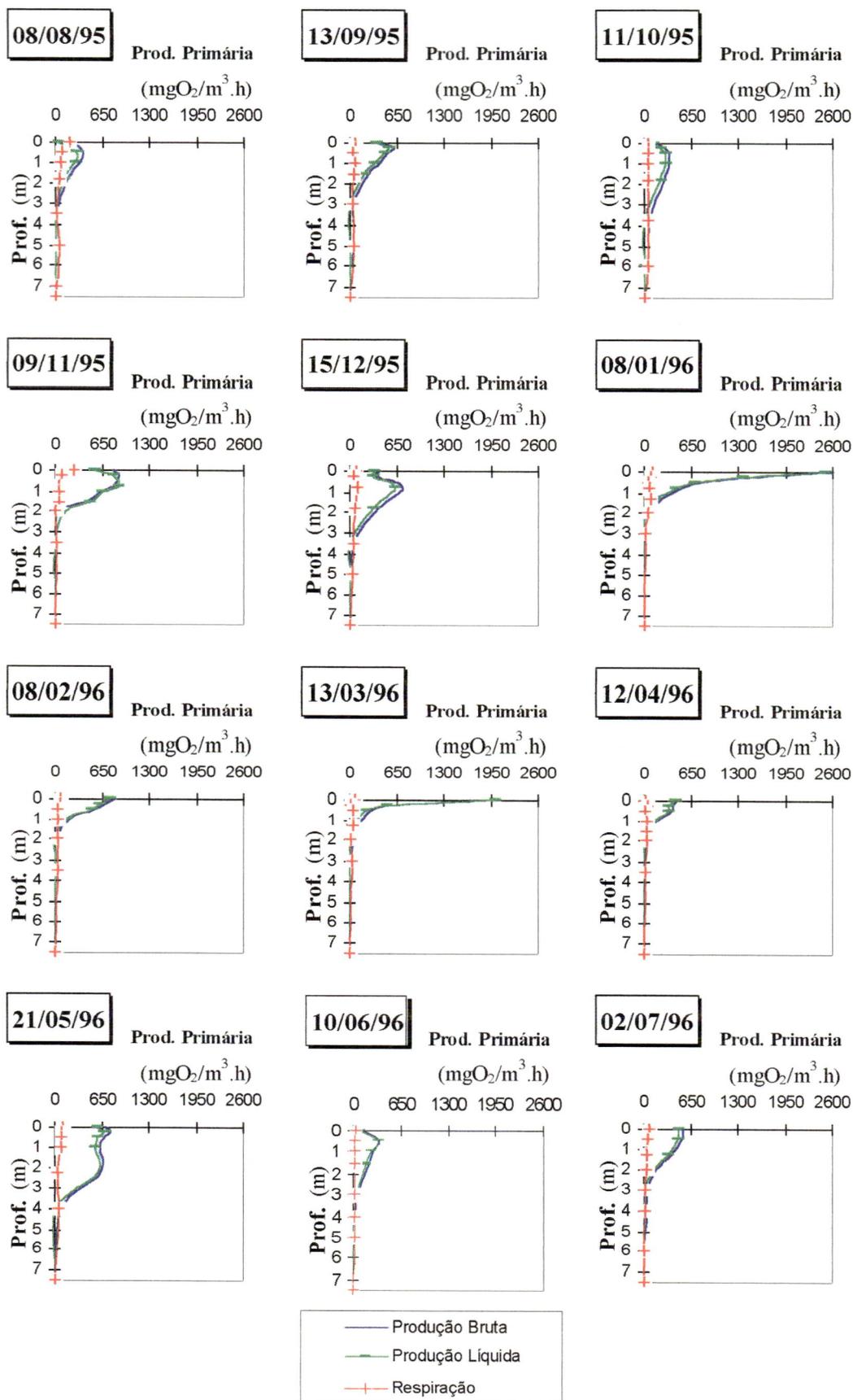


Figura 27. Perfis da produção primária bruta, líquida e da respiração – método do Oxigênio Dissolvido - no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

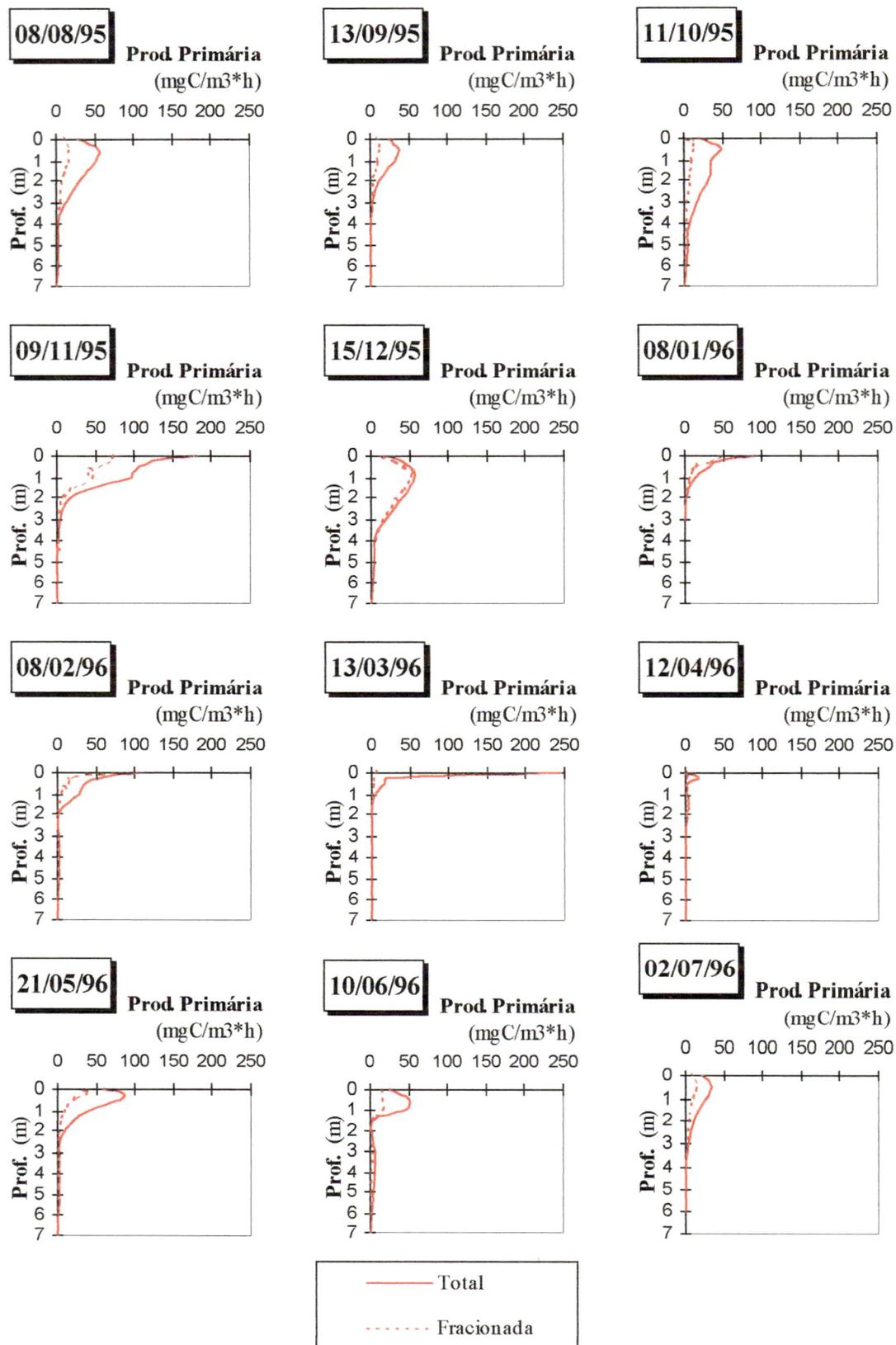
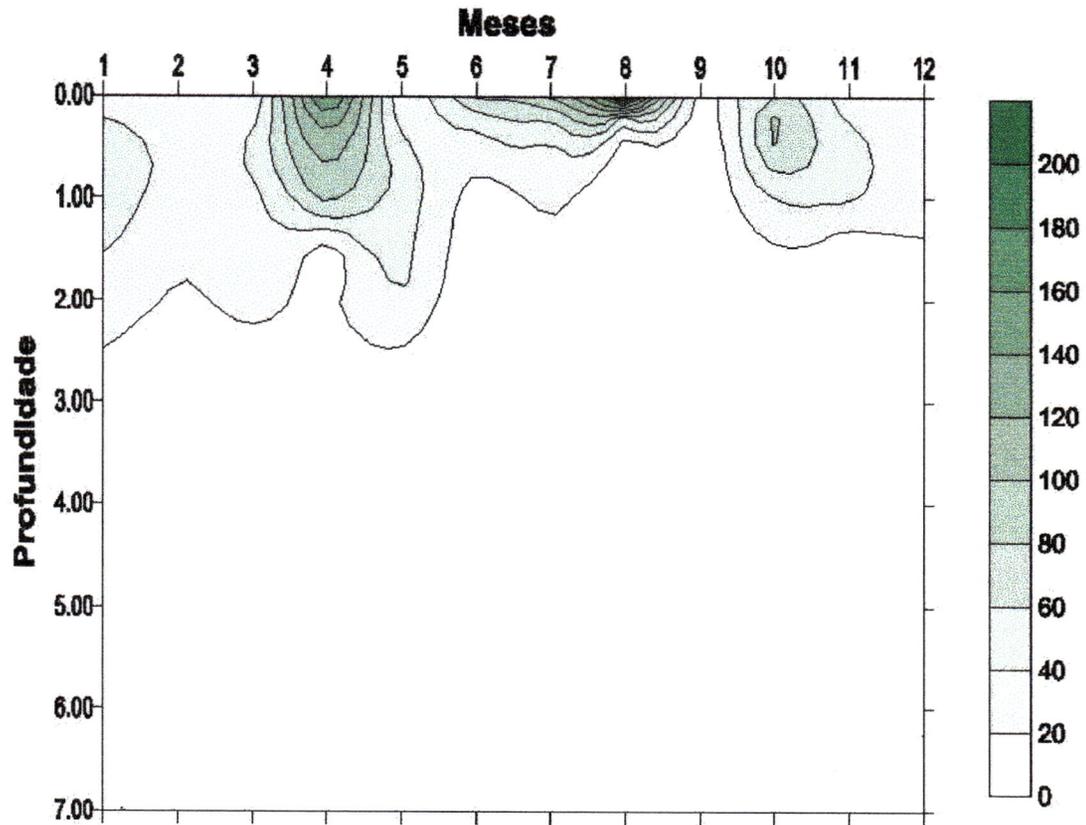
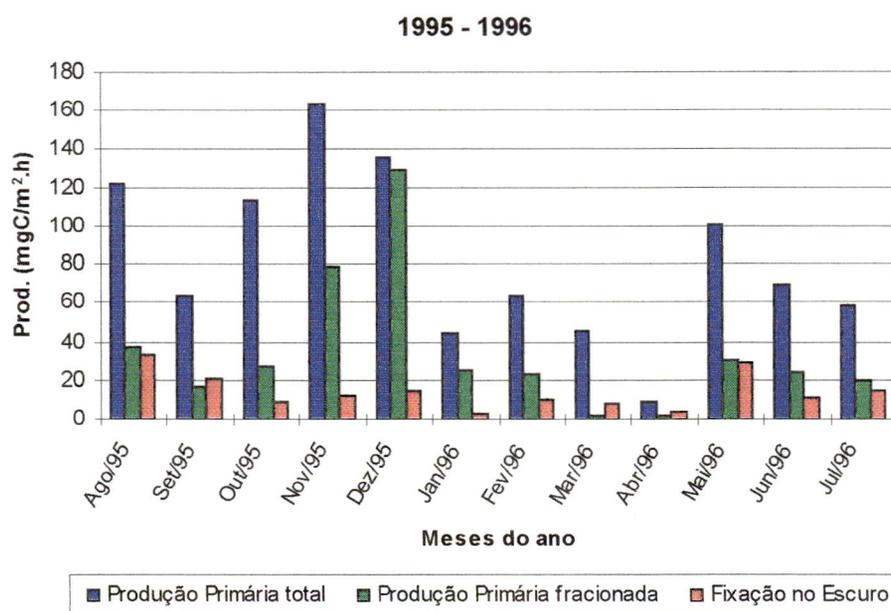


Figura 28. Perfis da produção primária total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  – método do  $^{14}\text{C}$  - no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996.

