

LETICIA ZEHNDER-ALVES



**FITOPLÂNCTON DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, PIRAQUARA, PARANÁ:  
FATORES REGULADORES DAS DINÂMICAS TEMPORAL E VERTICAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Botânica,  
Curso de Pós-Graduação em Botânica, Setor de  
Ciências Biológicas, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luciano F. Fernandes

CURITIBA

2003



LETICIA ZEHNDER-ALVES

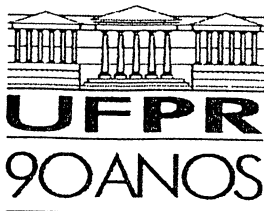
**FITOPLÂNCTON DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, PIRAQUARA, PARANÁ:  
FATORES REGULADORES DAS DINÂMICAS TEMPORAL E VERTICAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Botânica,  
Curso de Pós-Graduação em Botânica, Setor de  
Ciências Biológicas, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luciano F. Fernandes

CURITIBA

2003



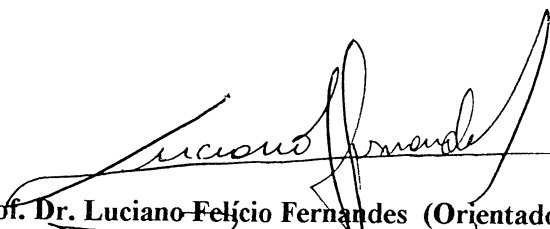
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Biológicas – Departamento de Botânica  
Curso de Pós-Graduação em Botânica  
Centro Politécnico - Jardim das Américas – Caixa Postal 19031  
CEP 81531-990 - CURITIBA - Paraná  
Tel (41) 361-1625 - Fax. (41) 266-2042  
E-mail [pgbotaru@bio.ufpr.br](mailto:pgbotaru@bio.ufpr.br) – home page. <http://www.bio.ufpr.br>

**“FITOPLÂNCTON DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, PIRAQUARA, PARANÁ:  
FATORES REGULADORES DAS DINÂMICAS TEMPORAL E VERTICAL.”**


por

**LETICIA ZEHNDER-ALVES**


Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada:



**Prof. Dr. Luciano-Felício Fernandes (Orientador-UFPR)**



**Prof. Dr. Frederico Pereira Brandini (Titular- UFPR)**



**Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia de Moraes Huszar (Titular-Museu Nacional-UFRJ)**

Curitiba, 31 de março de 2003.

## SAUDAÇÃO À ÁGUA

**“Valham-nos águas divinas, para nossa proteção, para saciar nossa sede, para trazer-nos bem aventurança e felicidade. Águas soberanas que reinam sobre o que é precioso e sobre a humanidade. Invocamos o bálsamo de vossa cura.”**

(Invocação de Rigveda, antigo livro sagrado da Índia)

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luciano Felício Fernandes, pela grande amizade, atenção e incentivo. Pelas inúmeras explicações e discussões constantes durante todos os anos de orientação. Pelo grande empenho no primeiro ano de coletas no reservatório. Além de sempre se aventurar e incentivar seus orientados em novos caminhos do estudo fitoplanctônico.

Ao Prof. Dr. Frederico Pereira Brandini, do Laboratório de fitoplâncton do Centro de Estudos do Mar, pelos anos de amizade e orientação. E principalmente por compreender e me alertar sobre minha saúde, dicas fundamentais para que este trabalho fosse finalizado.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Vera Lúcia de Moraes Huszar, do Museu Nacional do Rio de Janeiro da UFRJ, pelas valiosas sugestões dadas durante o desenvolvimento deste trabalho, e pela ajuda com algumas bibliografias e pela acolhida em sua casa.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Thelma Alvim Veiga pela amizade e carinho, além dos empréstimos de livros e teses que foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Irene Cecy por me ensinar muito sobre taxonomia de algas continentais, além de me ajudar a identificar muitas algas.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria da Graça Sophia, do Museu Nacional da UFRJ, pela acolhida, carinho e pela preciosa identificação do *Cosmarium sphagnicolum*.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Eunice Machado, do Laboratório de Biogeoquímica no Centro de Estudos do Mar, por permitir a utilização dos diversos equipamentos, vidrarias e reagentes para as análises de nutrientes. À Nilva, Tânia e todos os estagiários deste laboratório que muito me auxiliaram nas demoradas análises.

À amiga Nilva Brandini pelo auxílio e companhia durante as altas horas no laboratório do CEM. Pela acolhida no alojamento ou em sua casa em Pontal do Sul, e dedicação conferindo os cálculos de nutrientes.

À todos os amigos do Laboratório de Ficologia, em especial à Naila, Patrícia, Dani Atab, Vanessa, Cris, Dani Portinho e Fernanda, pela amizade, apoio, companhia e momentos agradáveis.

À Cristiane Szawka e Daniele Atab por me ajudarem no início das contagens na identificação de muitas algas.

À Nailamar Visinoni pela grande amizade, apoio e estímulos dentro e fora do laboratório, além da companhia em nossa ida a Congresso.

À Patrícia Ester Lagos, pela super ajuda nos cálculos de % de saturação de oxigênio dissolvido, grande amiga e companheira de coletas e análises de clorofila.

À todo o pessoal do laboratório de fitoplâncton do Museu Nacional do Rio de Janeiro da UFRJ, em especial a Maria Carolina Silva Soares, Sérgio de Melo e Carolininha pela carinhosa acolhida e momentos de descontração na cidade maravilhosa.

Ao laboratório de Micropropagação do Departamento de Botânica pelo empréstimo do pHmetro, nas horas de apuro.

Ao Laboratório de Ficologia pelas facilidades e oportunidades concedidas.

Ao Departamento de Zoologia pelo empréstimo do Oxímetro durante as últimas coletas.

À SANEPAR por permitir nosso livre acesso ao reservatório.

Ao SIMEPAR por ceder os dados meteorológicos utilizados neste trabalho.

Ao LACTEC pelo empréstimo do fluorômetro no início de nossas análises de clorofila.

À Central de transporte da UFPR por disponibilizar condução para boa parte das coletas.

À CAPES pelos dois anos de bolsa concedidos.

À todos com quem convivi e àqueles que mesmo estando longe, em pensamento ansiaram e contribuíram para que este trabalho fosse cumprido.

E principalmente a minha família Renate, José, Georgia e Kathyane, pelo amor, amizade, dedicação e incentivo durante todos os meus anos de estudo. Por me apoiarem sempre, nos bons e maus momentos. À minha mãe que sempre me incentivou, agüentando meus "ataques" de pânico e mau humor durante a realização deste trabalho.

Muito obrigada...

Leticia Zehnder-Alves

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE APÊNDICES</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	6
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	7
3.1 Área de estudo .....	7
3.2 Rede amostral .....	9
3.3 Análise qualitativa do fitoplâncton .....	9
3.4 Análise quantitativa e biomassa do fitoplâncton (variação temporal e distribuição vertical) .....	9
3.5 Análise quantitativa e biomassa da diatomácea <i>Aulacoseira ambigua</i> .....	11
3.6 Clorofila-a .....	11
3.7 Variáveis físicas e químicas .....	12
3.8 Dados meteorológicos .....	12
3.9 Análise de dados .....	12
<b>4 RESULTADOS</b> .....	13
4.1 Aspectos climatológicos .....	13
4.2 Regime hidrológico .....	16
4.3 Fitoplâncton .....	21
4.3.1 Composição florística .....	21
4.3.2 Densidade e biovolume do fitoplâncton .....	21
4.3.3 Variação vertical da densidade e biovolume do fitoplâncton .....	22
4.3.3.1 Densidade e biovolume de espécies / grupos dominantes .....	22
4.3.3.2 <i>Aulacoseira ambigua</i> .....	30
4.3.3.2.a Características morfológicas da espécie .....	30
4.3.3.2.b Variação anual da densidade e biovolume de <i>Aulacoseira ambigua</i> .....	30
4.3.4 Variação temporal de biovolume do fitoplâncton .....	33
Estratificação (2000) .....	35
Circulação (2000) .....	36
Estratificação (2000/01) .....	36
Circulação (2001) .....	37
Estratificação (2001/02) .....	37
4.3.5 Clorofila-a .....	39
4.3.6 Correlações .....	39
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	41
5.1 Variações vertical e temporal das características físicas e químicas no reservatório .....	41
5.2 Fitoplâncton .....	43
5.2.1 <i>Aulacoseira ambigua</i> .....	45
5.3 Grupos funcionais .....	47
5.4 Quadro conceitual sintetizando a sucessão do fitoplâncton .....	50
5.5 Estado trófico e qualidade da água .....	52
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58
<b>APÊNDICE</b> .....	69



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	MAPA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAQUARA, MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I COM A LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE COLETA .....	8
FIGURA 2 -	RESERVATÓRIO PIRAQUARA I NA REGIÃO DA BARRAGEM. AO FUNDO, NOTA-SE A PLATAFORMA DE TOMADA DE ÁGUA, LOCAL DA COLETA ....	10
FIGURA 3 -	VISTA AÉREA DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, INDICANDO A ESTAÇÃO DE COLETA .....	10
FIGURA 4 -	DADOS CLIMATOLÓGICOS DIÁRIOS NA REGIÃO DE ENTORNO DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002. (SIMEPAR, RELATÓRIOS NÃO PUBLICADOS) .....	15
FIGURA 5 -	DISTRIBUIÇÕES VERTICAL E SAZONAL DA TEMPERATURA DA ÁGUA; CLOROFILA-a; BIOVOLUME E DENSIDADE TOTAL EXCETUANDO AS CÉLULAS DE <i>Cyanogranis ferruginea</i> DAS CÉLULAS DO FITOPLÂNCTON, NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	17
FIGURA 6 -	VARIAÇÕES TEMPORAL E EM PERFIL VERTICAL DAS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES ( $\mu\text{g/l}$ ) NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	19
FIGURA 7 -	DISTRIBUIÇÕES VERTICAL E SAZONAL DA DENSIDADE (célis/ml) DOS PRINCIPAIS GRUPOS DO FITOPLÂNCTON NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	23
FIGURA 8 -	DISTRIBUIÇÕES VERTICAL E SAZONAL DO BIOVOLUME ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) DOS PRINCIPAIS GRUPOS DO FITOPLÂNCTON NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	24
FIGURA 9 -	VARIAÇÕES TEMPORAIS DO BIOVOLUME ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) E PORCENTAGEM DE BIOVOLUME TOTAL NAS 06 PROFUNDIDADES AMOSTRADAS DOS PRINCIPAIS GRUPOS DO FITOPLÂNCTON NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	26
FIGURA 10 -	MÉDIA DAS 6 PROFUNDIDADES DA DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DAS ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES EM DENSIDADE (célis/ml), NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	28
FIGURA 11 -	<i>Aulacoseira ambigua</i> , RESERVATÓRIO PIRAQUARA I; A-C, m.o; D-E, m.e.v. A CADEIA DE CÉLULAS, PRESERVADAS EM LUGOL. B e C. FRÚSTULAS MOSTRANDO AS FILEIRAS DE ARÉOLAS EM CURVAS. D. VISTA EXTERNA, MOSTRANDO AS FILEIRAS DE ARÉOLAS E OS ESPINHOS DE CONEXÃO ENTRE AS VALVAS. NOTE ABERTURA ALONGADA DA RIMOPÓRTULA NA BORDA DO MANTO. E. CÍNGULO. NA BASE DO CÍNGULO, NOTE TUBO MARGINAL OCO NA MARGEM DO MANTO .....	31
FIGURA 12 -	DISTRIBUIÇÕES VERTICAL E SAZONAL DA DENSIDADE (célis/ml) E BIOVOLUME ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) DA DIATOMÁCEA <i>Aulacoseira ambigua</i> NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	32
FIGURA 13 -	VARIAÇÕES TEMPORAL DO BIOVOLUME ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ), PORCENTAGEM DE BIOVOLUME, RIQUEZA (TÁXONS/AMOSTRA) E DIVERSIDADE ESPECÍFICA (Bits/ $\text{mm}^3$ ) NA SUPERFÍCIE, DOS PRINCIPAIS GRUPOS DO FITOPLÂNCTON NO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	34
FIGURA 14 -	QUADRO CONCEITUAL DO RESERVATÓRIO MESOTRÓFICO MONOMÍTICO QUENTE PIRAQUARA I SINTETIZANDO A SUCESSÃO DO FITOPLÂNCTON, ESTRATÉGIAS DOMINANTES E GRUPOS FUNCIONAIS, PARA O PERÍODO ESTUDADO DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 .....	51

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	DADOS MORFOMÉTRICOS DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I.....	7
TABELA 2 -	DADOS METEOROLÓGICOS NA REGIÃO DE ENTORNO DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, ENTRE JANEIRO DE 2000 E MARÇO DE 2002. MÉDIA (MÍNIMO-MÁXIMO) OU MÉDIA (MÁXIMO). (DE SIMEPAR, RELATÓRIOS NÃO PUBLICADOS).....	14
TABELA 3 -	MÉDIA (MÍNIMO-MÁXIMO) DOS PARÂMETROS FÍSICO, QUÍMICO E BIOLÓGICOS DAS 06 PROFUNDIDADES NA ESTAÇÃO DE COLETA DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002.....	20
TABELA 4 -	MÉDIA DA DENSIDADE, BIOVOLUME, RIQUEZA E DIVERSIDADE ESPECÍFICA NA SUPERFÍCIE DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002.....	35
TABELA 5 -	CONTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) PARA O BIOVOLUME TOTAL DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES DO FITOPLÂNCTON POR PERÍODO DE ESTUDO, NA SUPERFÍCIE DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 (ASS. – ASSOCIAÇÕES).....	38
TABELA 6 -	CONTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) PARA A DENSIDADE TOTAL DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES DO FITOPLÂNCTON (EXCETUANDO <i>Cyanogranis ferruginea</i> ) POR PERÍODO DE ESTUDO, NA SUPERFÍCIE DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 (ASS. – ASSOCIAÇÕES).....	38
TABELA 7 -	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPERMAN ( $r^2$ ) ENTRE BIOVOLUME TOTAL, BIOVOLUME DE BACILLARYOPHYTA E DE DINOPHYTA COM VARIÁVEIS ABIÓTICAS DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, DE JANEIRO DE 2000 A MARÇO DE 2002.....	40

## LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE 1 -	RELAÇÃO DAS ESPÉCIES DO FITOPLÂNCTON DO RESERVATÓRIO PIRAQUARA I, COM A MDL – MAIOR MEDIDA LINEAR DA CÉLULA (C=COMPRIMENTO, D=DIÂMETRO, L=LARGURA) E O BIOVOLUME CELULAR, OBSERVADAS DE JANEIRO/00 A MARÇO/02.....	63
--------------	--	----

## RESUMO

A construção de reservatórios vem se constituindo em importante iniciativa do governo do estado do Paraná nos últimos 10 anos, visando aumentar a capacidade dos mananciais para o abastecimento de água potável e incrementar a geração de energia elétrica. O reservatório Piraquara I localiza-se no município de Piraquara na área conhecida como "mananciais da serra", uma extensa área de reserva florestal de mata de Araucária bastante preservada. Com tempo de residência de 135 dias, volume de água estimado em  $18,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  e área de  $3,2 \text{ Km}^2$ , profundidade média de 5,5 metros, o reservatório está sob a responsabilidade da SANEPAR e abastece aproximadamente 30% da água potável tratada da cidade de Curitiba. Este trabalho teve como objetivo realizar estudos sobre o fitoplâncton, simultaneamente às análises químicas periódicas da água entre janeiro de 2000 e março de 2002, visando discutir as variações da comunidade fitoplanctônica e relacioná-las à suas características hidrobiológicas no reservatório. Amostras verticais de água (06 profundidades) foram coletadas em intervalos mensais, numa estação do reservatório, para estimativas de densidade celular, biovolume, clorofila-a, nutrientes, oxigênio dissolvido e demais parâmetros físicos e químicos da água, bem como dados meteorológicos diários. Os resultados mostraram uma tendência a estratificação térmica nos meses mais quentes do ano (novembro a março), com temperaturas máximas superficiais de  $26,2^\circ\text{C}$ , e uma homogeneidade em toda coluna d'água nos meses mais frios (maio a agosto), com temperaturas mínimas de  $13^\circ\text{C}$ . O oxigênio dissolvido apresentou tendência semelhante à da temperatura da água, oscilando de 5,1 a  $7,2 \text{ mg/l}$ . Os picos de clorofila-a ( $0,5 - 20 \text{ } \mu\text{g/l}$ ) estiveram associados à elevadas concentrações de *Aulacoseira ambigua* no outono e início de inverno. O biovolume do fitoplâncton variou de 0,04 a  $4,5 \text{ mm}^3/\text{l}$ , e as densidades variaram de 153 céls/ml a 7.213 céls/ml, excetuando-se os valores de densidade da cianobactéria *Cyanogranis ferruginea*, que oscilaram de indetectável a 107.150 céls/ml. Em geral, os grupos dominantes do fitoplâncton foram dinoflagelados (*Peridinium umbonatum*, *Gymnodinium* sp.), clorófitas coloniais mucilaginosas (*Eutetramorus fottii*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Oocystis lacustris*), fitoflagelados especialmente crisófitas ( $<10 \mu\text{m}$ ), e diatomáceas (*Cyclotella pseudostelligera*, *Aulacoseira ambigua*). Cianobactérias filamentosas ocorreram em número bastante reduzido. Nos períodos de estratificação térmica durante a primavera e verão, os dinoflagelados (grupo funcional **L<sub>o</sub>**) e clorófitas coloniais com/sem mucilagem (**F** e **J**) tenderam a dominar o fitoplâncton, refletindo maior adaptação àquelas condições, com espécies portadoras de flagelos e produtoras de mucilagem que reduzem a densidade celular e permite maior tempo em suspensão na água. Os dinoflagelados desenvolveram-se melhor no início e fim da primavera, contribuindo grandemente para o biovolume (80-90% do total). No outono-inverno, registraram-se as menores densidades do fitoplâncton. A turbulência gerada por ventos mais intensos neste período, e a redução de temperatura, favoreceram a ressuspensão e o crescimento intensivo de diatomáceas (**B** e **A**), principalmente *A. ambigua*. Estes fatores, associados à menor intensidade luminosa, podem ser o fator limitante para algumas espécies principalmente as clorófitas, apesar de aumentar a circulação de nutrientes neste período. Durante todo o estudo a comunidade fitoplanctônica apresentou-se limitada principalmente por fósforo. A composição, densidade e biomassa do fitoplâncton, assim como a concentração de nutrientes e clorofila-a caracterizam o reservatório como mesotrófico. A manutenção do estado trófico e da boa qualidade da água são conseqüências do bom estado de preservação da bacia hidrográfica e da região de entorno do reservatório.

Palavra-chaves: fitoplâncton; reservatório Piraquara; Paraná, região sul

## ABSTRACT

The construction of reservoirs has been an important initiative of the Paraná state in the last 10 years, seeking to increase the capacity of the dams for the provisioning of drinkable water and to increase the generation of electric energy. The Piraquara reservoir is located in the district of Piraquara in the well-known area "mananciais da serra", an extensive reservation area composed of quite preserved Araucaria forest. With time of residence of 135 days, dear water volume in  $18.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  and area of  $3.2 \text{ Km}^2$ , medium depth of 5.5 meters, the reservoir furnishes 30% of the treated drinkable water of Curitiba city approximately. This work aimed to study the seasonal variation of phytoplankton community and to detect the main environmental factors regulating its oscillation between January 2000 and March 2002. Vertical water samples (06 depths) were collected in a station near the dam at monthly intervals for estimates of cellular density, biovolume, chlorophyll-a, nutrients, dissolved oxygen, temperature and conductivity, as well as daily meteorological data. The results showed a tendency of thermal stratification in the hottest months of the year (November to March), with highest surface temperature of  $26.2^\circ\text{C}$ , and a homogeneity in the whole water column in the coldest months (May to August), with lowest temperature of  $13^\circ\text{C}$ . Dissolved oxygen oscillated in a similar pattern of the temperature, ranging from 5.1 to 7.2 mg/l. Chlorophyll-a pulses (0.5 - 20  $\mu\text{g/l}$ ) were associated to the high concentrations of *Aulacoseira ambigua* in autumn and early winter. The algal biovolume ranged from 0.04 to 4.5  $\text{mm}^3/\text{l}$ , and densities from 153 cells/ml to 7213 cells/ml, being excepted the values to the cyanobacteria *Cyanogranis ferruginea*, that ranged from indetectable to  $1.07 \times 10^5$  cells/ml. In general, the dominant groups of the phytoplankton were dinoflagellates (*Peridinium umbonatum*, *Gymnodinium* sp.), colonial chlorophytes with mucilage (*Eutetramorus fottii*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Oocystis lacustris*), phytoflagellates especially chrysophytes ( $<10\mu\text{m}$ ), and diatoms (*Cyclotella pseudostelligera*, *Aulacoseira ambigua*). Filamentous cyanobacteria occurred in a quite reduced number. In the periods of thermal stratification during spring and summer, dinoflagellates (functional group **L<sub>o</sub>**) and colonial chlorophytes with/without mucilage (**F** e **J**) dominated the phytoplankton, reflecting better adaptation to those conditions, that is the presence of flagella and reduction of sinking by means of production of low density mucilage. The dinoflagellates grew better at the begining and end of spring, largely contributing to the biovolume (80-90% of total). The smallest densities were recorded in autumn-winter. The turbulence generated by more intense winds in these periods and the temperature reduction favored the resuspension and the intensive growth of diatoms (**B** e **A**), mainly *A. ambigua*. These factors, associated to the low light intensity can be the limitat factors for some groups like chlorophytes, despite the increase of nutrient circulation in this period. During all the study the phytoplankton community appeared to be limited mainly by phosphorus. The phytoplankton composition, cell density and biomass, as well as the nutrient concentration, characterizes the reservoir as mesotrophic. The maintenance of the trophic state and the good water quality are consequences of the good state of preservation of the watershed .

Keywords: phytoplankton; Piraquara reservoir; Paraná, South Brazil

## 1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios são importantes ecossistemas artificiais construídos para usos múltiplos tais como: produção de hidroeletricidade, irrigação, regulação de córregos e rios, aquicultura, armazenamento de água para indústria ou uso doméstico, navegação, recreação e turismo (Tundisi, 1993; 1994 e 1999). O crescente número de reservatórios construídos recentemente é consequência da progressiva demanda de água, principalmente para abastecimento público e produção de energia, que vem aumentando em razão da expansão demográfica (Xavier, 1979; Salas & Martino, 1991).

A construção de reservatórios simples ou sistemas de reservatórios nas regiões tropicais e subtropicais sul-americanas tem regulado suas bacias hidrográficas (Tundisi, 1994). No Brasil, a construção de grandes reservatórios de água para geração de energia elétrica e abastecimento público, atingiu seu máximo desenvolvimento nas décadas de 1960 e 1970 (Tundisi, 1999).

Nos últimos anos no Paraná, a construção de reservatórios vem se constituindo em importante iniciativa do governo do estado, visando aumentar a capacidade dos mananciais para o abastecimento de água potável e incrementar a geração de energia elétrica através de um programa de construção de usinas hidroelétricas (SUDERHSA, 1998).

Os reservatórios construídos com a finalidade de utilização da água para abastecimento urbano causam impactos ambientais diversos, tais como alagamento de extensas áreas florestadas, alteração do regime hidrológico e morfometria de pequenos e grandes rios e seus afluentes, surgimento de novas comunidades aquáticas substituindo as anteriores, além de alterar as características químicas da água (Esteves, 1988; Rebouças *et al.*, 1999; Straskraba & Tundisi, 1999; Tundisi, 1994; Tundisi *et al.*, 1999).

Nos programas de estudos de impacto e posterior monitoramento ambiental de áreas inundáveis desenvolvidos em todas as fases de soerguimento de um reservatório artificial, um compartimento importante do ecossistema a ser estudado é a comunidade fitoplanctônica, isso é, as microalgas que habitam a coluna de água. Ela representa a base da cadeia trófica no ambiente aquático através da fotossíntese, contribui com parte importante ou majoritária da produção primária de

carbono orgânico para os outros níveis da cadeia trófica, mantendo seu funcionamento (Reynolds, 1984 e 1999; Round, 1981; Wetzel, 1993). O crescimento rápido e intensivo de microalgas que constituem o fitoplâncton pode gerar fenômenos de florações, algumas delas nocivas ou produtoras de toxinas potentes, com importantes conseqüências para a qualidade da água, alterando suas características químicas e o equilíbrio do ecossistema aquático (Paerl, 1988; Sandgren, 1988). As microalgas também são importantes para o consumo humano, pois elevadas concentrações destes organismos diminuem a qualidade da água e dificultam o tratamento sanitário para abastecimento urbano, inclusive causando corrosão e entupimento de equipamentos e tubulações hidráulicas (Branco, 1978 e 1984; Rebouças *et al.*, 1999). A perda de qualidade da água pode causar ainda mortandade massiva de peixes, pela falta de oxigênio (Esteves, 1988, Fulton & Paerl, 1987 *In* Mazumder & Havens, 1998).

Os estudos em reservatórios bem preservados são de grande importância para que os conhecimentos gerados possam ser utilizados como parâmetros de controle no estudos de reservatórios impactados. Entretanto, reservatórios bem preservados são escassos e portanto pouco estudados (Xavier, 1979). Como os reservatórios são corpos de água semifechados e apresentam sistemas dinâmicos com intensa variação espacial e temporal dos processos físicos e respostas biológicas associadas (Nogueira, 2000), eles tendem a reter substâncias carregadas pelas chuvas e, entre estas, os macronutrientes (N, P, Si) e micronutrientes (Fe, Mg) essenciais ao crescimento do fitoplâncton (Reynolds, 1984 e 1997; Straskraba & Tundisi, 1999; Schäfer, 1985; Tundisi *et al.*, 1995; Tundisi *et al.*, 1999). O aporte deste material para o reservatório também interferirá nas características físicas (transparência da água, material em suspensão, penetração da luz) e químicas (substâncias orgânicas e inorgânicas, íons) da água, influenciando ainda na produção de matéria orgânica pela comunidade do fitoplâncton, podendo influenciar a qualidade e estado trófico da água.

Por todos estes motivos, é essencial que sejam desenvolvidos programas de monitoramento de águas continentais com o acompanhamento das comunidades de fitoplâncton, particularmente naqueles corpos de água utilizáveis para consumo humano ou aproveitamento hidroelétrico. Agências de proteção ambiental de vários países, preocupadas com o aumento de efeitos negativos causados por algas para o

meio ambiente e para a utilização de água para abastecimento público, já estabeleceram estratégias nacionais para o desenvolvimento e implantação de critérios técnico-científicos de amostragem de fitoplâncton e parâmetros químicos em áreas a serem impactadas (EPA, 1991; 1996; 1997 e 1998). Esta dissertação também representa uma contribuição para o planejamento futuro de sistemas de monitoramento ambiental em reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), especialmente porque há uma crescente demanda de água potável pela população, e a existência de um plano para construção de vários reservatórios nesta região no prazo de 10 anos (COMEC, 2001).

Os estudos sobre os efeitos de impactos ambientais naturais e antropogênicos bem como a elaboração de modelos preditivos destes impactos sobre as comunidades aquáticas incluem também aqueles relativos a efeitos sobre a comunidade fitoplanctônica. As relações entre os organismos e o meio aquático e as inter-relações entre as várias espécies são responsáveis pela qualidade do fitoplâncton dos lagos e reservatórios, bem como pela presença de vários tipos de populações, que se sucedem, ao longo do tempo (Reynolds, 1984). Neste sentido, as propostas de reconhecimento ou classificação de grupos de espécies de acordo com suas respostas específicas às alterações das condições ambientais de lagos ou reservatórios podem facilitar e acelerar a interpretação da dinâmica das comunidades pelágicas. Alguns esquemas de classificação de acordo com as respostas das espécies às condições ambientais foram propostos (Margalef, 1978; Kilham & Kilham, 1980; Sommer, 1981; Reynolds, 1980; 1997 e 2000). Estes esquemas auxiliam na previsão de alterações ambientais e na detecção de impactos de origem antrópica.

O desenvolvimento de categorias ecológicas do fitoplâncton e sua utilização é uma tentativa de descrever as variações na composição da comunidade fitoplanctônica. Margalef (1978) foi pioneiro ao relacionar as algas planctônicas com as diferenças morfológicas, ambientais e as estratégias de sobrevivência, utilizando a classificação r e k-estrategistas, separando assim as adaptações de sobrevivência a ambientes turbulentos e estáveis, respectivamente. Reynolds (1984) introduziu mais uma categoria aos r e k-estrategistas, as espécies-w, tolerantes a mistura (Reynolds, 1988). Posteriormente, Reynolds (1988) aplicou as **estratégias C, R e S** (adaptações evolutivas) para o fitoplâncton a partir do modelo de Grime (1979) que

se baseia nas características de crescimento e resposta à distúrbios para determinar as estratégias adaptativas primárias em plantas. Com o avanço desta proposta surgem os grupos funcionais, associações do fitoplâncton que relacionam a composição e organização dos grupos algais com as características ambientais observadas (Reynolds, 1997 e 2000; Padisák & Reynolds, 1998; Kruk *et al.*, 2002; Reynolds *et al.*, 2002).