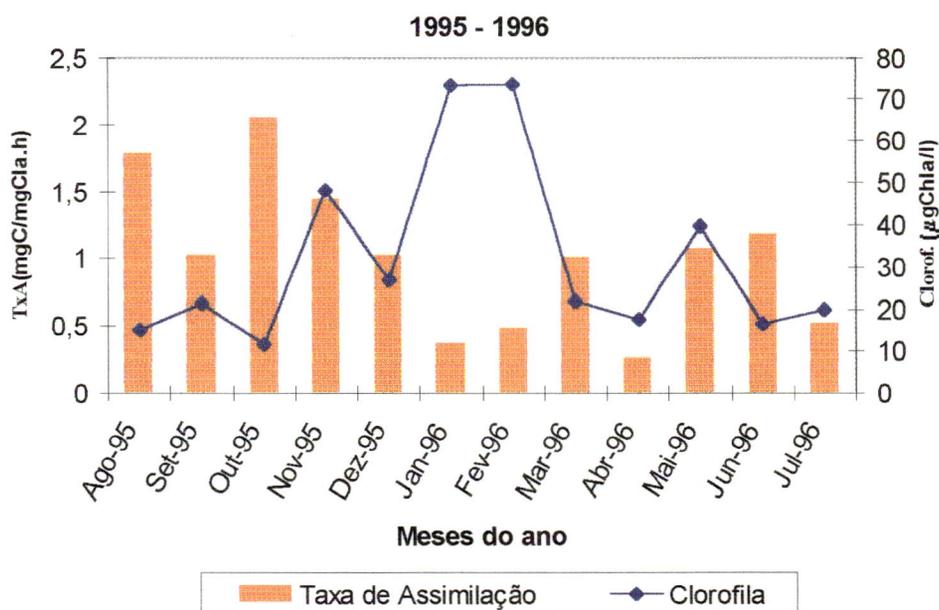


**Figura 29.** Isolíneas de Produção Primária (mgC/m<sup>3</sup>.h) no Reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1995 a julho de 1996 (o n° 1 indica o mês de agosto de 1995, mês em que se iniciaram as coletas, e o n° 12 indica o mês de julho de 1996, mês em que foi realizada a última coleta do trabalho).





**Figura 30.** Variações da produtividade primária da comunidade fitoplancônica (total e da fração menor que  $20\mu\text{m}$ ) e da fixação de C no escuro, no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).



**Figura 31.** Variações nas taxas de assimilação (mgC/mgChla.h) e das concentrações médias de clorofila a ( $\mu\text{gChla/l}$ ), no reservatório de Salto Grande, durante as coletas mensais (agosto/95 a julho/96).

**TABELA 16:** Valores médios da concentração de Clorofila a total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  na zona eufótica ( $\mu\text{gChla/l}$ ), da produção primária do fitoplâncton total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  ( $\text{mgC/m}^3\cdot\text{h}$ ), da fixação de carbono no escuro pelo plâncton total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  ( $\text{mgC/m}^3\cdot\text{h}$ ), porcentagem de carbono fixado no escuro pelo plâncton total e na fração menor que 20  $\mu\text{m}$  e da taxa de assimilação média do fitoplâncton total e da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  ( $\text{mgC/mgChla}\cdot\text{h}$ ).

| Datas    | Clorofila a<br>( $\mu\text{gChla/l}$ ) |            | Produção Primária<br>( $\text{mgC/m}^3\cdot\text{h}$ ) |            | Fixação do C no Escuro<br>( $\text{mgC/m}^3\cdot\text{h}$ ) |            | % de C Fixado no<br>Escuro |            | Taxa de Assimilação<br>( $\text{mgC/mgChla}\cdot\text{h}$ ) |            |
|----------|--|------------|--|------------|---|------------|----------------------------|------------|---|------------|
|          | Total                                  | Fracionada | Total  | Fracionada | Total   | Fracionada | Total                      | Fracionada | Total   | Fracionada |
| 08/08/95 | 14,74                                  | 3,77       | 25,09  | 6,94       | 2,18  | 2,16       | 8,68                       | 16,69      | 1,70  | 1,84       |
| 13/09/95 | 21,28                                  | 5,26       | 20,84  | 5,67       | 1,59  | 0,66       | 7,61                       | 11,59      | 0,98  | 1,07       |
| 11/10/95 | 11,56                                  | 3,74       | 25,32  | 6,13       | 0,74  | 0,50       | 2,91                       | 8,09       | 2,19  | 1,64       |
| 09/11/95 | 48,30                                  | 13,47      | 74,11  | 34,88      | 1,69  | 1,09       | 2,28                       | 3,14       | 1,53  | 2,59       |
| 15/12/95 | 26,70                                  | 24,27      | 27,15  | 26,79      | 1,27  | 1,09       | 4,69                       | 4,06       | 1,02  | 1,10       |
| 08/01/96 | 73,24                                  | 17,96      | 27,71  | 16,09      | 0,54  | 0,42       | 1,94                       | 2,60       | 0,39  | 0,89       |
| 08/02/96 | 73,56                                  | 9,30       | 37,84  | 17,91      | 1,57  | 0,97       | 4,15                       | 5,40       | 0,51  | 1,92       |
| 13/03/96 | 21,67                                  | 1,11       | 47,46  | 1,81       | 2,01  | 0,50       | 4,24                       | 27,45      | 2,19  | 1,63       |
| 12/04/96 | 17,62                                  | 4,38       | 3,87   | 0,88       | 0,50  | 0,36       | 12,86                      | 41,00      | 0,22  | 0,20       |
| 21/05/96 | 39,61                                  | 17,20      | 45,31  | 17,09      | 2,96  | 0,85       | 6,52                       | 4,99       | 1,14  | 0,99       |
| 10/06/96 | 16,50                                  | 16,50      | 19,43  | 7,22       | 0,93  | 0,49       | 4,79                       | 6,82       | 1,17  | 0,43       |
| 02/07/96 | 20,08                                  | 7,01       | 13,27  | 4,40       | 1,00  | 0,58       | 7,50                       | 13,14      | 0,66  | 0,62       |
| MÉDIA    | 32,07                                  | 10,33      | 30,62  | 12,15      | 1,41  | 0,72       | 5,67                       | 12,08      | 1,14  | 1,24       |

TABELA 17: Estado trófico do Reservatório de Salto Grande (Americana – S.P.) durante os doze meses de coleta.

| <i>I.E.T. Carlson (1977)</i>                        |                | <i>I.E.T. Carlson (1977)</i>                   |                |                 |               |                 |               |
|---|----------------|--|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| <i>Modificado por Kratzer &amp; Brezonik (1981)</i> |                | <i>Modificado por Toledo Jr. Et al. (1983)</i> |                |                 |               |                 |               |
| Datas de Coleta                                     | Classificação  | Datas de Coleta                                | Classificação  |                 |               |                 |               |
|   |                |  |                | Disco de Secchi | Fósforo Total | Disco de Secchi | Fósforo Total |
| 08/08/95  | Hipereutrófico | 08/08/95                                       | Eutrófico      | Mesotrófico     | Eutrófico     | Eutrófico       | Mesotrófico   |
| 13/09/95  | Hipereutrófico | 13/09/95                                       | Hipereutrófico | Mesotrófico     | Eutrófico     | Mesotrófico     | Eutrófico     |
| 11/10/95  | Hipereutrófico | 11/10/95                                       | Eutrófico      | Mesotrófico     | Eutrófico     | Oligotrófico    | Eutrófico     |
| 09/11/95  | Hipereutrófico | 09/11/95                                       | Hipereutrófico | Eutrófico       | Eutrófico     | Mesotrófico     | Eutrófico     |
| 15/12/95  | Eutrófico      | 15/12/95                                       | Hipereutrófico | Mesotrófico     | Mesotrófico   | Oligotrófico    | Eutrófico     |
| 08/01/96  | Hipereutrófico | 08/01/96                                       | Hipereutrófico | Eutrófico       | Eutrófico     | Eutrófico       | Eutrófico     |
| 08/02/96  | Hipereutrófico | 08/02/96                                       | Hipereutrófico | Eutrófico       | Eutrófico     | Mesotrófico     | Eutrófico     |
| 13/03/96  | Hipereutrófico | 13/03/96                                       | Hipereutrófico | Eutrófico       | Eutrófico     | Eutrófico       | Eutrófico     |
| 12/04/96  | Hipereutrófico | 12/04/96                                       | Eutrófico      | Eutrófico       | Eutrófico     | Mesotrófico     | Eutrófico     |
| 21/05/96  | Hipereutrófico | 21/05/96                                       | Hipereutrófico | Mesotrófico     | Eutrófico     | Oligotrófico    | Mesotrófico   |
| 10/06/96  | Hipereutrófico | 10/06/96                                       | Eutrófico      | Mesotrófico     | Eutrófico     | Oligotrófico    | Mesotrófico   |
| 02/07/96  | Hipereutrófico | 02/07/96                                       | Hipereutrófico | Mesotrófico     | Eutrófico     | Oligotrófico    | Mesotrófico   |

## 5.DISSCUSSÃO

### ESTRUTURA, DINÂMICA E PRODUÇÃO PRIMÁRIA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA

Os ecossistemas aquáticos apresentam uma variabilidade ambiental – espacial e temporal – que definem um alto grau de incerteza em relação às populações fitoplanctônicas. Essa variabilidade é expressa por características físicas (luz, temperatura) e químicas (nutrientes e gases dissolvidos) da coluna d'água que estão diretamente relacionadas a fatores como o vento, radiação solar e precipitação (CALIJURI & DOS SANTOS, 1996).

O vento é um fator de grande importância nos ambientes aquáticos, pois sua ação pode induzir à circulação da água. No reservatório de Salto Grande, a variação dos valores médios mensais de velocidade do vento foi muito pequena ao longo do ano de estudo. As médias mensais, assim como as médias diárias obtidas nos três dias anteriores às coletas e nos dias de coleta, foram muito baixas. FROEHLICH et al. (1978) encontraram valores muito baixos de velocidade do vento neste reservatório, ao redor de 5 m/s e relataram que episódios de ventos mais fortes ocorrem ocasionalmente. JATI (1998), estudando o reservatório de Barra Bonita (Bacia do rio Tietê – Estado de São Paulo), encontrou valores de velocidade média do vento de até 23 m/s.

Os valores de horas de insolação diárias, principalmente no verão, foram influenciados pelos eventos de precipitação. Em algumas coletas, o céu permaneceu nublado ao longo de todo o dia. Assim, as maiores médias mensais de horas de insolação foram obtidas nos meses de agosto a novembro de 1995 e de abril a julho de 1996. As menores médias mensais foram obtidas nos meses de dezembro de 1995 e de janeiro a março de 1996, meses que apresentam altos valores de precipitação.