Continuamente, o esquema de classificação de espécies fitoplanctônicas em grupos funcionais tem sido adaptado e expandido para incluir espécies e associações representativas de um maior número de lagos de diferentes localizações, principalmente de outras latitudes não temperadas (Reynolds, 1997; Padisák & Reynolds, 1998; Reynolds *et al.*, 2002). Os grupos funcionais são baseados em características fisiológicas, morfológicas e ecológicas das espécies que apresentam potencial para codominar o ambiente aquático. Estes grupos são constituídos por agregados de organismos de diferentes espécies com afinidades ecológicas que aparecem, aumentam ou diminuem simultaneamente de acordo com o ambiente (Reynolds, 2000). As microalgas pertencentes a uma mesma associação apresentam morfologia e relação superfície/volume semelhantes (Reynolds & Irish, 1997). Os grupos funcionais são nomeados por um código alfa-numérico. O último esquema de grupos funcionais desenvolvido por Reynolds *et al.* (2002) contém 31 grupos algais de acordo com sua composição taxonômica, morfologia e o estado trófico do lago. No estudo realizado no reservatório Piraquara I utilizou-se a proposta das associações definidas por Reynolds *et al.* (2002) procurando reconhecer a partir da estrutura da comunidade fitoplanctônica e dos grupos dominantes quais são os grupos funcionais que caracterizam o reservatório e que fatores podem estar regulando os padrões temporais do fitoplâncton, contribuindo para a ampliação do esquema de classificação em reservatórios subtropicais quentes.

No Brasil, os principais estudos sobre a ecologia do fitoplâncton de água doce, têm sido concentrados em reservatórios, em sua maioria no sudeste-sul do Brasil (Arcifa *et al.*, 1981; Arcifa *et al.*, 1981a; Barbosa *et al.*, 1995 e suas referências; Calijuri & Santos, 1996; Gliwicz, 1999; Gômara *et al.*, 1997; Henry, 1990; 1999 e 1999a; Huszar *et al.*, 1990; Huszar & Silva, 1999 e referências; Lima *et al.*, 1979; Nakamoto *et al.*, 1976; Nakamoto *et al.*, 1997; Tundisi, 1990; Tundisi & Saijo, 1997). Entretanto, o conjunto de resultados obtidos ainda é insuficiente para



traçar padrões de variação espaço-temporal de biomassa e de espécies abundantes neste tipo de ambiente. Em geral, as oscilações de biomassa e os padrões sucessionais da comunidade são basicamente controlados pelos períodos de chuva e seca, implicando em variações no aporte de nutrientes para as águas do reservatório e, dependendo da profundidade, pelos períodos de circulação e conseqüente profundidade da camada de mistura. Neste caso, a velocidade e duração dos ventos, além do regime climático, determinarão a intensidade das alterações na estrutura do fitoplâncton. Efeitos do tempo de retenção dos reservatórios também influenciam nos parâmetros físicos e químicos da água e, conseqüentemente, na variabilidade do fitoplâncton (Straskraba, 1999). No Paraná iniciaram-se os estudos sobre fitoplâncton em reservatórios, destacando-se os de Maringá (Train & Rodrigues, 1997) e de monitoramento ambiental nos reservatórios da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias (Ludwig & Fernandes, 1999, relatórios não publicados; Szawka, 2001) e de Itaipu (Andrade *et al.*, 1988; e vários relatórios não publicados do IAP). A SANEPAR realiza monitoramento do fitoplâncton em vários reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba, incluindo dados físicos e químicos da água. O Instituto Ambiental do Paraná; órgão da SEMA responsável pela atividade de fiscalização e monitoramento de corpos aquáticos, mantém uma rede de estações em vários reservatórios paranaenses, realizando amostragens semestrais de fitoplâncton e parâmetros físicos e químicos da água. Estes resultados têm sido apresentados na forma de relatórios internos ou publicados (IAP, 1999; 2001). Em geral, nos períodos de maior estratificação da coluna de água na primavera e verão, tendem a dominar clorófitas e crisófitas e, em lagos bastante eutrofizados, as cianófitas. As diatomáceas são mais importantes nos períodos de maior turbulência da coluna de água no outono e inverno, quando ocorre circulação decorrente de ventos ou da desestratificação de densidade causada por chuvas.

O estado de preservação extremamente satisfatório de toda a região ao redor do reservatório Piraquara I, como a floresta de araucária bem preservada, importante retentora de nutrientes, e a ausência de atividades antrópicas, não deve conduzir à ilusão de que não há necessidade de ações enérgicas por partes dos órgãos e empresas responsáveis por seu uso e fiscalização. O crescimento urbano acelerado da RMC rapidamente alcançará a área, e medidas preventivas são urgentes, particularmente visando preservar a elevada diversidade biológica da área,

especialmente quando o Piraquara I é comparado a outros reservatórios próximos como o Passaúna e o Iraí, já bastante degradados. A qualidade de água inferior nestes dois reservatórios exemplifica o futuro das águas do Piraquara, caso estas medidas não sejam implementadas e a fiscalização ambiental não seja eficiente. Além disso, justamente por apresentar boa qualidade ambiental, o estudo na comunidade fitoplanctônica realizado no reservatório permitirá comparar-se suas diferentes comunidades com as de outros corpos de água já degradados, como o Passaúna e o Iraí. Nestes Reservatórios as áreas de entorno estão severamente alteradas devido a ocupação humana desordenada, grande quantidade de esgotos domésticos e outras degradações ambientais (desmatamento, incluindo a mata ciliar ou de galeria). Em consequência há um excessivo aporte de nutrientes que conduzem a dominância das cianobactérias.

## **2 OBJETIVOS**

- Desenvolver um estudo (janeiro de 2000 a março de 2002) procurando reconhecer os padrões de distribuição anual e vertical da composição florística, abundância e biomassa do fitoplâncton, buscando compreender os fatores reguladores destes padrões em relação aos fatores abióticos no Reservatório Piraquara I, Município de Piraquara, Paraná.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

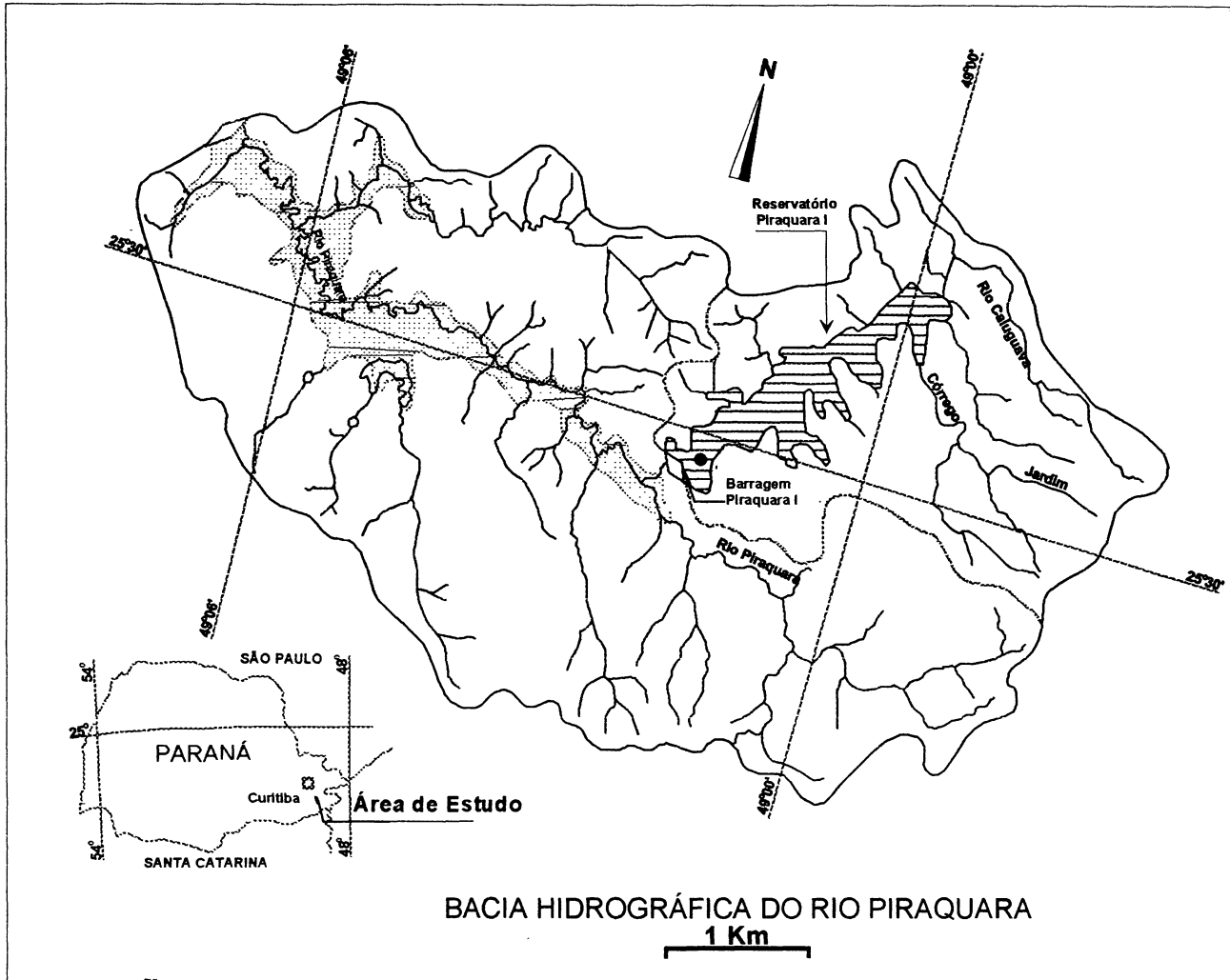
#### 3.1 Área de estudo

O reservatório Piraquara I localiza-se no Município de Piraquara (Figura 1) na área conhecida como "mananciais da serra", uma extensa área de reserva florestal de mata de Araucária praticamente intocada. Sua construção foi finalizada em 1978 e em 1979, iniciou seu funcionamento. Com tempo de residência de 135 dias, volume de água estimado em  $18,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , área de  $3,2 \text{ Km}^2$ , profundidade máxima de 24 metros e média de 5,5 metros (Tabela 1), o reservatório está inserido numa das cinco APAs (Áreas de Proteção Ambiental) instituídas nas áreas de mananciais da RCM, denominada APA do Piraquara (COMEC, 2001). O reservatório abastece aproximadamente um terço da água potável tratada da cidade de Curitiba, com população de 2.500.000 habitantes. A companhia de Saneamento do Estado do Paraná (SANEPAR) é a responsável por toda a área abrangendo a bacia hidrográfica do Piraquara.

**Tabela 1** - Dados morfométricos do reservatório Piraquara I.

Parâmetros	Morfométricos
Área do reservatório	$3,2 \text{ Km}^2$
Profundidade média	5,5 m
Profundidade máxima	24 m
Tempo de residência	135 dias
Volume	$18,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Área da bacia de drenagem	$85 \text{ Km}^2$
Início do funcionamento	1979

O clima da região é do tipo Cfb, onde: "C" indica clima mesotérmico, em que a temperatura média do mês mais frio situa-se sempre abaixo dos  $18^\circ\text{C}$ ; "f" indica clima subtropical úmido sem estação seca definida; e "b" indica que a temperatura média do mês mais quente situa-se sempre abaixo de  $22^\circ\text{C}$ .



**Figura 1.** Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piraguara, mostrando a localização do Reservatório Piraguara I com a localização da estação de coleta (●).

### 3.2 Rede amostral

As coletas foram realizadas mensalmente de janeiro de 2000 a março de 2002 em uma estação fixa no corpo principal do reservatório, próximo ao eixo da barragem (Figuras 2 e 3), com profundidade de 10 metros. As amostras foram coletadas em 6 níveis de profundidade (superfície, 1,5, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 metros), determinadas com base em estudos preliminares. Entre maio e julho de 2001 e dezembro e março de 2002 foram feitas coletas semanais. A profundidade da zona eufótica,  $Z_{euf}$ , (1% da luz incidente na sub-superfície) foi calculada a partir das leituras de transparência com o disco de Secchi multiplicado por 3, utilizando-se a fórmula de Cole (1994). A razão  $Z_{euf}/Z_{mix}$  foi utilizada como índice de disponibilidade de luz na coluna da água (Jensen *et al.*, 1994).

### 3.3 Análise qualitativa do fitoplâncton

As amostras foram coletadas com rede de plâncton (60cmX1,30m, 20 $\mu$ m de abertura de malha) através de arrasto vertical do fundo até a superfície. As amostras resultantes foram acondicionadas em frascos de polietileno de 500ml, e uma alíquota deste foi preservada em solução de Transeau (6 partes de água, 3 de álcool etílico 95% e 1 parte de formalina 4%), adicionando-se igual volume de fixador ao volume da amostra, o restante foi preservada com formaldeído 2%. Em laboratório, as algas foram determinadas com auxílio de bibliografia específica e consulta a especialistas. As diatomáceas foram preparadas para microscopia ótica e eletrônica de acordo com a técnica de Hasle & Fryxell (1970), a qual elimina a matéria orgânica com uma série de ataques ácidos e permanganato de potássio, otimizando a visualização das frústulas. Lâminas permanentes foram montadas em duplicata com resina Naphrax (Northern Biological Supplies, r=1,74).

### 3.4 Análise quantitativa e biomassa do fitoplâncton (variação temporal e distribuição vertical)

As coletas para análise quantitativa do fitoplâncton foram feitas com garrafa de Van Dorn fixada a um cabo de aço e guincho manual, a partir da plataforma para operação do reservatório. As amostras resultantes com 60ml de volume foram fixadas com lugol acético. A determinação de abundância (células por mililitro =



Figura 2. Reservatório Piraquara I na região da barragem. Ao fundo, nota-se a plataforma de tomada de água, local da coleta.



Figura 3. Vista aérea do Reservatório Piraquara I, indicando a estação de coleta.

céls/ml) das espécies abundantes do fitoplâncton foi estimada através de contagem em microscópio invertido Olympus IX70, em câmaras de sedimentação de 10 ml de volume de acordo com a técnica de Ütermohl (1958). Um total de 300 células de uma ou duas espécies dominantes foi contado, reduzindo o erro de contagem para 10%, segundo orientações de Venrick (1978). Os organismos foram determinados até o nível genérico ou específico (quando possível). As células da cianobactéria *Cyanogranis ferruginea* (Wawrik) Hindák, extremamente abundante nas amostras, foram contadas em 3-5 campos aleatórios.

O biovolume celular ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) de cada espécie (Apêndice 1) foi calculado a partir da estimativa do seu tamanho médio, calculado com base em medidas lineares de 30 indivíduos multiplicado pela densidade celular. O volume de cada célula foi calculado a partir da transformação dos valores volumétricos através das fórmulas geométricas (Edler, 1979), que se assemelham com a forma da célula (esferas, cilindros, cones, elipsóides, entre outras). O valor obtido em  $\mu\text{m}^3/\text{ml}$  foi dividido por  $10^6$  transformado-o em  $\text{mm}^3/\text{l}$ . Para o cálculo do volume celular das Bacillariophyta descontou-se do valor total do biovolume a percentagem do vacúolo celular, de acordo com as ordens as quais pertenciam as espécies. O volume celular do vacúolo das diatomáceas corresponde a 35% nas espécies penadas e 61% nas espécies cêntricas (Round *et al.*, 1990).