Diferentemente das médias mensais, as maiores horas de insolação, dos dias anteriores às coletas e no dia de coleta, foram encontradas no mês de novembro de 1995 e as menores, tanto nos dias anteriores como no dia de coleta, ocorreram em abril de 1996. Esses valores foram confirmados pelos dados de radiação solar, em  $\text{cal/cm}^3$ , obtidos na estação climatológica montada na barragem do reservatório e pelos dados obtidos no ponto de coleta, em  $\mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$ , no início e término dos experimentos de incubação.

Os perfis de radiação fotossinteticamente ativa mais importantes ocorreram nas coletas dos meses de março e abril de 1996. Em março, a radiação solar na superfície da coluna d'água, no término do período de incubação, foi a mais elevada de todo o ano de estudo, chegando a  $1600 \mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$ , e a média entre os horários inicial e final de incubação também foi mais alta,  $975 \mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$ . Porém, nesse mês, o coeficiente de atenuação da radiação foi o mais elevado de todo o período,  $4,56 \mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$ , e a zona eufótica, a menor, (1,25m). Em abril, a média entre os horários inicial e final de incubação foi a mais baixa do ano de estudo,  $202,5 \mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$ , e ao mesmo tempo, a profundidade da zona eufótica foi uma das mais baixas, 2,0m.

JATI (op. cit), encontrou no reservatório de Barra Bonita valores de até  $1700 \mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$ , na superfície da coluna d'água, nas coletas do mês de julho e valores máximos ao redor de  $200 \mu\text{E/m}^2\cdot\text{s}$  nas coletas dos meses de janeiro e fevereiro.

As coletas deste trabalho, no reservatório de Salto Grande, iniciaram-se no período seco do ano, em agosto de 1995, que foi mantido até setembro, verificado pelos baixos valores mensais de precipitação acumulada. Nos meses de outubro e novembro do mesmo ano, apesar de não terem ocorrido eventos de precipitação nos dias anteriores às coletas e nos dias de coleta, as precipitações mensais foram mais elevadas.

Os meses de dezembro de 1995 a março de 1996 marcaram o período chuvoso do trabalho. No mês de abril, a precipitação mensal caiu substancialmente. As coletas de maio a julho de 1996 foram marcadas pelo retorno ao período seco.

O trabalho se iniciou em uma época de baixas temperaturas do ar, em agosto de 1995. Os meses de temperaturas mais baixas, no entanto, foram maio, junho e julho de 1996. A temperatura do ar, durante os experimentos de incubação, foi mais elevada no mês de novembro de 1995, chegando a 36,5 °C. Esse foi o único mês ao longo de todo o ano de estudo em que se observou a estratificação térmica da coluna d'água, com valores entre 21,3 e 27,5 °C. Em alguns outros meses observou-se apenas uma tendência à formação de termoclinas. FERREIRA (1998), estudando o reservatório de Jurumirim (bacia do rio Paranapanema – Estado de São Paulo), encontrou nos meses de janeiro e fevereiro, estratificação térmica a partir de 20,0 m de profundidade, com valores oscilando entre 21 e 27 °C.

Segundo FROEHLICH et al. (1978), o reservatório de Salto Grande apresenta um comportamento térmico complexo. As estratificações são instáveis e curtas em duração; a coluna d'água mistura-se totalmente em intervalos irregulares de tempo. Durante a época mais fria e seca do ano, de abril a setembro, o reservatório é marcado por períodos de circulação total, com a permanência das frentes frias e períodos de estratificação na ausência das mesmas. Durante a época mais quente e chuvosa, de outubro a março, os eventos de grande precipitação esfriam as águas superficiais e misturam a coluna d'água, eliminando as estratificações. Este período é marcado também pelo aumento do fluxo afluente e das vazões defluentes.

LEITE (1998), estudando o reservatório de Salto Grande, observou que o padrão térmico desse ambiente é complexo, não apresentando um padrão sazonal definido.

Os valores de velocidade do vento, registrados no presente estudo, foram muito baixos. O vento é uma função de força com pouca amplitude no reservatório de Salto Grande. Assim, mesmo sendo um ambiente de reduzido tamanho e pouco profundo (Tabela 19), a circulação da coluna d'água torna-se muito reduzida, podendo ocorrer a formação de gradientes verticais de temperatura, químicos ou biológicos.

**TABELA 18.** Características morfométricas de alguns reservatórios do Estado de São Paulo.

|   | Reservatório de Salto Grande | Reservatório do Lobo (Broa) | Reservatório de Barra Bonita | Reservatório de Jurumirim |
|---|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Profundidade máxima (m)</b>                    | 19,0                         | 12,0                        | ----                         | 40                        |
| <b>Profundidade média (m)</b>                     | 8,0                          | 3,0                         | 10,2                         | 12,9                      |
| <b>Comprimento máximo (Km)</b>                    | 14                           | 8                           | ----                         | 30,75                     |
| <b>Volume máximo (m<sup>3</sup>)</b>              | 10,6×10 <sup>7</sup>         | 22×10 <sup>6</sup>          | 3.160×10 <sup>6</sup>        | 7,9×10 <sup>9</sup>       |
| <b>Perímetro (Km)</b>                             | 64                           | 21                          | 525                          | 1115                      |
| <b>Área de superfície (Km<sup>2</sup>)</b>        | 13,8                         | 6,8                         | 324,8                        | 446,0                     |
| <b>Área da bacia de drenagem (Km<sup>2</sup>)</b> | 2770                         | 227,7                       | 32330                        | 17800                     |
| <b>Autores</b>                                    | Este trabalho                | Oliveira (1993)             | Dos Santos (1996)            | Ferreira (1998)           |

Segundo BARBOSA et al. (1995), grandes reservatórios das regiões sul e sudeste do Brasil, apresentam uma área de superfície ao redor de 200 km<sup>2</sup>. Os reservatórios de tamanho médio, apresentam áreas superficiais entre 10 e 40 km<sup>2</sup> e os de pequeno porte, abaixo de 10 km<sup>2</sup>. Considerando-se que o reservatório de Salto Grande é um ambiente aquático de pequeno a médio porte, se comparado a outros reservatórios do Estado de São Paulo como Barra Bonita ou Jurumirim, a vazão, associada aos eventos de precipitação e as frentes frias, devem ter sido responsáveis pela homogeneidade térmica da coluna d'água, na maior parte do ano de estudo.

FROEHLICH et al. (1978) constataram que os eventos de vento, nesse ambiente, são muito fracos e não conseguem promover a circulação total da coluna d'água. Mesmo com essas constatações, os autores concluíram que esse ambiente pode ser considerado como polimítico, devido à ocorrência de circulação total em intervalos irregulares de tempo ao longo do ano.

A tentativa de classificar o reservatório de Salto Grande em termos dos padrões de circulação da coluna d'água ao longo do ano, é um procedimento complicado de ser realizado.

LEITE (1998) estudou a variação espacial da taxa de sedimentação nesse reservatório. O autor salientou a variabilidade espacial e temporal desse sistema em curtos períodos de tempo. As medidas efetuadas em intervalo de 24 horas

demonstraram modificações rápidas do sistema as quais, segundo o autor, foram resultados da ação do vento na ressuspensão de material na coluna d'água (pelo fato de ser um sistema raso), no deslocamento de "patches" da comunidade fitoplanctônica (florações constantes) e mesmo dos bancos de macrófitas.

As averiguações obtidas por LEITE (op. cit.) poderiam indicar um caráter fortemente polimítico do ambiente. Entretanto as concentrações de oxigênio dissolvido na coluna d'água, observadas em diversos trabalhos, não confirmam estas características para o reservatório de Salto Grande.

FROEHLICH et al. (1978) mencionaram a ocorrência de estratificação de oxigênio dissolvido com decréscimo acentuado, além de variações em curtos intervalos de tempo nas concentrações de oxigênio nas camadas inferiores. DEBERDT (1997), estudando esse ambiente, em dois períodos distintos (períodos seco e chuvoso), encontrou estratificação de oxigênio dissolvido em ambos os períodos, com o aparecimento de hipolimnio anóxico. A autora encontrou, assim como ocorreu no presente trabalho, anoxia no sedimento, mesmo em situação de isoterminia.

Segundo LEITE (1998), foram observadas estratificações acentuadas de oxigênio no reservatório de Salto Grande com camadas anóxicas principalmente nas estações de coleta de maior profundidade. O autor caracterizou a oxiclina por valores elevados na superfície ou subsuperfície (entre 8,0 e 17,0 mg/l), com um decaimento acentuado entre um e três metros de profundidade, dentro do limite da zona eufótica.

O presente trabalho foi realizado em apenas uma estação de coleta, em uma das regiões mais profundas do reservatório. Foram observadas estratificações de oxigênio dissolvido na coluna d'água e anoxia no hipolimnio na maior parte dos meses de estudo. Assim, pelos resultados obtidos neste trabalho e por outros, anteriormente citados, o reservatório de Salto Grande teria, possivelmente, uma tendência mais acentuada à meromixia do que à polimixia.

Um outro fator que deve contribuir para que não ocorra a completa circulação da coluna d'água nesse ambiente, é a altura da tomada de água na barragem. De acordo com TUNDISI (1988), reservatórios com saída de água na superfície dissipam calor e funcionam como um "armadilha química", e reservatórios com saída mais profunda são dissipadores de nutrientes e conservam calor. A altura da

barragem do reservatório de Salto Grande, não sendo tão profunda, pode funcionar como uma armadilha química. Além disso, a água que entra no reservatório, proveniente do rio Atibaia, apresenta elevada concentração de matéria orgânica dissolvida. Essa água, ao afundar, deixa o sedimento com elevada demanda bioquímica de oxigênio.

No entanto, classificar esse ambiente como meromítico, é um procedimento precipitado. Segundo LEITE (1998), o reservatório de Salto Grande apresenta massas d'água que circulam completamente o ambiente, em intervalos de tempo irregulares. Assim, o reservatório parece não apresentar um padrão definido de circulação da coluna d'água.

Mesmo com as estratificações químicas da coluna d'água, observadas pelos perfis de oxigênio dissolvido, os perfis de pH e condutividade encontraram-se homogêneos na maior parte do ano de estudo. Apenas no mês de novembro de 1995, o perfil de pH evidenciou a estratificação da coluna d'água, com o valor máximo obtido ao longo do ano de estudo, de 9,5 na superfície da coluna d'água. Esse pico nos valores de pH relacionou-se, provavelmente, aos altíssimos valores de produção primária fitoplanctônica registrados nesse mês.

LEITE (op. cit.), encontrou valores de condutividade compreendidos entre 60,0 e 350,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O autor utilizou as medidas de condutividade como detectoras de fontes poluidoras e considerou o reservatório de Salto Grande como impróprio para abastecimento público.

As maiores vazões do reservatório de Salto Grande ocorreram nos meses de dezembro de 1995 a abril de 1996. Os mais baixos valores de tempo médio de residência foram obtidos nos meses de janeiro a março de 1996. Os valores, ao longo do ano de estudo, oscilaram entre 15 e 87 dias. FERREIRA (1998), estudando o reservatório de Jurumirim, encontrou valores altíssimos de tempo de residência, oscilando entre 240 a 570 dias.

ROMANINI (1989) estudou o reservatório de Salto Grande de julho de 1982 a fevereiro de 1984. O autor constatou que o tempo de retenção tem enorme influência sobre o processo de autodepuração nesse corpo d'água. LEITE (1998), estudando o mesmo ambiente, encontrou uma variação espacial longitudinal no

ambiente, ocorrendo um maior aporte e decomposição de nitrogênio e fósforo no primeiro compartimento.

No presente estudo pode-se averiguar a variação espacial vertical de algumas características físicas e químicas ao longo do tempo, assim como da comunidade fitoplanctônica. Na maior parte dos meses, a porcentagem de contribuição média das diferentes classes taxonômicas, nas zonas eufótica e afótica, variou intensamente.

Pelos resultados de contagem de organismos nas amostras, as cianofíceas foram dominantes no reservatório de Salto Grande ao longo de todo o ano de estudo. Apenas nos meses de agosto e outubro de 1995 as criptofíceas apresentaram porcentagem de contribuição um pouco mais elevada do que esse grupo.

*Microcystis aeruginosa* apresentou uma abundância relativa importante ao longo do ano. Nos meses de fevereiro a maio e julho de 1996, esse organismo oscilou entre abundante e dominante no ambiente em estudo. Em outros meses apresentou também uma presença marcante, com abundâncias relativas de até 19%.

No mês de dezembro de 1995, três cianofíceas – *Aphanocapsa* sp, *Cylindropermopsis* sp e *Aphanizomenon* sp – foram responsáveis por 81% da abundância relativa. No mês de janeiro de 1996, outros três organismos, do mesmo grupo: *Pseudoanabaena* spp, *Microcystis aeruginosa* e *Microcystis lameliformis* – foram responsáveis por 74% da abundância relativa.

Os dados de biovolume médio dos organismos fitoplanctônicos mais abundantes nas amostras, ao longo do ano de coletas, evidenciaram uma dominância das cianofíceas em onze dos doze meses estudados. Em oito meses, agosto de 1995 e de janeiro a julho de 1996, *Microcystis aeruginosa* apresentou um volume muitas vezes maior do que os demais organismos presentes nas amostras.

O domínio do grupo das cianofíceas – organismos característicos de ambientes eutrofizados - no reservatório de Salto Grande é devido às elevadas concentrações de nutrientes encontradas nesse ambiente, relacionadas aos elevados aportes que entram pelo rio Atibaia e pelo escoamento superficial nas margens do reservatório, onde são encontradas várias monoculturas, principalmente cana-de-açúcar, pastagens, casas de veraneio e clubes. O entorno do reservatório é, assim, desprovido de proteção e os grandes volumes de água escoados por ocasião das chuvas, atingem diretamente as águas desse ambiente.

DOS SANTOS & CALIJURI (1998), estudando o reservatório de Barra Bonita, relacionaram os florescimentos de *Microcystis* no verão com as concentrações de fosfato. A estabilidade da coluna d'água neste período, associada com o hipolimnion anóxico, permitiu o estabelecimento de *Microcystis aeruginosa* como espécie dominante nesse ambiente.

Segundo REYNOLDS (1984), organismos dos gêneros *Microcystis* e *Anabaena* toleram altos valores de pH e baixas concentrações de CO<sub>2</sub> no ambiente, podendo continuar a crescer mesmo depois do pH ultrapassar a 9,5. Talvez seja essa a razão para os altos valores de abundância relativa de *Anabaena circinalis* e *Microcystis lameliformis* no mês de novembro de 1995.

De acordo com REYNOLDS (1987), o CO<sub>2</sub> livre dissolvido na água torna-se reduzido quando altos níveis de demanda fotossintética excedem a taxa de absorção do gás na superfície da coluna d'água, com um conseqüente aumento do pH. Algumas cianobactérias são conhecidas pela sua habilidade em utilizar o bicarbonato como fonte de carbono e tolerar valores de pH entre 9 e 10.

Diversos gêneros das cianobactérias produzem toxinas. Segundo PAERL (1988), a produção de toxinas por *Microcystis* e *Anabaena* tem sido amplamente estudada. A toxicidade é caracterizada como uma adaptação potencial e fator competitivo nas comunidades planctônicas. É concordância geral que o grupo das cianobactérias, devido à diversidade de suas atividades fisiológicas e ecológicas únicas, é caracterizado como o grupo fitoplanctônico mais oportunista. A observação de suas estratégias de sobrevivência, sugere alguns critérios ecológicos chave necessários ao seu desenvolvimento: estabilidade da coluna d'água, radiação adequada, consistência das temperaturas da coluna d'água.

De acordo com REYNOLDS (1988), as adaptações fisiológicas e metabólicas de *Microcystis* e *Anabaena* caracterizam-nas como S-estrategistas, desenvolvendo-se melhor em temperaturas mais elevadas e condições mais estáveis.

REYNOLDS (1984) sugere que o desenvolvimento de colônias de *Microcystis aeruginosa* ocorre após o ambiente aquático ter ficado termicamente e quimicamente estratificado. As colônias vegetativas dessa espécie aparecem no epilimnion, após terem crescido e se desenvolvido no hipolimnion. De acordo com o autor, além de *Microcystis*, alguns outros gêneros apresentam bom desenvolvimento

com o aumento da estabilidade do sistema: *Monoraphidium*, *Sphaerocystis*, *Cryptomonas*, *Rhodomonas*, *Anabaena* e *Aphanizomenon*. De diferentes maneiras, suas adaptações morfológicas e funcionais atrasam o afundamento, permanecendo mais tempo na região mais iluminada da coluna d'água.

Segundo MARGALEF (1983), toda a mudança na relação N/P acaba ocasionando um retrocesso no desenvolvimento das cianofíceas. As cianofíceas se multiplicam, principalmente, em situações de mudança na coluna d'água com tendência a estabilidade.

As clorofíceas apresentaram o maior número de táxons no reservatório de Salto Grande durante este trabalho. *Monoraphidium* spp e *Schroederia* spp estiveram presentes, com altos valores de abundância relativa em alguns meses do ano de coletas.

De acordo com HAPPEY-WOOD (1988), os ambientes aquáticos tropicais estão sujeitos a uma menor variabilidade sazonal do que os lagos temperados. As clorofíceas apresentam uma distribuição mais uniforme ao longo do ano nas regiões tropicais. No reservatório de Salto Grande, a porcentagem de contribuição média das clorofíceas, na coluna d'água, teve um valor máximo de 20% no mês de outubro de 1995 e nunca esteve abaixo dos 3% ao longo dos doze meses de coleta.

DEBERDT (1997) caracterizou a comunidade fitoplanctônica do reservatório de Salto Grande através de estudos em curtos períodos de tempo, nos meses de agosto de 1995 e janeiro de 1996. Dos organismos identificados, aos níveis genérico e infra-genérico, quarenta e um organismos foram encontrados também neste trabalho. Segundo a autora, houve uma predominância das cianofíceas no período de verão, sendo a *Pseudoanabaena mucicola* e a *Microcystis* spp os organismos mais frequentes. No inverno, a autora encontrou uma predominância do gênero *Cryptomonas*.

As criptofíceas, apesar do reduzido número de táxons, tiveram presença marcante neste reservatório. A contagem numérica dos organismos, no presente trabalho, evidenciou a dominância deste grupo nos meses de agosto e outubro de 1995. Os maiores valores de abundância relativa de *Cryptomonas lobata*, *Cryptomonas brasiliensis* e *Rhodomonas lacustris* foram encontrados nos meses de agosto e outubro de 1995 e março, abril, junho e julho de 1996.

Segundo KLAIVENESS (1988), as criptofíceas são conhecidas pelo aumento de sua população quando populações de outros organismos diminuem. Para isso, basta que um nicho temporário seja formado. Esse comportamento caracteriza esse grupo como oportunista. Apesar dessa característica, as criptofíceas são muito susceptíveis à herbivoria, não toleram mudanças bruscas de pH e demonstram preferência pelo hipolímnio para se desenvolverem, mesmo em condições de baixa intensidade luminosa, desta maneira escapam das camadas superficiais onde florescimentos de cianofíceas podem alterar rapidamente o pH.

De acordo com REYNOLDS (1988), as *Cryptomonas* são organismos C-estrategistas (organismos competidores), mostrando maior tolerância as flutuações de temperatura, profundidade de mistura e turbidez.

DOS SANTOS (1996), estudando o reservatório de Barra Bonita, encontrou valores elevados de abundância de *Cryptomonas tetrapyrenoidosa*, oscilando entre 10 e 35 %. JATI (1998), durante estudo extensivo no mesmo ambiente, encontrou dominância de Cryptophyceae nos valores de biomassa.

Em termos de biovolume total, as criptofíceas não foram dominantes nos meses de agosto e outubro de 1995 tendo, no entanto, uma contribuição importante.

Os resultados de biovolume médio dos organismos, revelaram que no mês de setembro de 1995, a dominância, em termos de biomassa, foi de *Aulacoseira granulata*. Esse organismo, assim como as demais bacilariofíceas, devido a sua elevada taxa de sedimentação, necessitam de períodos de mistura para atingirem as camadas superiores da coluna d'água e aí desenvolverem-se.

De acordo com SOMMER (1988), apesar de as diatomáceas serem dependentes de sílica para o seu desenvolvimento, são bons competidores de outros nutrientes, especialmente o fósforo. Quando ocorre a limitação por fósforo, apenas a limitação de sílica pode impedir o desenvolvimento desses organismos em competição com cianobactérias ou clorofíceas. Por não serem móveis, as diatomáceas têm uma elevada dependência pela turbulência para suspendê-las. Os períodos de mistura prolongam a dominância do grupo induzindo, também, a formação de novas células. O autor classificou-as como essencialmente R-estrategistas. REYNOLDS (1988), cita o gênero *Aulacoseira* como R-estrategista que se desenvolve em colunas d'água opticamente profundas.

Segundo JATI (1998), Bacillariophyceae foi a classe com maior contribuição em biomassa, no reservatório de Barra Bonita, durante os três períodos de seu estudo. De acordo com FERREIRA (1998), a classe Bacillariophyceae apresentou-se como a segunda maior contribuição na densidade total do período seco do estudo. *Aulacoseira granulata* var. *granulata* foi a segunda espécie colocada entre as maiores contribuições na densidade total desse período.

Os valores de biovolume elucidaram os resultados do trabalho. Os resultados das contagens usuais de células fitoplanctônicas mostraram uma sensível diferença em relação aos valores de biovolume ao indicarem os organismos mais importantes na produção de biomassa fitoplanctônica ao longo dos meses de estudo.

Os índices de diversidade, equidade, riqueza e dominância apresentaram uma grande variabilidade ao longo do ano. Os mais elevados valores dos índices de diversidade e equidade, 3,75 e 0,73, respectivamente, foram obtidos no mês de outubro de 1995. Consequentemente, o mais baixo valor de dominância, 0,10, foi obtido nesse mês. O mais valor de índice de dominância, 0,68, foi obtido no mês de maio de 1996. Nesse mês, *Microcystis aeruginosa* apresentou uma abundância relativa de 82%.

OLIVEIRA (1993), trabalhando no reservatório de Barra Bonita, determinou valores de índice de diversidade entre 1,91 e 2,77. Segundo FERREIRA (1998), os valores do índice de diversidade, na represa de Jurumirim, variaram entre 1,94 e 3,39.

Os dois métodos utilizados na quantificação da produtividade primária no reservatório de Salto Grande, as medidas por liberação de oxigênio dissolvido e pela assimilação de  $^{14}\text{CO}_2$ , envolvem processos metabólicos distintos da atividade fotossintética dos organismos fitoplanctônicos.

Segundo GARGAS (1975), as comparações entre os resultados obtidos por esses dois métodos podem gerar resultados semelhantes ou, em certas circunstâncias, grandes discrepâncias. A razão para isto é a utilização de diferentes reações químicas que são medidas pelos dois métodos.

O método do oxigênio está relacionado a etapa fotoquímica da fotossíntese, que consiste na quebra da molécula de água onde, além de hidrogênio, ocorre a liberação de oxigênio molecular. Entretanto, para a determinação da quantidade de

oxigênio que é produzida, torna-se necessário determinar o oxigênio que é consumido pela respiração. O método do  $^{14}\text{C}$  mede a tomada de  $\text{CO}_2$  que ocorre durante as reações enzimáticas no processo fotossintético.