### 3.5 Análise quantitativa e biovolume da diatomácea *Aulacoseira ambigua*

A determinação de abundância de *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen foi realizada de maneira diferente da análise para os outros grupos do fitoplâncton. Optou-se por contar não apenas transectos mas toda a cuba de sedimentação (10ml), separando cada cadeia, e de cada uma desta as células com conteúdo celular e as vazias. Este procedimento é justificado por se tratar de uma espécie representativa da comunidade e que tende a se depositar nas bordas da cuba, o que dificulta a correta estimativa por transectos. Mediram-se 492 células para posterior conversão em biovolume.

### 3.6 Clorofila-a

As amostras coletadas em diferentes profundidades foram armazenadas em frascos de polietileno e mantidas no escuro em uma caixa térmica até a chegada em

laboratório. Posteriormente alíquotas de 500-1000ml de água foram filtradas em filtros Whatmann-GFC com 47 mm de diâmetro para leitura da concentração de clorofila-a e feopigmentos em espectrofotômetro Hitachi U-2001 após extração com acetona 90%, de acordo com Wetzel & Likens (1996) e recomendações do APHA (1995).

### **3.7 Variáveis físicas e químicas**

As variáveis físicas e químicas da água foram: transparência da água com o disco de Secchi; temperatura da água com termômetro químico; condutividade com o condutivímetro Metler; oxigênio dissolvido com oxímetro Metler; pH com peagâmetro Metler.

As amostras líquidas resultantes da filtração para a análise de clorofila foram acondicionadas em frascos de polietileno e congeladas para análises posteriores de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, nitrito, amônia, fosfato e silicato) de acordo com Grasshoff *et al.* (1983).

### **3.8 Dados meteorológicos**

Os dados meteorológicos foram cedidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, e compreendem: caracterização histórica do clima; temperatura do ar, pluviosidade, intensidade dos ventos e intensidade da radiação solar.

### **3.9 Análise de dados**

A diversidade específica ( $H'$ ) foi estimada pelo índice de Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1963) calculados a partir dos dados de biovolume e expressa em bits/mm<sup>3</sup> utilizando-se  $\log_2$ . Também foi calculada a riqueza específica ( $n^\circ$  de táxons por amostra).

Correlações com o biovolume, Dinophyta e Bacillariophyta entre as variáveis ambientais, variáveis físicas, químicas e biológicas da água foram avaliadas pelo teste de correlação de Spearman sendo consideradas significativas apenas as correlações com  $p < 0,05$ .

Associações da comunidade fitoplanctônica foram definidas segundo Reynolds *et al.* (2002).



## 4 RESULTADOS

Os resultados mostrados a seguir foram divididos em períodos delimitados com base na composição fitoplanctônica, distribuição do biovolume, densidade celular e nos eventos de circulação ou estratificação da coluna de água ao longo dos meses amostrados. Foram estabelecidos cinco períodos, a saber: I) estratificação (2000) de janeiro a março de 2000 com biovolume médio total menores e estratificação vertical; II) circulação (2000) de abril a agosto de 2000 com biovolume médio total baixo, circulação e início de estiagem, III) estratificação (2000/01) de setembro de 2000 a março de 2001 com elevado biovolume médio total, início de estratificação após outubro e estiagem com redução da profundidade do reservatório, IV) circulação (2001) de abril a agosto de 2001 com biovolume médio total intermediário e circulação, V) estratificação (2001/02) de setembro de 2001 a março de 2002 com o mais elevado biovolume médio total e marcada estratificação a partir de novembro.

### 4.1 Aspectos climatológicos

Foram definidos dois períodos que caracterizaram as condições climatológicas da região subtropical: primavera-verão e outono-inverno. O período primavera-verão foi caracterizado por precipitação freqüente e abundante, temperaturas elevadas e maior radiação solar; enquanto que o outono-inverno caracterizou-se por períodos de menor precipitação, sendo estas espaçadas, baixas temperaturas, menor radiação solar e períodos de ventos mais intensos.

Nos dois anos de amostragem (Tabela 2) registrou-se período mais frio entre maio e julho, com **temperatura atmosférica** oscilando de 3,8 a 20,8°C (média diária); e um período mais quente de janeiro a março, com temperaturas variando de 15 a 26°C (Figura 4).

As chuvas foram bem distribuídas durante o ano (Figura 4), no entanto **precipitações** mais elevadas ocorrem no verão (dezembro e janeiro), e mais baixas nas outras estações, principalmente entre os meses de abril e agosto (Tabela 2). A precipitação anual total em 2000 foi de 883 mm e em 2001 foi de 1731 mm. Em 2000, o período seco foi mais prolongado, iniciando-se em abril e estendendo-se até início de julho. Em consequência, a profundidade do reservatório foi reduzida

drasticamente para 6,5 metros na estação de coleta, recuperando a profundidade de 10 metros em janeiro de 2001.

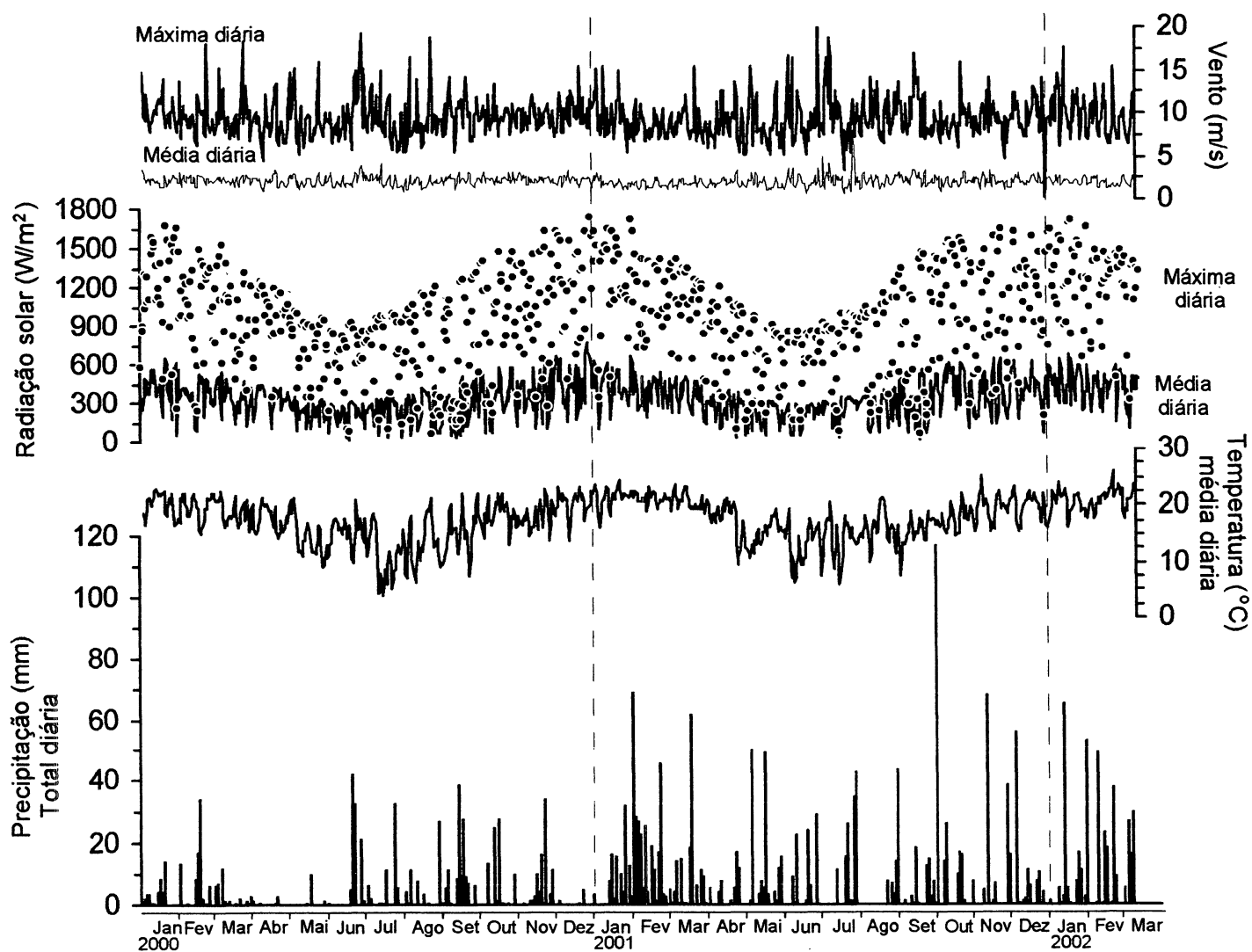
O reservatório Piraquara I tem influência constante de **ventos** ao longo de todo o ano (Figura 4). A freqüência de calmaria é baixa, denotando que a região apresenta constante mobilidade atmosférica. As rajadas máximas apresentaram tendência a serem mais intensas no inverno (junho/julho). Predominam ventos vindos do norte (no sentido transversal ao eixo maior do reservatório), principalmente entre junho e agosto. O vento leste domina entre setembro e março, embora em janeiro os ventos norte e nordeste (no sentido longitudinal ao reservatório) ocorram com freqüência similar.

No verão a **radiação solar** apresentou intensidade duas vezes superior aos valores do inverno (Figura 4). A intensidade média da radiação solar durante o período de estudo para as estações do ano foram: verão 412 W/m<sup>2</sup>; outono 270 W/m<sup>2</sup>; inverno 249 W/m<sup>2</sup> e primavera 373 W/m<sup>2</sup>.

**Tabela 2** - Dados meteorológicos na região de entorno do reservatório Piraquara I, entre janeiro de 2000 e março de 2002. média (mínimo-máximo) ou média (máximo) (de SIMEPAR, relatórios não publicados).

Precipitação total 2000 (mm)	883
Precipitação total 2001 (mm)	1731
Precipitação total mensal (mm)	113 (9-251)
Temperatura do ar (°C)	17,5 (3,8-26)
Radiação solar média (máxima) (W/m <sup>2</sup> )	334,5 (650,5)
Radiação solar/verão média (máxima) (W/m <sup>2</sup> )	413 (784)
Radiação solar/inverno média (máxima) (W/m <sup>2</sup> )	250 (515)
Ventos/rajadas média (máxima) (m/s)	2 (7,3)
Meses mais quentes	janeiro a março
Meses mais frios	junho a agosto

**Figura 4.** Dados climatológicos diários na região de entorno do Reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002 (Simepar, relatórios não publicados).



## 4.2 Regime hidrológico

A **temperatura da água** apresentou dois padrões distintos ao longo do estudo (Figura 5). O primeiro caracterizado por estratificação térmica nos meses mais quentes do ano e o segundo por homogeneidade nos meses mais frios. Foram observados três períodos de estratificação térmica com temperaturas variando de 20-26,2°C de janeiro a março de 2000 e de dezembro a março de 2001 e 2002. Nos períodos de homogeneidade da coluna d'água, de maio a agosto, a temperatura da água oscilou de 13-18,8°C. Portanto, o regime térmico do reservatório é característico do tipo monomítico quente.

O **oxigênio dissolvido** apresentou estratificação menos pronunciada que a temperatura da água, ou seja, gradientes mais discretos na coluna d'água ocorreram no período de mistura (inverno de 2000, principalmente). Neste período a concentração de oxigênio dissolvido foi mínima, oscilando de 5,1 a 7,2 mg/l (porcentagem de saturação de 74 a 52%). Nos períodos de estratificação térmica registraram as menores concentrações de oxigênio nas maiores profundidades, 0,8 mg/l (9% de saturação) no fundo e, progressivamente maiores, quanto mais próximo da superfície, máximo de 10,2 mg/l (117% de saturação).

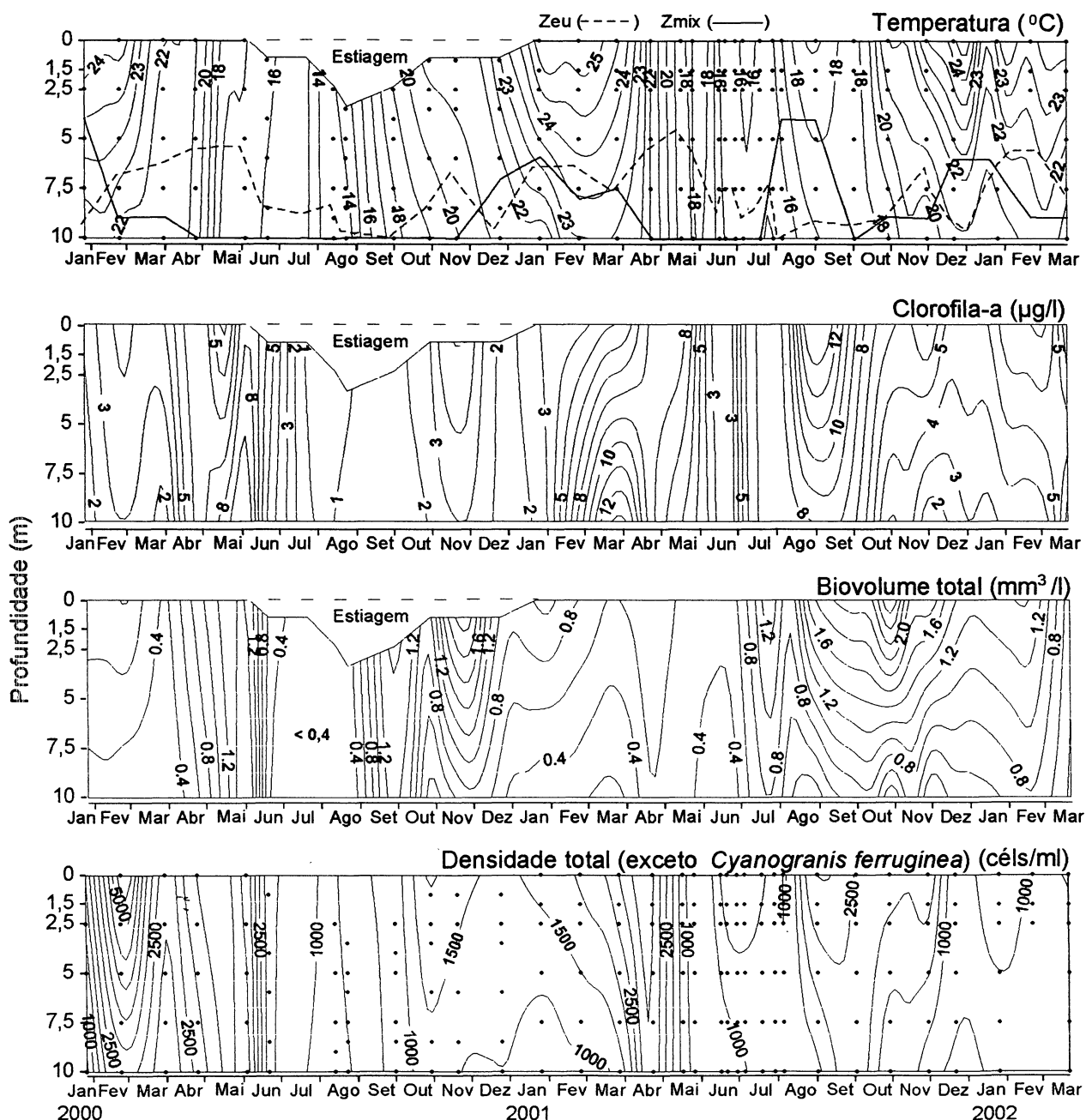
As águas do reservatório Piraquara I foram circumneutras, o **pH** variou de 6,3 a 7,9 (Tabela 3), com máximos na superfície decrescendo em direção ao fundo, principalmente nos períodos de estratificação térmica.