Na maior parte das coletas, os perfis de produção foram semelhantes, nos dois métodos, em termos de configuração. Os resultados, obtidos pelos métodos do oxigênio e de  $^{14}\text{C}$ , variaram sensivelmente em termos quantitativos.

ANDERSON & SAND-JENSEN (1980), estudando as discrepâncias existentes nas medidas de produção primária fitoplanctônica, entre os métodos do oxigênio dissolvido e do  $^{14}\text{C}$ , constataram que a taxa bruta da produção de oxigênio pode ser superestimada nos experimentos de incubação, tendo em vista que o consumo de oxigênio em condições de luz, é mais baixo que no escuro. Segundo os autores, o método do  $^{14}\text{C}$  pode subestimar a fotossíntese bruta, se ocorrer a reassimilação do  $\text{CO}_2$  respirado.

Os valores da respiração da comunidade fitoplanctônica, medidos pelo método do oxigênio dissolvido, foram, em geral, baixos ao longo de todo o ano de estudo. Apenas nos meses de agosto, novembro e dezembro de 1995 e janeiro e maio de 1996, os valores apresentaram um pequeno aumento nas regiões superficiais da coluna d'água. Talvez, nesses meses, a fotossíntese bruta, medida pelo método do  $^{14}\text{C}$ , possa ter sido subestimada.

De acordo com NIXDORF & BEHRENDT (1991), vários fatores influenciam as taxas de produção medidas por ambos os métodos (oxigênio dissolvido e  $^{14}\text{C}$ ): o período de incubação, a fotoinibição na superfície e as porcentagens de contribuição dos diferentes grupos fitoplanctônicos na biomassa total. Cada um desses fatores pode afetar, em maior ou menor intensidade, os resultados das medições.

A produção primária pelágica, em lagos, é controlada principalmente por luz, temperatura da água e disponibilidade de nutrientes (HARDING, 1997).

Um dos fatores que mais influenciam a produtividade primária fitoplanctônica é a disponibilidade de luz no ambiente aquático. De acordo com GARGAS (1975), a fotossíntese é uma função da intensidade de luz, que pode atuar de diferentes maneiras na atividade fotossintética:

- em um momento inicial, o aumento da intensidade luminosa provoca uma mudança positiva nas taxas de fotossíntese;
- em um momento intermediário, mudanças na intensidade de luz não afetam as taxas de fotossíntese, já que parte do processo é realizado no escuro;
- em um momento terminal, o aumento da intensidade luminosa gera uma mudança negativa nas taxas de fotossíntese, podendo ocorrer a foto-oxidação, destruição química da molécula de clorofila.

Ao penetrar na coluna d'água, a radiação solar é submetida a profundas alterações, tanto qualitativas quanto quantitativas. As alterações dependem, fundamentalmente, das concentrações do material dissolvido e material em suspensão na água. O conteúdo de substâncias húmicas, material em suspensão e proliferações algais podem reduzir, consideravelmente, a penetração de luz nos sistemas aquáticos.

Os perfis de material em suspensão indicaram o aumento das concentrações deste material no período chuvoso. No mês de janeiro de 1996, o pico de material em suspensão na superfície e na região superior da coluna d'água relacionou-se com a fração orgânica, provocada principalmente pelo florescimento de *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis lameliformis* e *Pseudoanabaena* spp. No restante da coluna, os valores altos foram da fração inorgânica, relacionados provavelmente aos materiais carreados pelo rio Atibaia e ao escoamento superficial nas margens do reservatório, marcantes nesta época de grandes precipitações. Na maior parte dos meses a predominância foi de material em suspensão orgânico ocorrendo, no entanto, meses cuja predominância foi de material inorgânico.

O aumento do material em suspensão no reservatório de Salto Grande, no período chuvoso, influenciou diretamente na disponibilidade de luz subaquática. Nos meses de janeiro e março de 1996, quando os valores mensais de precipitação foram muito altos, as profundidades da zona eufótica foram as mais baixas em todo o período de estudo. Segundo DEBERDT (1997), estudando esse mesmo ambiente, a radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) foi considerada como fator limitante preponderante à produtividade primária fitoplanctônica. A ocorrência de chuvas e as

elevadas concentrações de material em suspensão (inorgânico e orgânico) foram, segundo a autora, as principais responsáveis pela atenuação da radiação.

CALIJURI (1988) E CALIJURI & DOS SANTOS (1996), estudando o reservatório de Barra Bonita, constataram uma relação direta entre os altos valores de material em suspensão no verão e a baixa disponibilidade de luz. Segundo esses autores, as mudanças na qualidade ótica da água foram fatores limitantes à produção primária do fitoplâncton. JATI (1998), estudando o mesmo ambiente, também relacionou as altas concentrações de material em suspensão particulado à diminuição da zona eufótica no verão.

Durante a coleta do mês de março de 1996, foram observados o mais alto valor de radiação solar na superfície da coluna d'água e também a mais elevada taxa de produção primária, ao longo de todo o ano de estudo, com valor de 246,41 mgC/m<sup>3</sup>.h a 0,0 m de profundidade. Concomitante foram observadas a menor transparência da água, com valor do disco de Secchi ao redor de 0,20 m e a menor profundidade da zona eufótica, 1,25 m. Assim, a elevada atenuação da radiação solar subaquática deve ter sido a responsável pela rápida diminuição dos valores de produção primária na coluna d'água.

O mês de janeiro de 1996, apesar de apresentar valores de radiação solar tão altos, apresentou semelhança com o mês de março em relação aos baixos valores de transparência da água e profundidade da zona eufótica. Assim, os perfis de produção primária, em ambos os métodos utilizados, foram semelhantes nesses meses, evidenciando o rápido abaixamento das taxas de produção nas camadas sub-superficiais da coluna d'água.

Os mais baixos valores de transparência da coluna d'água e profundidade de zona eufótica foram obtidos no período de maior precipitação, de novembro de 1995 a março de 1996. Os mais altos valores de material em suspensão, com exceção de dezembro, também foram obtidos nesse período.

Em seis dos doze meses estudados neste trabalho, ambos os métodos indicaram a ocorrência de fotoinibição da produtividade primária do fitoplâncton na superfície da coluna d'água, nas coletas dos meses de agosto a outubro e dezembro de 1995, e dos meses de maio e junho de 1996. O método do oxigênio dissolvido

evidenciou fotoinibição, também, nas amostras do mês de novembro de 1995 e o método do  $^{14}\text{C}$ , nos meses de abril e julho de 1996.

Se os resultados dos métodos de medição das taxas de produção forem considerados conjuntamente, a inibição pela luz na superfície foi constatada em nove dos doze meses estudados. Assim, os maiores valores de produção primária, ao longo de quase todo o ano, foram encontrados a aproximadamente 0,5 metros de profundidade. Apenas nos meses de janeiro a março de 1996, os picos de produção ocorreram na superfície (0,0 metros).

Nas coletas dos meses de janeiro e fevereiro de 1996, os valores de radiação solar na superfície da coluna d'água e horas de insolação foram baixos, justificando a não ocorrência de fotoinibição na superfície. Na coleta do mês de março de 1996, porém, apesar dos valores de horas de insolação ao longo do dia terem sido baixos, os de radiação solar na superfície foram os mais elevados de todo o ano de estudo. Mesmo assim, não foi registrada a fotoinibição.

Segundo CALIJURI et al. (1999), a fotoinibição é uma função da radiação incidente, associada à taxa de extinção vertical. Como o processo é induzido pela luz, três aspectos da irradiância que atinge a superfície são importantes: intensidade, qualidade e duração. De acordo com os autores, em ambientes eutróficos como o reservatório de Salto Grande, a fotoinibição pode ficar restrita aos primeiros centímetros da coluna d'água.

Os organismos fitoplancônicos, ao circularem livremente pela coluna d'água não estão expostos a intensidades luminosas altas e contínuas. De acordo com HARRIS (1984), as garrafas estáticas em série, usadas para medir a produtividade "in situ", não permitem que as populações naturais fiquem livres da fotoinibição.

GIANESELLA-GALVÃO (1985), estudando o reservatório de Salto Grande, não observou a ocorrência de fotoinibição. DEBERDT (1997), estudando esse mesmo ambiente, relatou a ocorrência de fotoinibição no período de inverno e sua ausência no período de verão.

A temperatura, como foi comentado na introdução deste trabalho, influencia o processo enzimático da fotossíntese. A variação dos valores de temperatura da água ao longo dos doze meses de estudo, não foi grande. A diferença entre as temperaturas mínima e máxima registradas foi superior a  $8^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura da água não foi um fator de grande influência na variação das taxas de produção primária fitoplanctônica em Salto Grande. JATI (1998), ao estudar o reservatório de Barra Bonita, encontrou uma diferença entre inverno e verão superior a 6°C. De acordo com a autora, apesar de ser grande a diferença entre as duas épocas de estudo, não foi observada inibição do crescimento do fitoplâncton durante o estudo intensivo de inverno, nem aumento de biomassa durante o verão, quando as temperaturas estiveram próximas do considerado ótimo para o desenvolvimento dessa comunidade.

As elevadas concentrações das formas fosfatadas e nitrogenadas, bem como do silicato reativo, observadas ao longo do ano de coletas, provavelmente não foram limitantes à produção primária fitoplanctônica. Apesar de as concentrações de nutrientes terem sido mais elevadas na época de maior precipitação, não se pôde estabelecer um padrão de distribuição ao longo do ano para este ambiente.

Segundo CALIJURI et al. (1999) no reservatório de Salto Grande, a estratificação da coluna d'água impede a distribuição vertical dos nutrientes. Apesar de não ter ocorrido estratificação térmica ao longo do ano de estudo (com exceção para o mês de novembro de 1995), ocorreram estratificações de oxigênio dissolvido. Segundo os autores, durante os períodos de maior estagnação da água, a anoxia no hipolímnio e o elevado conteúdo de matéria orgânica no sedimento fazem com que sejam liberadas altas concentrações de fosfato para a coluna d'água.

Dessa forma, além das entradas externas de nutrientes, o sedimento, por estocar grandes quantidades de matéria orgânica, funciona como uma fonte interna de fósforo para o reservatório de Salto Grande, contribuindo com pulsos deste nutriente para a coluna d'água.

A limitação do crescimento do fitoplâncton por fósforo pode ocorrer quando a concentração de fósforo total é inferior a 50 µg/l. A limitação de nitrogênio pode ocorrer se a razão N/P estiver entre 5 e 6, favorecendo assim as cianobactérias fixadoras de N<sub>2</sub>. Para algumas espécies fitoplanctônicas, o fósforo pode ser limitante se a razão N/P exceder a 10 (CALIJURI et al., 1999).

Apesar do reservatório de Salto Grande ter apresentado quantidades elevadas de nutrientes dissolvidos ao longo de todo o ano de estudo, em alguns casos pode ter ocorrido a limitação de nutrientes à produção primária do fitoplâncton. No mês de

dezembro de 1995, as concentrações médias de fósforo orgânico total variaram entre 36,40 µg/l na zona eufótica e 43,30 µg/l na zona afótica, podendo ter ocorrido a limitação por esse nutriente. No mês de março de 1996, as razões N/P médias para as zonas eufótica e afótica e coluna d'água, variaram entre 4,57 e 5,72. Porém, mesmo com esses resultados, dificilmente ocorreu a limitação de nitrogênio nesse ambiente altamente eutrofizado.

Segundo CALIJURI et al. (op. cit.), pouca atenção é dada à possível limitação pelo carbono ao crescimento fitoplanctônico, que pode ocorrer tendo em vista que, durante a atividade fotossintética, a assimilação de carbono pelas algas altera a alcalinidade e provoca o aumento do pH e diminuição de CO<sub>2</sub> disponível.

Na coleta do mês de novembro, foi observada a maior média de pH, na zona eufótica, ao longo de todo o ano de estudo, com o valor de 9,31 e a menor média de carbono inorgânico, nessa mesma região, com o valor de 6,51. Talvez, neste dia, a produção primária do fitoplâncton tenha sido limitada pela baixa disponibilidade de carbono no ambiente.

Segundo EPPLEY & PETERSON (1979), apud OLIVEIRA (1993), existe uma distinção entre produção nova e regenerada em ecossistema aquático. Para os autores, a produção nova resulta a partir da conversão de um "pool" de nutrientes solúveis, em biomassa e pode continuar somente se este "pool" for fornecido continuamente. A produção regenerada utiliza nutrientes provenientes de materiais excretados e da decomposição dos organismos.

No reservatório de Salto Grande, as entradas de nutrientes por escoamento superficial (em eventos de precipitação) e pelo rio Atibaia, devem gerar, provavelmente, uma fonte contínua de nutrientes dissolvidos ao longo de todo o ano. Assim, as taxas de produção deste ambiente devem estar sempre relacionadas à produção nova.

As taxas de produção primária fitoplanctônica, no reservatório de Salto Grande, variaram entre a mínima de 9,48 mgC/m<sup>2</sup>.h, no mês de abril de 1996, e a máxima de 163,45 mgC/m<sup>2</sup>.h, em novembro de 1995. Os valores das taxas de produção do reservatório foram muito elevados. Comparando-se os valores obtidos no presente trabalho, para o reservatório de Salto Grande, com outros reservatórios do Estado de São Paulo (Tabela 20), pode-se averiguar que a taxa de produção de

biomassa fitoplanctônica, nesse ambiente, é muito extremamente elevada, sendo influenciada, principalmente, pelas altas cargas de nutrientes que o reservatório recebe do Rio Atibaia.

**TABELA 19.** Produção primária de alguns reservatórios do Estado de São Paulo (modificado de TUNDISI, et al., 1993).

| <i>Reservatório</i> | <i>Produção Primária<br/>(mgC/m<sup>2</sup>.h)</i> | <i>Reservatório</i> | <i>Produção Primária<br/>(mgC/m<sup>2</sup>.h)</i> |
|---------------------|--|---------------------|--|
| <b>Barra Bonita</b> | 39,82  | Graminha            | 58,29  |
| <b>Bariri</b>       | 52,18  | Ilha Solteira       | 24,83  |
| <b>Ibitinga</b>     | 48,39  | Jupia               | 30,16  |
| <b>Promissão</b>    | 58,40  | Xavantes            | 19,37  |
| <b>Jurumirim</b>    | 10,30  | Rio Novo            | 6,08   |
| <b>Limoeiro</b>     | 22,58  | Euclides da Cunha   | 2,59   |

Segundo HENRY (1993), a produção primária, na represa de Jurumirim (SP), variou de 4,3 a 57,4 mgC/m<sup>2</sup>.h. De acordo com o autor, três séries de fatores controlaram a atividade fotossintética do fitoplâncton nesse sistema: físicos (radiação solar e temperatura), químicos (nutrientes inorgânicos dissolvidos e condutividade) e biológicos (interações entre as espécies pela competição por nutrientes). Houve uma baixa relação entre produção primária e velocidade do vento nesse trabalho. A represa apresentou baixos valores de produção primária e foi considerada como um sistema oligotrófico em quase todo o ano de estudo.

As concentrações de clorofila *a* foram mais elevadas nos meses de novembro de 1995 e de janeiro a março e maio de 1996. Esses resultados confirmam as mais altas taxas de produção primária fitoplanctônica, evidenciando uma semelhança nos mesmos meses ao longo do ano de estudo.

A maior contribuição média para a produção primária fitoplanctônica foi devido à fração menor que 20 µm, principalmente, no mês de dezembro de 1995. Os organismos que mais contribuíram nesse mês, em função do biovolume algal, foram *Aphanocapsa* sp, *Aphanizomenon* sp, *Aulacoseira granulata* e *Cylindropermopsis* sp.

Esses resultados mostram que, provavelmente, esses organismos não apresentaram uma eficiência fotossintética ótima.

DEBERDT (1997) encontrou maior contribuição da fração menor que 20  $\mu\text{m}$ , no reservatório de Salto Grande, no período de verão e *Microcystis* spp com maior quantidade de biomassa nesse período. Segundo a autora, é comum encontrar proliferações algais em estado de senescência em ambientes eutrofizados e, possivelmente, apresentando uma baixa eficiência fotossintética.

Nos meses de novembro de 1995, e janeiro e fevereiro de 1996, a contribuição média da fração menor que 20  $\mu\text{m}$  também foi elevada, no ambiente em estudo, variando entre 47 e 58% do total. A média anual da contribuição desta fração, ao longo do ano de estudo, foi de 39,7%. Os maiores valores da contribuição fracionada foram obtidos no período chuvoso e de temperaturas mais elevadas.

WANG, et al. (1997), ao estudar um ambiente oceânico sub-tropical, averiguou que as células maiores do fitoplâncton controlam as maiores flutuações em termos de biomassa e produtividade primária, enquanto o picoplâncton, tem grande importância em termos de produtividade constante. Segundo os autores, o tamanho dos organismos do fitoplâncton é largamente associado às condições tróficas. O picoplâncton é mais importante em sistemas oligotróficos e as células maiores do fitoplâncton, dominam em águas eutróficas.

O valor mais elevado de taxa de assimilação do fitoplâncton foi obtido no mês de outubro de 1995. Nesse mês, apesar dos baixos valores de clorofila *a*, os valores de produção primária total foram elevados, superiores a 100  $\text{mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ .

Os valores mais baixos de taxa de assimilação foram obtidos nos meses de janeiro, fevereiro e abril de 1996. O principal fator que influenciou nos baixos valores de taxa de assimilação nesses meses foi, provavelmente, a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa no ambiente aquático. De acordo com KIRK (1983), a flutuação sazonal no fluxo de radiação solar é a principal variável para a sazonalidade dos processos de produção.

Pela absoluta dependência da luz solar para promover o crescimento celular, a produtividade primária fitoplanctônica é fortemente acoplada às escalas de variabilidade, temporal e espacial, de disponibilidade de luz. O histórico de luz no

ambiente, associado ao histórico de nutrientes, é que determinarão as taxas instantâneas de produtividade (PRÉZELIN et al., 1991).

Os meses de janeiro, fevereiro e abril de 1996, foram marcados por altos valores de precipitação e baixos valores de radiação solar. Provavelmente, em resposta às baixas intensidades luminosas, nos meses de janeiro e fevereiro foram obtidas as maiores médias de clorofila *a*.

As médias de porcentagem de fixação de carbono, no escuro, foram mais altas no mês de abril de 1996 e mais baixas no mês de janeiro do mesmo ano.

DEBERDT (1997), encontrou, no reservatório de Salto Grande, valores de fixação de carbono no escuro variando entre 7,33 e 39,41%. Assim como no presente trabalho, os mais elevados resultados encontrados pela autora, relacionaram-se a fração menor que 20  $\mu\text{m}$ . OLIVEIRA (1993), trabalhando no reservatório de Barra Bonita, determinou a porcentagem de fixação de carbono no escuro e encontrou valores elevados (176,35%). Segundo essa autora, os altos valores poderiam estar relacionados à contribuição do bacterioplâncton no processo de produção primária.

Os principal fator controlador da produção primária fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande foi a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa no ambiente aquático. Na maior parte dos meses de estudo a radiação foi atenuada rapidamente na coluna d'água, tendo sido influenciada principalmente pelas concentrações de material em suspensão orgânico e inorgânico e passagem de bancos de macrófitas flutuantes. A fotoinibição foi outro fator que influenciou as taxas de produção. Essas podem ter sido subestimadas, principalmente na superfície, devido ao confinamento da comunidade nos frascos de incubação.

## EUTROFIZAÇÃO

Devido aos elevados níveis de produção primária fitoplanctônica, observados pelos métodos do  $^{14}\text{C}$  e do  $\text{O}^2$ , e pelas espécies de algas mais abundantes que servem como bioindicadores de ambientes submetidos a acelerado processo de eutrofização,

resolveu-se, ao final deste trabalho, proporcionar informação básica sobre o grau de trofia do sistema em estudo.

De acordo com HENRY et al. (1983), a prevenção da eutrofização de lagos e represas é uma necessidade urgente. A prevenção permite estabelecer limites quantitativos que poderão determinar inúmeras modificações no funcionamento desses ambientes. É de fundamental importância prever os níveis e determinar as causas principais desse processo no ambiente em estudo.

Como consequência da eutrofização podemos citar a hiperprodução de algas e macrófitas em corpos aquáticos. Esta produção, em níveis aumentados, ocasiona problemas nos diversos usos a que a água é destinada: alterações de suas propriedades organolépticas (odor e sabor), corrosão dos equipamentos das usinas hidrelétricas, comprometimento dos processos de potabilização por diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido, acumulação de amônia na coluna d'água e ressuspensão de certos metais como ferro e manganês do sedimento, em condições de anoxia (SALAS & MARTINO, 1990).

As principais causas do processo de eutrofização cultural são o crescimento demográfico, urbano e o desenvolvimento agroindustrial. A bacia hidrográfica do rio Atibaia abrange uma região de grande desenvolvimento econômico e de alta densidade populacional.

Segundo CARLSON (1977), o índice de estado trófico foi desenvolvido para facilitar o entendimento do público em relação ao estado ou a natureza em que se encontra um corpo d'água e demonstrar as condições futuras, após implementado o manejo no sistema.

De acordo com TOLEDO Jr et al. (1983), os modelos simplificados para a avaliação do estado trófico são uma linha de abordagem do problema da eutrofização. Esses modelos visam possibilitar uma primeira estimativa dos efeitos das cargas de nutrientes sobre o estado trófico dos lagos e reservatórios. Segundo os autores, sua aplicação tem incluído a orientação racional de estudos e programas voltados para a adoção de medidas, visando a minimização das consequências da eutrofização.

O estado trófico do reservatório de Salto Grande, ao longo do ano de estudo, foi determinado pelo método de CARLSON (1977), modificado por KRATZER &

BREZONIK (1981) e por TOLEDO Jr. et al. (1983). O primeiro método, desenvolvido para regiões temperadas, classificou esse ambiente entre eutrófico e hipereutrófico. Nos meses de novembro de 1995, de janeiro a março e maio de 1996, em todas as classificações, o ambiente foi considerado como hipereutrófico.

Segundo HUSZAR et al. (1998), muitos desses índices de estado trófico, desenvolvidos para regiões temperadas, não podem ser utilizados em sistemas tropicais pois não existe uma relação clara entre profundidades do desaparecimento do disco de Secchi, concentrações de clorofila ou de fósforo e os índices de estado trófico.

O segundo método utilizado, adaptado para as condições brasileiras, classificou esse reservatório em um estágio entre mesotrófico a eutrófico. Pela classificação do fósforo inorgânico, o ambiente foi considerado, algumas vezes, como oligotrófico. Em dois meses do trabalho, janeiro e março de 1996, o ambiente estudado foi considerado com os níveis tróficos mais elevados de cada tipo de classificação (eutrófico/hipereutrófico).

GIANESELLA-GALVÃO (1985), ao estudar o reservatório de Salto Grande, no ano de 1979, relatou que esse ambiente estava sofrendo um processo de eutrofização cultural e que estava sendo submetido a um contínuo influxo de resíduos municipais e agrícolas, provenientes da bacia de drenagem. Segundo a autora, durante o verão, os efluentes eram diluídos, tornando-se mais concentrados durante o inverno. TUNDISI (1988) citou o reservatório de Salto Grande como um exemplo de ambiente em acelerado processo de eutrofização.