A variação da **condutividade elétrica** foi de 20 a 26  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 3). Entre novembro e dezembro de 2000 registraram os máximos de 37  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no fundo e 31,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na superfície.

A **transparência da água** oscilou de 1,5 a 3,9 metros. Os menores registros ocorreram nos meses de abril e maio, e os maiores em agosto a outubro e dezembro dos dois anos amostrados. Durante o período em que o reservatório apresentou redução de profundidade (junho a dezembro de 2000) a profundidade do disco de Secchi variou de 2,25 a 3,5 metros.

A profundidade da **zona eufótica** variou de 4,5 a 10 metros, e em média foi superior a 7,8 metros. A zona eufótica foi menor nos períodos de mistura, quando ocorreram concentrações elevadas de clorofila (início de junho de 2000 e maio de 2001), e foi máxima principalmente nos períodos de estiagem.

**Figura 5.** Distribuições vertical e sazonal da temperatura da água; clorofila-a; biovolume e densidade total excetuando as células de *Cyanogranis ferruginea* das células do fitoplâncton, no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. Zeu = Zona eufótica; Zmix = Zona de mistura.

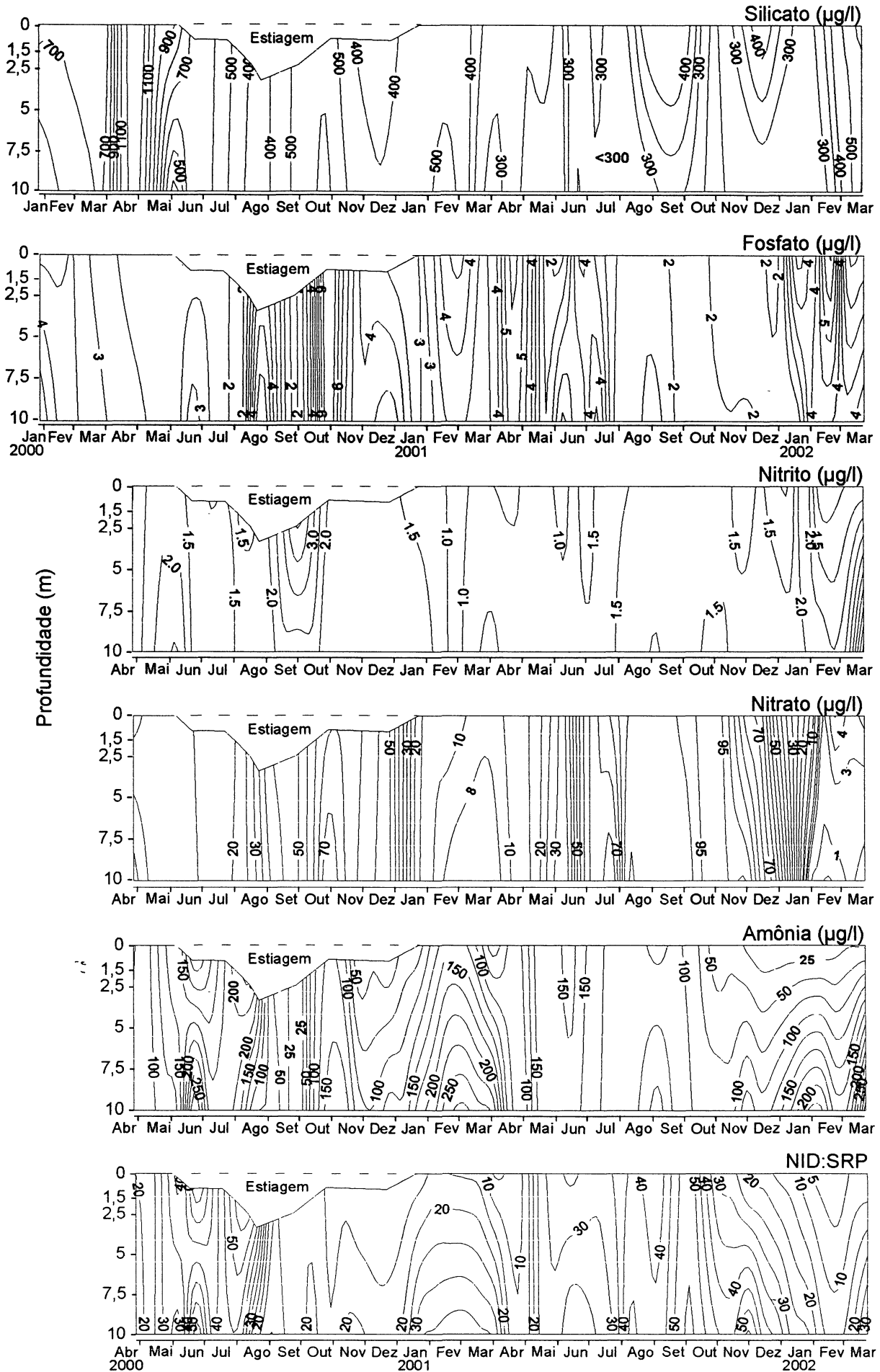


A variação anual da concentração dos **nutrientes dissolvidos** analisados encontram-se na Figura 6. De maneira geral os nutrientes apresentaram distribuição mais homogênea durante os períodos de circulação d'água (maio a setembro). Nos períodos de estratificação vertical houve tendência a maiores concentrações de nutrientes próximo à superfície, exceto amônia que apresentou maiores concentrações próximo ao fundo. Durante o período de estiagem (abril a julho de 2000) os nutrientes tiveram redução da concentração, aumentando novamente com as chuvas entre agosto e novembro de 2000, que promoveu o início da recuperação da profundidade normal do reservatório.

As concentrações de **silicato** (Figura 6) oscilaram entre 152 a 1.353  $\mu\text{g/l}$ , geralmente estiveram entre 300 e 700  $\mu\text{g/l}$ . As maiores concentrações ocorreram nos períodos de mistura da coluna de água, especialmente em abril de 2000. No mesmo período do ano seguinte, as concentrações de silicato não ultrapassaram 400  $\mu\text{g/l}$ . O **fosfato** variou de 0,8 a 9,6  $\mu\text{g/l}$  geralmente estiveram entre 2,1 e 5,5  $\mu\text{g/l}$  (Figura 6). Com máximos em geral na superfície, após as chuva (6 a 8,4  $\mu\text{g/l}$  em abril de 2001 e fevereiro de 2002) e os mínimos, nos meses de transição entre a circulação e a estratificação e no período de estiagem (abril a julho de 2000). De modo geral, durante os períodos de mistura (inverno), observou-se distribuição mais homogênea do fosfato na coluna de água, oscilando entre 1,9 a 3,9  $\mu\text{g/l}$ . Nos períodos de estratificação vertical o fosfato não apresentou padrão definido, variando de 0,8 a 8,7  $\mu\text{g/l}$ . O **nitrito** distribuiu-se irregularmente oscilando de 0,6 a 6,4  $\mu\text{g/l}$ , geralmente entre 1,0 e 2,3  $\mu\text{g/l}$  (Figura 6). O **nitrato** variou de 0,9 a 105,8  $\mu\text{g/l}$ . As concentrações de nitrato tenderam a aumentar muito no início da primavera, diminuindo no verão. Apenas nas amostras de fundo de fevereiro e março de 2002 a concentração de nitrato esteve abaixo do limite de detecção do método. O **amônia** variou de 2 a 514  $\mu\text{g/l}$  (Figura 6), exceto um pico de 1.220  $\mu\text{g/l}$  em outubro de 2000. O amônia apresentou períodos de estratificação e mistura semelhantes a temperatura da água, porém menos pronunciados. No inverno de 2000 (junho a agosto) a distribuição do amônia foi muito instável variando de 63 a 514  $\mu\text{g/l}$ , enquanto que o inverno de 2001 foi mais estável, oscilando de 160  $\mu\text{g/l}$  (início do inverno) a 104  $\mu\text{g/l}$  (agosto de 2001) em toda a coluna d'água.

A razão atômica **NID/SRP** (NID = nitrogênio inorgânico dissolvido) variou de 1 a 125 (Figura 6), e em padrão semelhante às das concentrações de amônia. No

**Figura 6.** Variações temporal e em perfil vertical das concentrações de nutrientes ( $\mu\text{g/l}$ ) no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002.



período de estratificação vertical os máximos tenderam a ocorrer no fundo (58) e os mínimos na superfície (3). Nos períodos de chuva em janeiro e fevereiro, a razão apresentou valores mínimos 1-2. No período de seca, especialmente em junho de 2000, quando a profundidade do reservatório foi muito baixa (um mês sem chuva), a razão apresentou um extremo máximo de 125.

**Tabela 3** - Médias (mínimo-máximo) dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das 06 profundidades na estação de coleta do reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002.

<b>Parâmetro</b>	<b>Média (Mín.-Máx.)</b>
Temperatura da água (°C)	20,3 (13 - 26,2)
Transparência da água (m)	2,6 (1,5 - 3,9)
Condutividade (µS/cm)	25 (20 - 37)
pH	7,1 (6,3 - 7,9)
Oxigênio dissolvido (mg/l)	5,8 (0,8 - 10,2)
N-NO <sub>3</sub> (µg/l)	43 (0,9 - 105,8)
N-NO <sub>2</sub> (µg/l)	1,6 (0,6 - 6,4)
N-NH <sub>4</sub> (µg/l)	104 (2 - 1.220)
SRP (µg/l)	3,3 (0,8 - 9,6)
SRSi (µg/l)	466 (152 - 1.353)
NID	149 (9 - 1.284)
NID/SRP	25 (1 - 125)
Zeü	7,4 (4,5 - 10)
Zmix	8 (4 - 10)
Zmax	9,6 (6,5 - 10)
Zeü/Zmax	1 (0,45 - 2,5)
Clorofila (µg/l)	5,3 (0,5 - 20)
Biovolume do Fito Total (mm <sup>3</sup> /l)	0,84 (0,04 - 4,5)
Densidade do Fito Total (célis/ml)	22.543 (153 - 128.540)
Densidade do Fito Total* (célis/ml)	1.733 (153 - 7.213)*

\* excetuando as células coloniais <2µm



## 4.3 Fitoplâncton

### 4.3.1 Composição florística

A composição florística do reservatório Piraquara I no período de estudo incluiu representantes de 7 divisões taxonômicas: Cyanophyta (11 espécies), Cryptophyta (3), Dinophyta (5), Chrysophyta (9), Bacillariophyta (7), Chlorophyta (40) e Euglenophyta (6). Do total de 81 táxons foram identificados 30 espécies, 32 táxons em nível genérico e 19 em categorias taxonômicas superiores. As 30 espécies identificadas foram: *Cyanogranis ferruginea* (Wawrik) Hindák, *Microcystis aeruginosa* Kütz.; *Peridinium gatunensis* Nygaard; *P. umbonatum* Stein; *Dinobryon divergens* Imhof.; *Aulacosira alpigena* (Grunow) Krammer; *A. ambigua* var *ambigua* (Grunow) Simonsen; *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt; *Coelastrum reticulatum* (Dangeard) Senn; *Cosmarium sphagnicolum* West; *C. subspeciosum* Nordsdt.; *Dimorphococcus lunatus* A Braun; *Elakatothrix gelatinosa* Wile; *Euastrum denticulatum* (Kirchner) Gay.; *Eutetramorus fottii* (Hindák) Komárek; *Monorhaphidium minutum* Nägeli Komarková-Legnerová; *Oocystis lacustris* Chodat; *Pediastrum duplex* Meyen; *P. simplex* Meyen; *P. tetras* (ehrenberg) Rafs; *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh) Chodat; *S. bicaudatus* (Hansg.) Chodat; *S. circumfusus* Hortobágyi; *Staurastrum rotula* Nordstd.; *Staurodesmus triangularis* (Lagerhein) Teiling; *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansg.; *T. regulare* Kütz.; *Menoidium gracile* Playfair; *Trachelomonas lacustris* Drezepolski; *T. volvocina* Ehrenberg.

No apêndice 1 estão listadas as espécies encontradas, as médias da maior dimensão linear (MDL) e o biovolume médio de cada célula.

### 4.3.2 Densidade e biovolume do fitoplâncton

A densidade do fitoplâncton variou de 153 (agosto de 2000) a 128.540 céls/ml (fevereiro de 2000), incluindo as células da cianobactéria *Cyanogranis ferruginea* (células coloniais < 2µm). O biovolume total variou de 0,04 (março de 2001) a 4,5 mm<sup>3</sup>/l (fim de outubro de 2001) e os máximos ocorreram entre setembro e novembro.

### 4.3.3 Variação vertical da densidade e biovolume do fitoplâncton

Observaram três períodos de estratificação vertical (setembro a março), com densidades que variaram de 1.061 a 128.540 céls/ml, e biovolume que variou de 0,04 a 3,1 mm<sup>3</sup>/l, com máximos próximos a superfície (Figura 5). Os maiores registros de biovolume, 2,6 e 3,1 mm<sup>3</sup>/l, ocorreram em novembro antecedendo o verão e coincidiram com elevadas densidades de *Gymnodinium* sp1.

Nos períodos de circulação no reservatório (maio a agosto) as densidades variaram de 153 a 73.730 céls/ml e biovolume de 0,16 a 1,97 mm<sup>3</sup>/l, ambos homoganeamente distribuídos na coluna d'água em junho e julho, variaram de 15.625 a 24.900 céls/ml e 0,35 a 0,50 mm<sup>3</sup>/l em 2000, e 1.160 a 3.770 céls/ml e 0,16 a 0,45 mm<sup>3</sup>/l em 2001. Os períodos de menor densidade ocorreram de junho a final de outubro de 2000 (1543 a 24.900 céls/ml) e de junho a início de outubro de 2001 (687 a 11.051 céls/ml). Os períodos de menor biovolume ocorreram no final de junho a agosto de 2000 (0,16 a 0,50 mm<sup>3</sup>/l) e entre maio e junho de 2001 (0,16 a 0,61 mm<sup>3</sup>/l).

No período que antecede a circulação total da coluna d'água, outono, registrou-se densidades celulares superiores as do período de mistura, 85.685 céls/ml em abril de 2000 e 46.460 céls/ml em abril de 2001.