DEBERDT (1997) estudando esse mesmo ambiente em curtos períodos de tempo, utilizou o índice de CARLSON (1977) modificado por KRATZER & BREZONIK (1981). Os resultados da classificação variaram de eutrófico a hipereutrófico.

As florações de algas, constantes, e a grande biomassa de macrófitas aquáticas flutuantes, são alguns indicadores do estresse a que o reservatório de Salto Grande vem sendo submetido ao longo dos anos (Figuras 33 e 34).

Levando-se em consideração o reduzido tamanho do reservatório de Salto Grande e as elevadas cargas poluentes que recebe ao longo do ano, tanto por entradas pontuais como não pontuais, constatadas pelos altos valores de condutividade, de

concentrações de material em suspensão e nutrientes, associados às concentrações de clorofila  $a$ , elevados valores de produção primária fitoplanctônica e presença constante de bancos de macrófitas aquáticas flutuantes, esse sistema pode ser considerado um ambiente aquático hipereutrófico e estressado.



**Figura 32.** Floração algal na superfície da coluna d'água, próxima às margens do reservatório de Salto Grande (outubro de 1997).



**Figura 33.** Banco de macrófitas na superfície da coluna d'água em local próximo ao ponto onde foram realizados os experimentos de produção primária no reservatório de Salto Grande (outubro de 1997).

## 6. CONCLUSÕES

- 1) A quase ausência de ventos, a precipitação e conseqüentemente a vazão tiveram grande influência nas variáveis físicas, químicas e biológicas, do reservatório de Salto Grande. Essa influência foi observada pelo comportamento complexo do ambiente, ao longo do ano de estudo, não apresentando um padrão definido de circulação da coluna d'água.
  
- 2) Houve uma associação inversa entre os valores de densidade e biovolume, ao longo do ano de estudo. Em alguns meses, os organismos mais abundantes indicados pelos valores de densidade não foram os que mais contribuíram em termos de biomassa na produção primária fitoplanctônica. A classe Cyanophyceae foi a mais importante e *Microcystis aeruginosa* o organismo que apresentou os mais altos valores de densidade e maior biomassa (biovolume). A classe Cryptophyceae (*Cryptomonas lobata*, *Cryptomonas brasiliensis* e *Rhodomonas lacustris*) foi a classe taxonômica a apresentar maior abundância relativa nos meses de agosto e outubro de 1995. Nestes meses, esta classe foi considerada como a segunda maior contribuição em termos de biomassa fitoplanctônica. Vale ainda ressaltar que, em vários outros meses do estudo, a classe Cryptophyceae apresentou, também, uma contribuição importante. A classe Bacillariophyceae

(*Aulacoseira granulata*), apesar de não apresentar os mais altos valores de abundância relativa em nenhum dos meses estudados, apresentou-se como a maior contribuinte de biomassa em setembro de 1995 e a segunda mais elevada em novembro do mesmo ano. A classe Chlorophyceae apresentou uma contribuição importante nos valores de densidade durante o ano, porém, pequena contribuição na biomassa total do fitoplâncton.

- 3) A radiação fotossinteticamente ativa foi o principal fator limitante à produção primária, tendo sido influenciada, principalmente, pelas concentrações de material em suspensão, incluindo os florescimentos algais e a movimentação de bancos de macrófitas na superfície da coluna d'água.
- 4) A fotoinibição ocorreu na maior parte dos meses estudados, atuando principalmente na superfície da coluna d'água. Os altos valores de radiação solar incidente no ambiente, os longos períodos de incubação e o confinamento dos organismos fitoplanctônicos em garrafas estáticas na superfície, parecem ter sido os fatores de maior influência no processo.
- 5) As concentrações de nutrientes foram elevadas ao longo de todo o ano e, por isso, não foram limitantes à produção primária fitoplanctônica.
- 6) As taxas de produtividade primária fitoplanctônica foram elevadas. Em vários meses a produção primária total, obtida pelo método do  $^{14}\text{C}$ , ficou acima de  $100 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$ . A maior produção ocorreu no mês de novembro de 1995, com o valor de  $163,45 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$  e a menor no mês de abril de 1996,  $9,48 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$ . Pelo método do oxigênio dissolvido, o mais alto valor de produção primária bruta,  $2597,89 \text{ mgO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  (0,0 m), e de produção primária líquida,  $2490,46 \text{ mgO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  (0,0 m),

ocorreram no mês de janeiro de 1996. O mais alto valor de respiração da comunidade,  $257,17 \text{ mgO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  (0,0 m), foi obtido no mês de novembro de 1995.

- 7) Os principais fatores controladores da produção primária fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande foram: os fatores físicos (radiação solar subaquática), químicos (anoxia no sedimento) e biológicos (extrínsecos → interações entre as espécies e intrínsecos → estratégias de desenvolvimento dos organismos).
- 8) As medições da produção primária fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande, tanto pelo método do oxigênio dissolvido como pelo método do carbono 14, foram amplamente satisfatórias devido, principalmente, à semelhança dos resultados obtidos. As taxas de produção, relativas aos dois métodos, variaram sensivelmente. Pode-se concluir que em reservatórios altamente eutrofizados como o ambiente estudado, com elevada biomassa fitoplanctônica, a utilização do método do oxigênio dissolvido é eficaz no cumprimento dos objetivos da pesquisa. A utilização dessa metodologia, de baixo custo, pode propiciar um número maior de estudos em ambientes eutróficos, aumentando as informações existentes sobre produção primária fitoplanctônica nos ecossistemas aquáticos.
- 9) Os valores de taxas de assimilação indicaram que, em alguns dos meses de estudo, os organismos fitoplanctônicos que apresentaram maior contribuição para a biomassa, podem não ter sido os principais responsáveis pelas taxas de produtividade fotossintética.

## 7.PERSPECTIVAS FUTURAS

Com base neste estudo, realizado em uma estação de coleta na região central do reservatório de Salto Grande, algumas linhas de pesquisa poderiam ser desenvolvidas a fim de contribuir para o aprofundamento da compreensão desse sistema:

- ✓ Estudar a produtividade primária fitoplanctônica em outros pontos do reservatório, principalmente no primeiro compartimento físico desse ambiente, onde ocorre a entrada do rio Atibaia com altas concentrações de material em suspensão, constatados em alguns trabalhos realizados nesse sistema.
  
- ✓ Realizar trabalhos quinzenais ou mensais, de dias consecutivos, em duas épocas distintas (período seco e chuvoso) com os objetivos de estudar o processo de sucessão da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande, um ambiente tropical hipereutrófico, e identificar os padrões de circulação da coluna d'água nesse ambiente, juntamente com as principais funções de força que atuam no metabolismo do sistema.

## 8. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1985). **Standard methods**: for the examination of water and wastewater. 16 ed. APHA, Washington, AWWA. 1268p.

ANDERSEN, J.M.; SAND-JENSEN, K. (1980). Discrepancies between the O<sub>2</sub> and <sup>14</sup>C methods for measuring phytoplankton gross photosynthesis at low light levels. **OIKOS**, v.35, p.359-364.

BARBOSA, F. A. R. & TUNDISI, J. G. (1980). Primary production of phytoplankton and environmental characteristics of a shallow Quaternary lake at Eastern Brazil. **Arch. Hydrobiol.**, v. 90, n. 2, p.139-61.

BARBOSA, F.A.R.; BICUDO, C.E.M.; HUSZAR, V.L.M. (1995). Phytoplankton studies in Brazil: community structure variation and diversity. In: Tundisi, J.G.; Bicudo, C.E.M.; Matsumura-Tundisi, T. (Ed.). **Limnology in Brazil**. Imprinta. Rio de Janeiro. p.19-36.

BOURRELLY, P. (1972): **Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 1: les algues vertes**, Paris: N. Boubée. v 1, 572p.

BOURRELLY, P. (1981): **Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 2: les algues jaunes et brunes Chrysophycées, Pheophycées, Xantophycées et Diatomées**. Paris: N. Boubée. v 2. 571p.

- BOURRELLY, P. (1985): **Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 3: les algues bleus et rouges, les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines**. Paris: N. Boubée. v 3. 606p.
- BRAY, G. A. (1960). A simple efficient liquid scintillation method for counting aqueous solutions in a liquid scintillation counter. **Anal. Biochem.**, vol. 1, p. 279-85.
- CALIJURI, M.C. (1985). **Curvas de luz fotossíntese e fatores ecológicos – Represa do Broa (Lobo), São Carlos, SP**. São Carlos. 280p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos.
- CALIJURI, M.C. (1988). **Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização**. São Carlos. 293p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G.; SAGGIO, A.A. (1989). Um modelo de avaliação do comportamento fotossintético para populações de fitoplâncton natural. **Revista Bras. Biol.**, vol. 49, n. 4, p.969-77.
- CALIJURI, M. C. & DOS SANTOS (1996). Short-term changes in the Barra Bonita Reservoir (São Paulo, BR): emphasis on the phytoplankton communities. **Hydrobiologia**, vol. 330, p.163-75.
- CALIJURI, M. C.; DEBERDT, G.L.B.; MINOTI, R.T. (1999). A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande (Americana – S.P.)./no prelo/
- CARLSON, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-69.
- CASTRO, A. A. J. (1993) – **Cryptophyceae do Estado de São Paulo: Inventário Taxonômico**. Rio Claro. 207p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista.

- COELHO, M.P. (1993). **Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana.** 69p. Rio Claro. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (1994). **Relatório.** Usina Hidrelétrica do reservatório de Salto Grande. Americana (S.P.). 14p.
- DEBERDT, G.L.B. (1997). **Produção primária e caracterização da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana-SP) em duas épocas do ano.** 105p. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DOS SANTOS, A.C.A. (1996). **Biomassa e estrutura da comunidade fitoplanctônica em curtos períodos de tempo no reservatório de Barra bonita, S.P.** São Carlos. 169p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- DOS SANTOS, A.C.A.; CALIJURI, M.C. (1998). Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita Reservoir (São Paulo, Brazil). **Hydrobiologia**, v. 367, p. 139-152.
- ETTL, H. (1978) – Xanthophyceae, 1. In: **Süswasserflora von Mitteleuropa** Stuttgart: Gustav Fischer. v.3, 84p.
- FERREIRA, R.A.R. (1998). **Flutuações de curto prazo da comunidade fitoplanctônica na represa de Jurumirim (rio Paranapanema, São Paulo), em duas estações do ano (seca e chuvosa).** São Carlos. 227p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- FROELICH, C.G.; ARCIFA-ZAGO, M.S. AND CARVALHO, M.A.J. (1978). Temperature and oxygen stratification in Americana Reservoir, State of São Paulo, Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, vol. 20, p.1710-19.
- GAARDER, T. & GRAN, H. H. (1972). Investigations of production of phytoplankton in the Osho Fjord. **J. Cons. Int. Expl. Mar.**, vol. 41, p.1-48.

- GANF, G.G. (1974). Diurnal mixing and the vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial lake (lake George, Uganda). **The Journal of Ecology**, v.62, n.5, p.619-35.
- GARGAS, E. (1975). A manual for phytoplankton primary production studies in the Baltic. **The Baltic Mar. Biologists**, (Publication 2), 88p.
- GEITLER, L. (1932) **Cyanophyceae**. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H. i-vi +1-1196p.
- GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F. (1985). Primary production in ten reservoirs in southern Brazil. **Hydrobiologia**, vol 122, p.81-8.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. (1978). **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2.ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. I.B.P. Handbook, vol. 8, 213p.
- HAPPEY-WOOD, C.M. (1988). Ecology of freshwater planktonic green algae. In: Sandgren, C.D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge, Univ. Press. Cambridge. p.175-226.
- HARDING, W.R. (1997). Phytoplankton primary production in a shallow, well-mixed, hypertrophic south african lake. **Hydrobiologia**, v.344, p.87-102.
- HARRIS, G.P. (1980). Temporal and Spatial Scales in Phytoplankton Ecology. Mechanisms, Methods, Models and Management. **J. Fish. Aquat. Sci.**, vol. 37, p.877-900.
- HARRIS, G.P. (1984). Phytoplankton productivity and growth measurements: past, present and future. **J. of Plankton Research**, vol.6,n.2, p.219-37.
- HENRY, R.; TUNDISI, J. G. & CURI, P. R. (1983). Fertilidade Potencial em Ecossistemas Aquáticos: Estimativa Através de Experimentos de Eutrofização Artificial. **Ciência e Cultura**, vol. 35, n. 6, p.789-804.