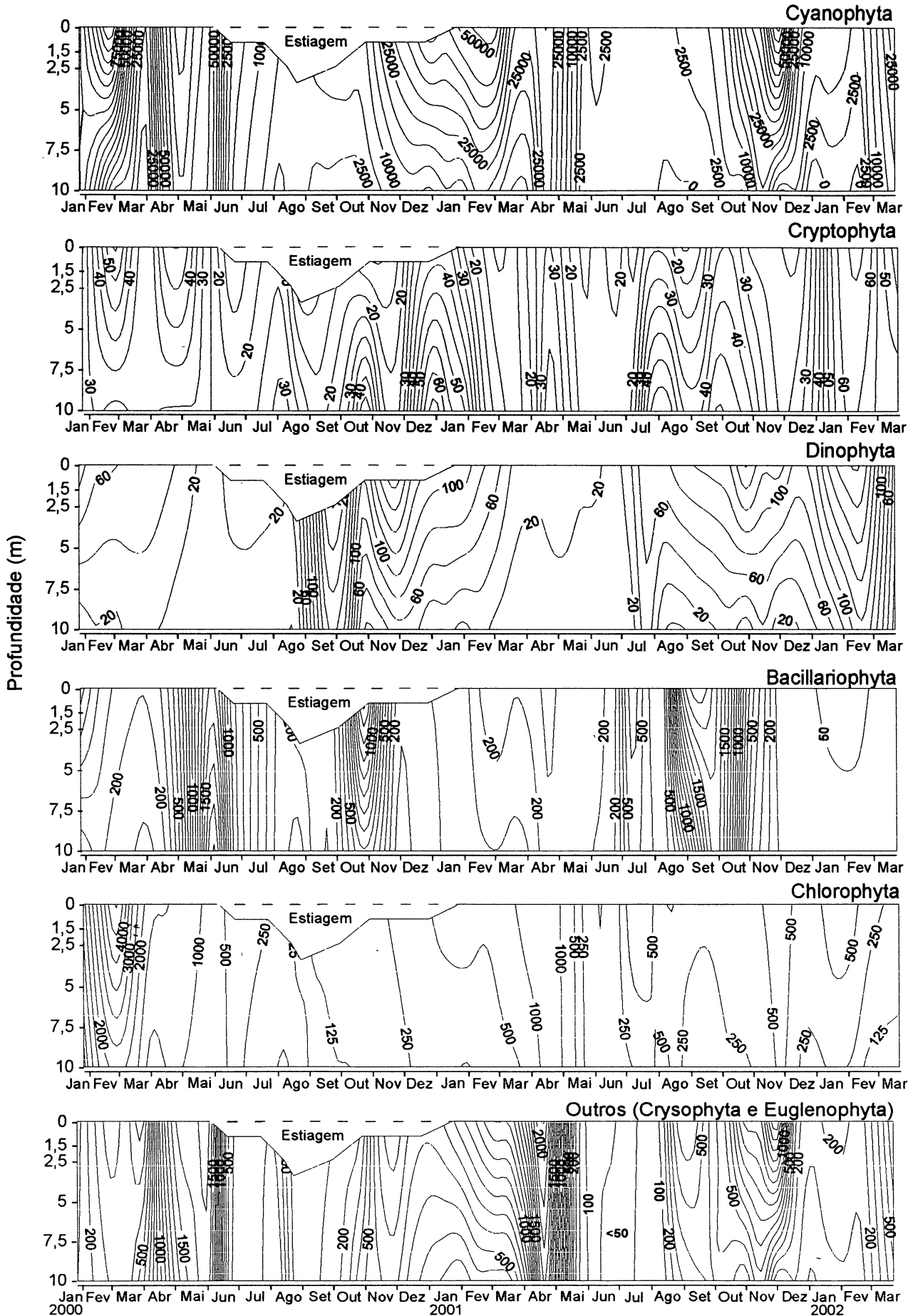
Se forem excluídas as células do picoplâncton < 2µm (*Cyanogranis ferruginea*) a distribuição da densidade celular (Figura 5) conserva os mesmos padrões nos períodos de mistura, porém os períodos de estratificação tornam-se menos pronunciados, com densidades máxima de 7.213 céls/ml, diminuindo muito em direção ao fundo 506 céls/ml. Durante os períodos homogêneos, principalmente entre junho e agosto, as densidades variaram de 390 a 4.840 céls/ml.

Apesar das células do picoplâncton (<2 µm - células coloniais) terem apresentado elevadas densidades, estas não alteraram a distribuição do biovolume total.

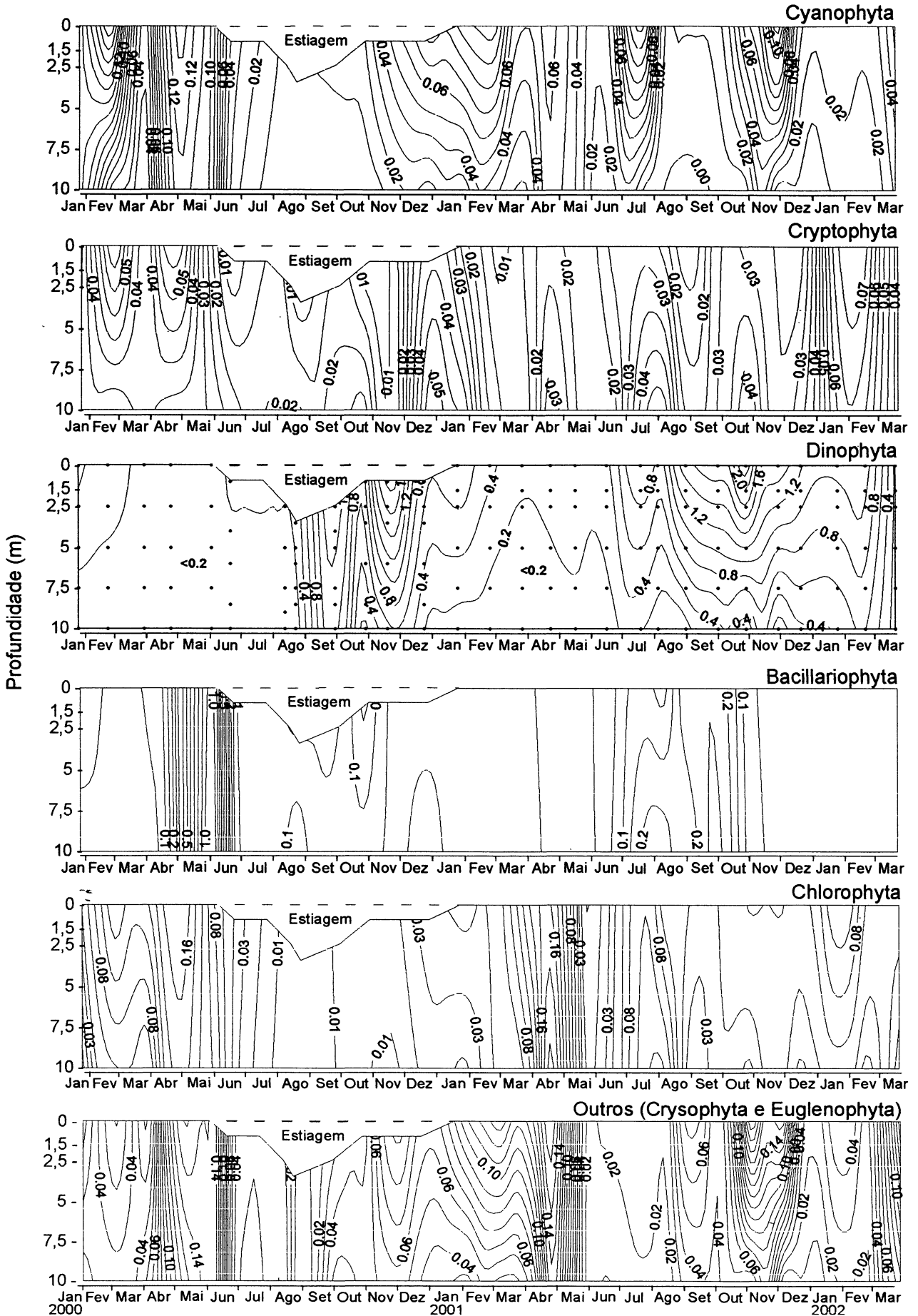
#### 4.3.3.1 Densidade e biovolume de espécies / grupos dominantes

A distribuição vertical da densidade e biovolume dos principais grupos do fitoplâncton estão mostradas nas figuras 7 e 8, respectivamente. As espécies individuais foram classificadas em 6 grupos principais: Dinophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Cryptophyta e "Outros". O grupo denominado "Outros"

**Figura 7.** Distribuições vertical e sazonal da densidade (céls/ml) dos principais grupos do fitoplâncton no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. P.S. No gráfico de Cyanophyta a maior densidade é de *Cyanogranis ferruginea*.



**Figura 8.** Distribuições vertical e sazonal do biovolume ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) dos principais grupos do fitoplâncton no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002.



inclui Crysophyta e Euglenophyta.

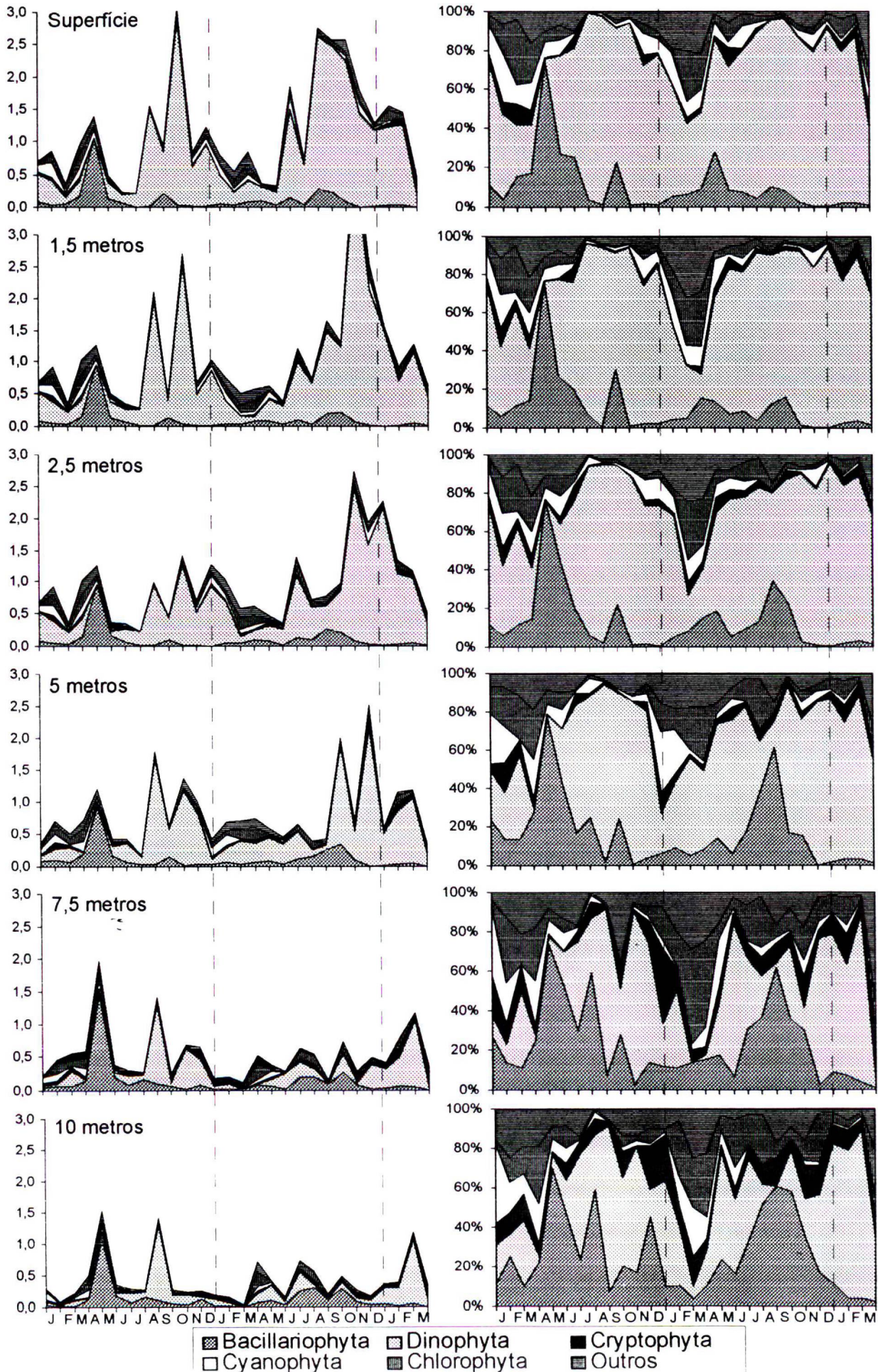
Comparando a distribuição do biovolume e composição fitoplanctônica entre as 06 profundidades de coleta, observou-se grande semelhança entre superfície, 1,5, 2,5 e 5,0 metros, as profundidades de 7,5 e 10 metros são semelhantes entre si e diferentes das outras (Figura 9).

As divisões taxonômicas que melhor contribuíram com as percentagens de biovolume ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) em ordem decrescente foram Dinophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Cryptophyta e outros (Crysophyta e Euglenophyta). As Dinophyta contribuíram grandemente com o biovolume no início e final da primavera (80-90% do total de biovolume). As Bacillariophyta tiveram a maior contribuição em biovolume nos períodos de mistura (entre 53-72%). Já as Chlorophyta e Cyanophyta poucas vezes ultrapassaram 15% do biovolume total (Figura 9).

O biovolume das **Dinophyta** variou de indetectável a  $4,08 \text{ mm}^3/\text{l}$ , os máximos em densidade e biovolume foram maiores sempre próximo à superfície durante todo o período de estudo. Densidades máximas foram registradas no início da primavera (setembro) e durante os períodos que antecedem o verão (novembro), o máximo registrado foi de 370 céls/ml durante o período de estiagem (em setembro de 2000). Os máximos em biovolume coincidiram com os máximos em densidade (setembro a novembro), máximo em outubro de 2001. A espécie de dinoflagelado mais abundante e com presença contínua durante todo o período de estudo foi *Peridinium umbonatum* Stein, principalmente durante os períodos de estratificação (Figura 10). Em setembro de 2000 ocorreu também predomínio de *P. umbonatum*, e em novembro de 2000 coexistiram *P. umbonatum* e *Gymnodinium* sp. No entanto, em setembro e novembro de 2001 ocorreu predomínio de *Gymnodinium* sp. (Figura 10).

A densidade das **Bacillariophyta** variou de 5 a 2.435 céls/ml e o biovolume de 0,001 a  $1,45 \text{ mm}^3/\text{l}$ , os maiores registros foram próximos ao fundo. Os máximos celulares ocorreram nos períodos de mistura da coluna d'água (maio a agosto) e na primavera (setembro e outubro). O máximo registrado foi em setembro de 2001. As espécies de diatomáceas cêntricas mais importantes foram *Aulacoseira ambigua* var *ambigua* (Grunow) Simonsen (abundante nos meses de mistura, maio a agosto), *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt e *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer, ambas abundantes após período de mistura, nos meses de setembro e outubro (Figura 10).

**Figura 9.** Variações temporais do biovolume ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) e porcentagem de biovolume total nas 06 profundidades amostradas dos principais grupos do fitoplâncton no Reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. (Outros = Crysophyta e Euglenophyta)

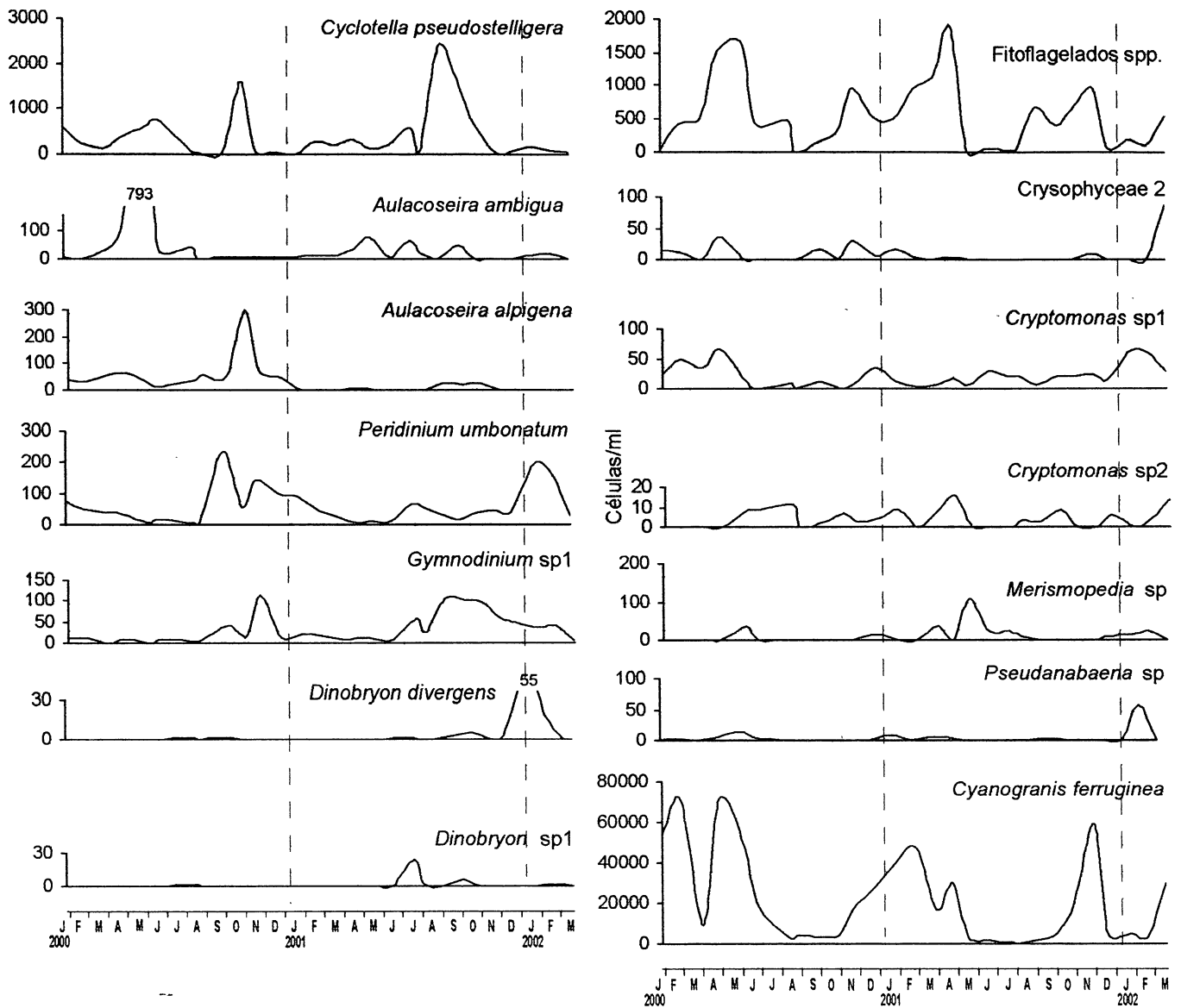


As **Chlorophyta** apresentaram o maior número de espécies (40 espécies - ver apêndice 1) dentre todas as divisões encontradas, mas tiveram pouca contribuição para o biovolume total, variando de 0,001 a 0,23 mm<sup>3</sup>/l. O biovolume mais elevado ocorreu em abril nos dois anos (0,19 e 0,23 mm<sup>3</sup>/l), dominando *Cosmarium sphagnicolum* West em 2000 e *Oocystis lacustris* Chodat que dominou entre as clorófitas de março a agosto de 2001. As densidades celulares mais elevadas ocorreram principalmente nos períodos de estratificação vertical, dominando as algas coloniais mucilaginosas. Um máximo de 6.164 céls/ml foi registrado em fevereiro de 2000, devido ao aumento de *Elakatotrix gelatinosa* Wille (5.755 céls/ml), que influenciou no aumento do biovolume (0,17 mm<sup>3</sup>/l). Outros máximos, porém mais discretos, foram 1.927 céls/ml em março de 2001 e 703 céls/ml em janeiro de 2002, devido a ocorrência de *Oocystis lacustris* e *Eutetramorus fottii* (Hindák) Komárek (Figura 10 - valores absolutos referem-se a média das 6 profundidades).

A contribuição de biovolume de **Cyanophyta** para o fitoplâncton foi reduzida, variando de 0 a 0,22 mm<sup>3</sup>/l. Entretanto, quando se considera a densidade, sua contribuição foi a maior registrada durante todo o estudo, variando de 224 a 122.550 céls/ml, basicamente células de *Cyanogranis ferruginea*, com maior abundância nos meses de janeiro, fevereiro e abril.

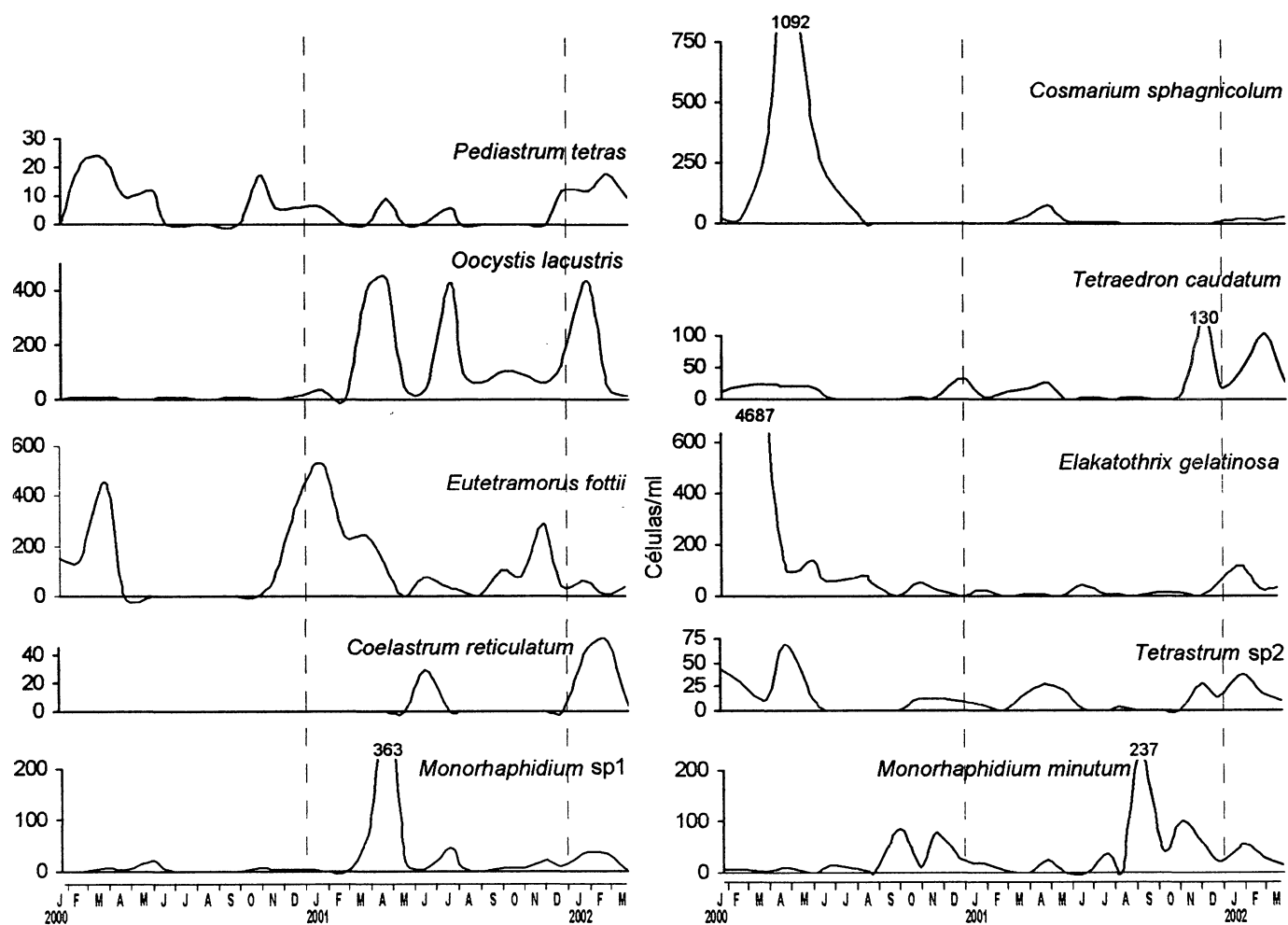
A contribuição para o fitoplâncton de biovolume e densidade de **Cryptophyta** e do grupo “**Outros**” foi reduzida. As Cryptophyta (*Cryptomonas* spp) tiveram maior densidade (108 céls/ml) e biomassa (0,07 mm<sup>3</sup>/l) durante os períodos de estratificação térmica. No grupo “Outros” dominaram crisófitas, principalmente espécies nanoflagelados não identificados (5-10 µm) que foram mais abundantes, com máximo de 2.331 céls/ml, nos meses que antecedem a circulação da água do reservatório. As Euglenophyta ocorreram em concentrações muito reduzidas.

**Figura 10.** Média das 6 profundidades da distribuição sazonal das espécies mais abundantes em densidade (célis/ml), no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. Note que as escalas NÃO são iguais.





**Figura 10. (Continuação)** Média das 6 profundidades da distribuição sazonal das espécies mais abundantes em densidade (célis/ml) no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. Note que as escalas NÃO são iguais.



(Este item faz parte de um trabalho a ser publicado sobre esta espécie).

#### **4.3.3.2 *Aulacoseira ambigua***

##### **4.3.3.2.a) Características morfológicas da espécie**

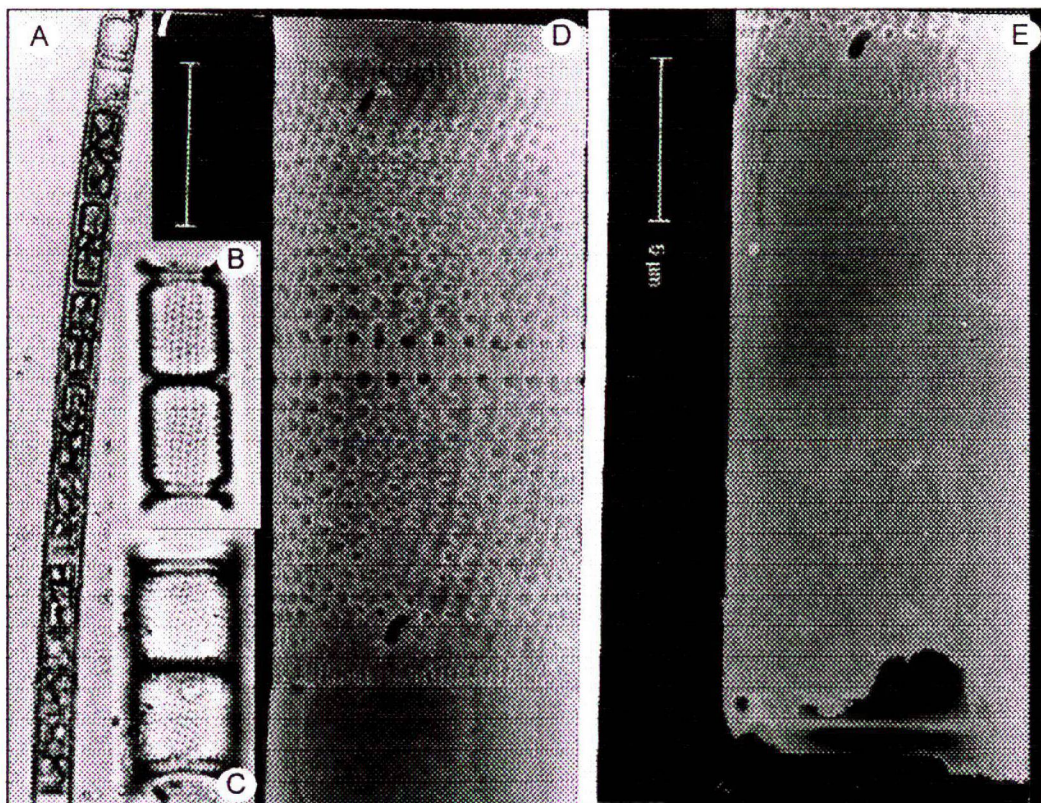
As cadeias de *Aulacoseira ambigua* apresentaram 15-28 células por colônia. As dimensões das células variaram de 8,7 a 19,44  $\mu\text{m}$  de diâmetro valvar (média de 12  $\mu\text{m}$ ) e 21,6 a 32,4  $\mu\text{m}$  de eixo perivalvar (média de 27,5  $\mu\text{m}$ ), entre as 492 células medidas durante as contagens.

As principais características diagnósticas são as valvas providas de espinhos marginais bifurcados, uma rimopórtula na borda do manto, abrindo-se externamente através de um orifício evidente e alongado, aréolas formando fileiras sinuosas e presença de canal circular circundando toda a borda do manto (Figura 11).