- HENRY, R. (1993). Primary Production by Phytoplankton and Its Controlling Factors in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). **Revista Bras. Biol.**, vol. 53, n. 3, p.489-99.
- HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S.; DOMINGOS, P.; MARINHO, M.; MELO, S. (1998). Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. **Hydrobiologia**, v.369/370, p.59-71.
- JATI, S. (1998). **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Barra Bonita (SP): uma análise em diferentes escalas de tempo**. São Carlos. 225p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- JIAO, N. & NI, I-H. (1997). Spatial variations of size-fractionated Chlorophyll, Cyanobacteria and Heterotrophic bacteria in the Central and Western Pacific. **Hydrobiologia**, v.352, p.219-30.
- KIRK, J. T. O. (1983). **Light and photosynthesis in aquatic environments**. Cambridge University Press. Cambridge. 401 p.
- KIRK, J. T. O. (1986). Optical Limnological - a manifesto. In: De Decker, P. & Williams, W.D. (eds.) **Limnology in Australia**. Australia and Dr. Junk Publishers. Dordrecht, The Netherlands, p.33-62.
- KLAVENESS, D. (1988). Ecology of the Cryptomonadida: a first review. In: Sandgren, C.D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge, Univ. Press. Cambridge. p.105-133.
- KOMÁREK, J. & FOTT, B. (1983) Chlorophyceae (Grünalgen) – Ordnung: Chlorococcales In: Huber-Pestalozzi, G. (ed.). **Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie**, Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 1044p.
- KOMÁREK, J & AGNOSTIDIS, K. (1989) – Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4 – Nostocales. **Arch. Hydrobiol. Suppl.** v. 82, n.3, p. 247-345, 1989.

- KOMÁREK, J (1991) – A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. **Algological Studies**, v.64, p. 115-127.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & CRONBERG, G. (1994) – Planktic blue-green algae from lakes in South Scania, Sweden. Part I. Chroococcales. **Algological Studies**, v.72, p.13-51.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & ELORANTA, P. (1992) – Planktic blue-green algae (Cyanophyta) from Central Finland (Jyväskylä region) with special reference to the genus *Anabaena*. **Algological Studies**, v.67, p.103-133.
- KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (ed.) – **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie Weinheim. p.117-181.
- KRATZER, C.R.; BREZONIK, P.L. (1981). A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. **Water Resources Bulletin**, v.17, n.4, p.713-715.
- LEITE, M.A. (1998). **Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema**. 170p. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LEWIS Jr, W.M. (1978). Spatial distribution of the phytoplankton in a tropical lake (lake Lanao, Philippines). **Int. Revue Ges. Hydrobiol.**, v.63, n.5, p.619-35.
- McCLOUGH, J.D.; JACKSON, D.W. (1985). Composition and productivity of the benthic macroinvertebrate communiti of a subtropical reservoir. **Rev.Gesamten Hydrobiol.**, v.70, n.2, p.221-35.
- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. (1978). **Water analysis: Some Revised Methods for Limnologists**. Freshwater Biological Association. Scientific Publication n.36. Titus & Son Ltd., Kendall. 117p.
- MARGALEF, R. (1983). **Limnologia**. Ediciones Omega. Barcelona. 1010p.

- MARKER, A.F.R.; NUSCH, E.A.L.; RAI, H.; RIEMANN, B. (1980). The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusions and recommendation. *Arch. Hydrobiol. Beith. Ergebn. Limno.*, v.14, p.91-106.
- MOED, J.R.; HALLEGRAEFF, G.M. (1978). Some problems in the estimation of chlorophyll-a and phaeopigments from pre- and postacidification spectrofotometric measurements. *Int.Revue Ges Hydrobiol.*, v.63, n.6, p.787-800.
- NIXDORF, B.; BEHRENDT, H. (1991). Discrepancies between O<sub>2</sub> and <sup>14</sup>C method resulting from measurements of primary production under consideration of vertical mixing in a shallow eutrophic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v.24, p.1268-1271.
- NOGUEIRA, I. de S. (1991) – **Chlorococcales sensu lato (Chlorophyceae) do Município do Rio de Janeiro e arredores, Brasil: inventário e considerações taxonômicas.** Rio de Janeiro. 356p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- NUSCH, E. A.; PALME, G. (1975). Biologische methoden fur die praxis der gewasseruntersuchung. *Gwf-Wasser/Abwasser*, v.116, p.562-65.
- NUSCH, E. A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyl and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Lim.*, vol. 14, p.14-36.
- ODUM, E.P. (1988). *Ecologia*. Ed. Guanabara. Rio de Janeiro. 434p.
- OLIVEIRA, H. T. (1993). **Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (braço do rio Capivara) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita, S.P., com ênfase na comunidade fitoplanctônica.** 328p. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, M. D. (1993). **Produção Primária e Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica no Reservatório do Lobo (S.P.): Uma Comparação Entre Fatores Ecológicos na Represa e nos seus Principais Tributários.** 178p. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- PAERL, H. W. (1988). Growth and reproductive strategies of freshwater blue green-algae (Cyanobacteria). In: Sandgren, C.D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge, Univ. Press. Cambridge. p.261-315.
- PIELOU, E.C. (1975). **Ecological diversity**. Wiley & Sons Inc., New York.
- POCHMANN, A. (1942). Synopsis der Gattung Phacus. **Archiv fur Protistenkunde**. v.95, n. 2, p. 81-252.
- POOLE, R.W. (1974). **A introduction to quantitative ecology**. London, McGraw-Hill. 165p.
- PRESCOTT, G.W.; BICUDO, C.E. DE M. & VINYARD, W. C. (1982) – **A Synopsis of North American Desmids**. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae. Section 4. University of Nebraska Press. Lincoln. 700 p.
- PREZÉLIN, B.B.; TILZER, M.M.; SCHOFIELD, O.; HAESE, C. (1991). The control of the production process of phytoplankton by the physical structure of the aquatic environment with special reference to its optical properties. **Aquatic Sciences**, v.53, n.2/3, p.136-185.
- REYNOLDS, C. S. (1984). **The Ecology of Freshwater Phytoplankton**. Cambridge, Cambridge University Press. 384p.
- REYNOLDS, C. S. (1987). Cyanobacterial water-booms. **Advances in Botanical Research**, vol. 13, p.67-143.
- REYNOLDS, C. S. (1988). Functional Morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: Sandgren, C.D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge, Univ. Press. Cambridge. p.388-433.
- REYNOLDS, C. S. (1990). Temporal scales of variability in pelagic environments and the response of phytoplankton. **Freshwater Biology**, vol. 23, p.25-53.

- ROMANINI, P.U. (1989). **Distribuição e ecologia alimentar de peixes no reservatório de Americana (S.P.)**. 122p. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- SALAS, H.J.; MARTINO, P. (1990). **Metodologias simplificadas para la evaluacion de eutrofication en lagos calidos tropicales**. Programa de saúde ambiental. CEPIS/HPE/OPS. Organização Mundial de la Salud. 51p.
- SOMMER, U. (1988). Growth and Survival Strategies of Planktonic Diatoms. In: Sandgren, C.D. (ed.) **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge, Univ. Press. Cambridge. p.227-260.
- STEEMANN-NIELSEN, E. (1952b). The use of radiative carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea. **J. Cons. perm. Int. Expl. Mer.**, vol. 18, p.117-40.
- STEEMANN-NIELSEN, E.; HANSEN, V.Kr. (1959). Measurements with the carbon-14 technique of the respiration rates in natural populations of phytoplankton. **Deep-Sea Research**, v.5, p.222-33.
- STEEMANN-NIELSEN, E. (1974). Light and primary production. In: Jerlov, N.G.; Steemann-Nielsen, E. (ed.). **Optical aspects of oceanography**. Academic press. London and New York. p.361-88.
- STRICKLAND, J.D.; PARSON, T.R. (1960). A Manual of Seawater Analysis. **Bull Fsh. Res. Bel. Can**, vol. 125, p.1-185.
- TALLING, J.F. (1975). Primary production of freshwater microphytes. In: Cooper, J.P. (ed.). **Photosynthesis and productivity in different environments**. Cambridge University Press. Cambridge. p.225-47.
- TALLING, J.F. (1983). Past and contemporary trends and attitudes in work on primary productivity. **Journal of Plankton Research**, v. 6, n.2, p.202-17.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G. & KUTNER, M.B. (1965). Plankton studies in a mangrove IV: size fractionating of the phytoplankton. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, v. 26, p. 39-42.

- TOLEDO Jr, A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutroficação em lagos e reservatórios tropicais. In: **12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Camboriú, 1983. Anais. 34p.
- TORGAN, L. C. (1997) **Estrutura e Dinâmica da Comunidade Fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um Ciclo Anual**. São Carlos. 284p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos.
- TUNDISI, J.G. (1969) **Produção primária, "standing-stock" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia**. São Paulo. 131p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J.G. (1988). Impactos ecológicos da construção de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: Tundisi J. G. (ed.). **Limnologia e Manejo de Represas**. Série Monografias em Limnologia: vol. I, Tomo 1, p.1-74.
- TUNDISI, J.G. (1990). Distribuição Espacial, Sequência Temporal e Ciclo Sazonal do Fitoplâncton em Represas: Fatores Limitantes e Controladores. **Revista Bras. Biol.**, vol 50, n. 4, p.937-55.
- TUNDISI, J.G., MATSUMURA-TUNDISI, T. & CALIJURI, M.C. (1993). Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: Straskraba, M.; Tundisi, J.G. & Duncan, A. (eds.). **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management**, Kluwer Academic Publishers. p.25-55.
- UTERMOHL, H. (1958). On the perfecting of quantitative phytoplankton method. **Int. Ass. theor. Appl. Limnol. Commum**, n. 9.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1974). **A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments**. 2.ed. London, Blackwell Scientific Publications, (I.B.P. Hand-book, 12). 225p.

- WANG, H.; HUANG, B.; HONG, H. (1997). Size-fractionated productivity and nutrient dynamics of phytoplankton in subtropical coastal environments. *Hydrobiologia*, vol.353, p.97-106.
- WETZEL, R. G. (1975). *Limnology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia, London, Toronto. 743p.
- WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E. (1991). *Limnological Analyses*. 2<sup>a</sup> ed. Springer-Verlag. 391p.
- XAVIER, M. B. (1994) – Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas 5: Euglenophyceae (Euglenaceae Pigmentadas). *Hoehnea*, v. 21, n. 1/2, p. 47-73.
- XAVIER, M. B. (1996) – Fitoplâncton do Rio Grande, Represa Billings, São Paulo, Brasil: Estudo Taxonômico (1985-1986). *Iheringia*, Sér. Bot., Porto Alegre, n.47, p.103-122.
- ZAGATTO, P.A.; ARAGÃO, M.A.; CARVALHO, M.C.; SOUZA, R.C.R. (1996). Manual de orientação em casos de florações dealgas tóxicas. Um problema ambiental e de saúde pública. Relatório Técnico. **CETESB**. 16p.