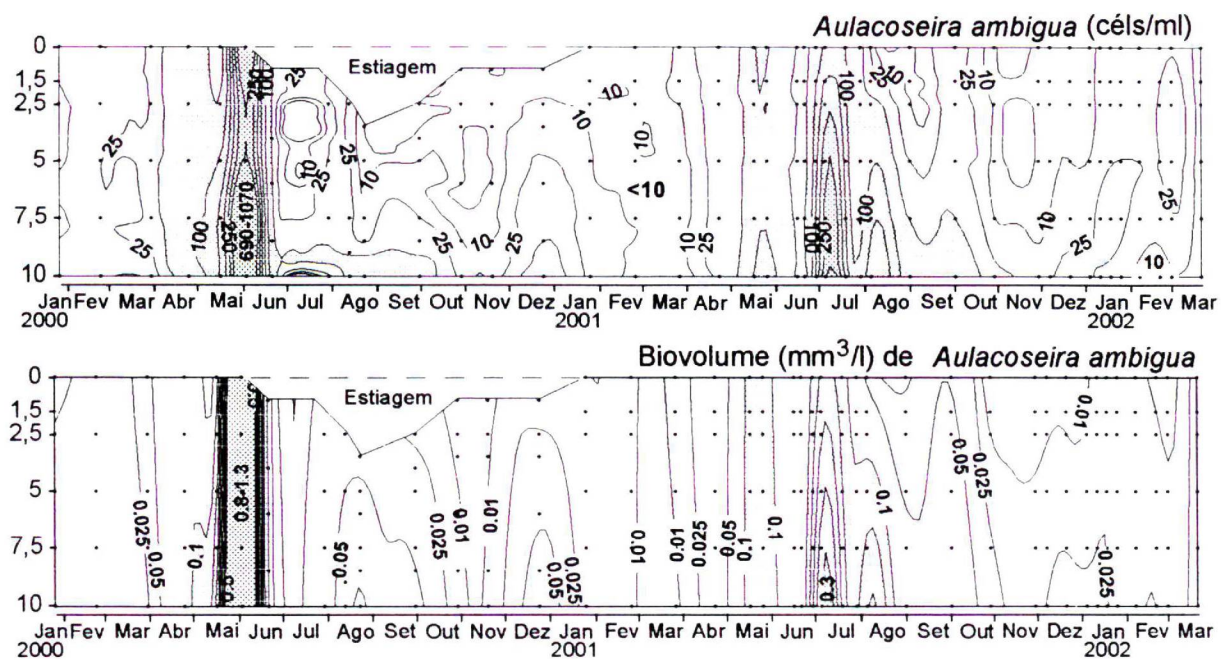
##### **4.3.3.2.b) Variação anual da densidade e biovolume de *Aulacoseira ambigua***

A variação anual de *A. ambigua* (Figura 12) apresentou picos anuais nos períodos de mistura (maio a agosto). Em 2000, os máximos foram maiores, iniciando-se em maio e estendendo-se até final de junho, as concentrações variaram de 19 a 1071 céls/ml (máximo no início de junho). Nos meses seguintes, ou seja, julho a setembro, concentrações acima de 50 céls/ml foram observadas no fundo do reservatório. Em 2001, o crescimento ocorreu de forma mais discreta iniciando-se em junho até início de agosto, com densidades variando de 45 a 354 céls/ml (máximo em julho). Nos meses de menor crescimento as concentrações foram menores do que 50 céls/ml e, freqüentemente, maiores próximo ao fundo. O biovolume estimado (Figura 12) acompanhou a variação sazonal descrita para as densidades, máximo de 1,3  $\text{mm}^3/\text{l}$  em junho de 2000 e 0,43  $\text{mm}^3/\text{l}$  em julho de 2001.

**Figura 11 .** *Aulacoseira ambigua*, Reservatório Piraquara I; **A-C**, m.o.; **D-E**, m.e.v. **A.** Cadeia de células, preservadas em lugol. **B e C.** Frústulas mostrando as fileiras de aréolas em curvas. **D.** Vista externa, mostrando as fileiras de aréolas e os espinhos de conexão entre as valvas. Note abertura alongada da rimopórtula na borda do manto. **E.** Cíngulo. Na base do cíngulo, note tubo marginal oco na margem do manto.



**Figura 12.** Distribuições vertical e sazonal de densidade (cél/ml) e biovolume ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) da diatomeia *Aulacoseira ambigua* var. *ambigua* f. *ambigua*, no reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002.



#### 4.3.4 Variação temporal de biovolume do fitoplâncton

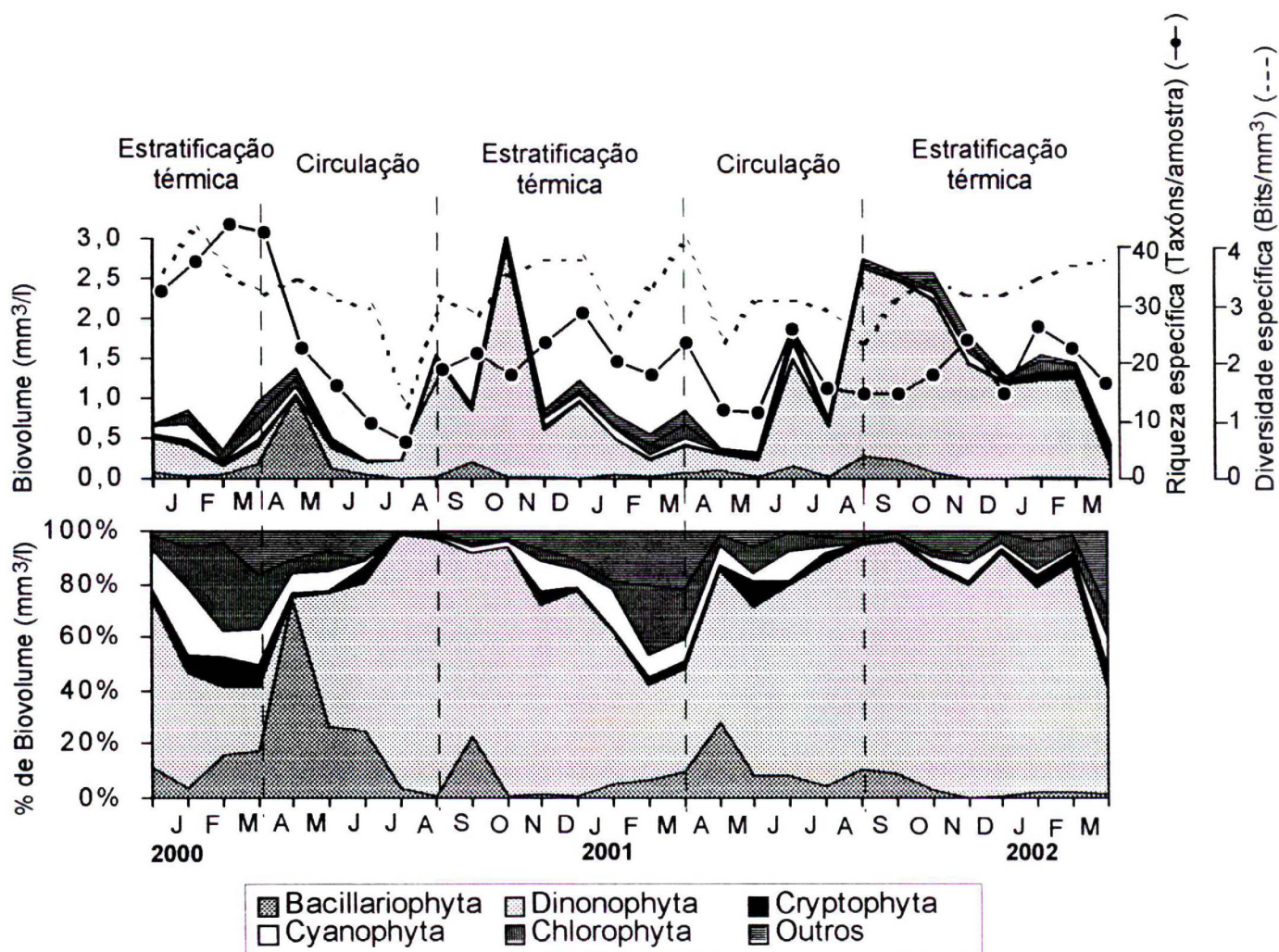
Os resultados a seguir referem-se aos dados de superfície. As *Dynophyta* dominaram a biomassa fitoplanctônica (Figura 13). Os máximos foram registrados durante a primavera (setembro-outubro) contribuindo com 69 a 96% do biovolume total. No início dos períodos de estratificação em novembro, os dinoflagelados ainda mantiveram elevada contribuição para o biovolume (superior a 90%), decaindo bastante até o final da estratificação em março (mínimo de 26%). A partir de dezembro até final de março ocorre aumento de *Chlorophyta* mucilaginosas (*Eutetramorus fottii*; *Elakatothrix gelatinosa*; *Tetraedron caudatum*; *Coelastrum reticulatum*; *Pediastrum tetras*, entre outras). Em maio e junho (períodos de mistura) as *Bacillariophyta* dominaram a biomassa, principalmente em 2000 (75%), depois novamente houve predomínio de *Dinophyta*.

Este padrão mostrou-se algo alterado quando se toma em consideração a densidade celular. A espécie mais abundante foi *Cyanogranis ferruginea* principalmente durante o período mais quente do ano, termicamente estratificado.

As espécies que apresentaram contribuição maior que 5% para o biovolume total em pelo menos 25% das amostras de superfície ao longo do estudo foram: *Gymnodinium* sp1; *Peridinium umbonatum*; *Aulacoseira ambigua*; *Cyanogranis ferruginea*; Fitoflagelado sp1 (crisófito < 10 µm); *Cyclotella pseudostelligera*; e *Cryptomonas* sp1 (ordenados em ordem decrescente de % de contribuição para o biovolume).

Quando se considera a densidade celular, apesar de algumas espécies serem recorrentes, outras espécies são melhor representadas. As espécies que contribuíram com mais do que 5% das densidades em pelo menos 25% das amostras de superfície foram: *Cyanogranis ferruginea*; Fitoflagelado sp1 (crisófito < 10 µm); *Cyclotella pseudostelligera*; *Elakatothrix gelatinosa*; *Eutetramorus fottii*; *Oocystis lacustris*; *Peridinium umbonatum*; Fitoflagelado sp2 (crisófito < 10 µm); *Gymnodinium* sp1; *Aulacoseira ambigua* (ordenados em ordem decrescente de % de contribuição para a densidade). Por outro lado, *Euglenophyta* e demais dinoflagelados e *Crysochyta* ocorreram em concentrações discretas (<5%).

**Figura 13.** Variação temporal do biovolume ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ), porcentagem de biovolume, riqueza (Táxons/amostra) e diversidade específica ( $\text{Bits}/\text{mm}^3$ ) na superfície, dos principais grupos do fitoplâncton no Reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002, (Outros = Crysophyta + Euglenophyta).



A riqueza de espécies apresentou valores mais elevados em dezembro a março (períodos de estratificação), com máximos de 30 a 34 táxons/amostra (Figura 13). O menor valor (9 táxons/amostra) foi observado em agosto de 2000, período de mistura.

A diversidade específica,  $H'$ , (Figura 13) apresentou flutuações ao longo dos meses amostrados, variando de 0,4 a 3,5 bits/mm<sup>3</sup>, apresentando tendência a ser mais elevados nos meses de janeiro a março (períodos de estratificação).

Os resultados mostrados a seguir foram divididos em períodos delimitados com base nos picos de fitoplâncton, nas espécies abundantes e nos eventos de estratificação ou circulação da coluna de água.

**Tabela 4** - Média da densidade, biovolume, riqueza e diversidade específica na superfície do Reservatório Piraquara I de janeiro de 2000 a março de 2002. (mínimo - máximo)

	Densidade (cél/ml)	Biovolume (mm <sup>3</sup> /l)	Riqueza específica	Diversidade (bits/mm <sup>3</sup> )
Estratificação (2000)	3319 (1737-5997)	0,64 (0,36-0,86)	30 (28-34)	3,0 (2,5-3,5)
Circulação (2000)	1943 (153-3849)	0,66 (0,22-1,38)	22 (09-27)	1,7 (0,7-3,3)
Estratificação (2000/01)	1790 (505-3042)	1,28 (0,54-3,06)	26 (20-30)	1,5 (0,4-2,4)
Circulação (2001)	1581 (539-2097)	0,82 (0,32-1,84)	24 (18-32)	1,4 (0,9-2,0)
Estratificação (2001/02)	1870 (626-3620)	1,80 (0,46-2,76)	26 (18-30)	1,4 (1,1-2,0)

### Estratificação (2000)

O primeiro período de estratificação (janeiro a março de 2000) caracterizou-se por apresentar os menores biovolumes médios e mais homoganeamente distribuídos ao longo do período (Tabela 4). As Dinophyta dominaram o fitoplâncton em termos de biovolume (44%) representadas por *Gymnodinium* sp1 e *Peridinium umbonatum*, seguindo-se Chlorophyta (18 %) compostas principalmente por *Elakatothrix gelatinoša* (5%), e Cyanophyta (17%), essencialmente *Cyanogranis ferruginea* (Tabela 5). Este padrão mostrou-se algo alterado quando se toma em consideração a % de densidade celular (Tabela 6). Considerando % de densidade (excetuando *Cyanonagris ferrugineae* com média de 84% da densidade da amostra), quando predominaram as clorófitas mucilaginosas *Elakatotrix gelatinosa* e *Eutetramorus fottii*, (50; 10%, respectivamente) e a diatomácea cêntrica *Cyclotella pseudostelligera* (15%). A densidade média (3.319 células/ml), diversidade específica (até 3,5 bits/mm<sup>3</sup>) e a riqueza em espécies (até 34 espécies/amostra) foram elevadas, as maiores entre os 5 períodos de estratificação e circulação.

### **Circulação (2000)**

O primeiro período de circulação (abril a agosto de 2000) apresentou baixo biovolume médio (Tabela 4 e Figura 13). A grande contribuição para o biovolume total (Tabela 5) foi de Dinophyta e Bacillariophyta (média do período de 45 e 30%, respectivamente). No início de junho de 2000, 75% da amostra foi representada por *Aulacoseira ambigua*, e Dinophyta praticamente desapareceram (1%). Outra espécie importante no início do período foi *Cosmarium sphagnicolum* (20%), também apresentando redução gradativa até agosto. Considerando % de densidade (excetuando *Cyanonagris ferrugineae*) o predomínio foi de Crysophyta nanoflageladas (30%) e Bacillariophyta, principalmente *Cyclotella pseudostelligera*, *Aulacoseira alpigena* e *A. ambigua* (21, 10 e 6%, respectivamente). Neste período foi registrado a menor densidade (153 céls/ml). O fim desse período apresentou o menor biovolume e riqueza de todo o estudo (0,22 mm<sup>3</sup>/l e 9 táxons/amostra).

### **Estratificação (2000/01)**

O biovolume médio para o segundo período de estratificação (setembro de 2000 a março de 2001) foi elevado quando comparado com os outros períodos (Tabela 4). O biovolume ao longo deste período apresentou grande flutuação (Tabela 4), a maior registrada de todo estudo. Os Dinophyta (Tabela 5) dominaram o biovolume total (71%). No início do período as Bacillariophyta contribuíram com 22% para o biovolume total, *Cyclotella pseudostelligera* foi a espécie mais abundante, e no final deste período (fevereiro/março) as Chlorophyta e Crysophyta foram expressivas, contribuindo com 26 e 20% para o biovolume total, respectivamente. Considerando % de densidade (excluindo *Cyanonagris ferrugineae*) o domínio é de Crysophyta nanoflageladas durante todo o período (38%) e de clorófitas mucilaginosas (21%) que foram mais abundantes a partir de dezembro de 2000, destacando-se *Eutetramorus fottii*, *Monoraphidium minutum*, *Oocystis lacustris* e *Tetrastrum* sp2. As Bacillariophyta (15%) foram mais abundantes no início do período (setembro a novembro) representadas por *Cyclotella pseudostelligera* (contribuiu com 67% em outubro de 2000) e *Aulacoseira alpigena*. *Peridinium umbonatum* contribuiu com 10% da densidade neste período, com máximo de 46% em setembro de 2000.



### **Circulação (2001)**

O segundo período de circulação (abril a agosto de 2001) apresentou biovolume médio intermediário (Tabela 4). Ao longo deste período Dinophyta (Tabela 5) foi o grupo mais representativo para o biovolume total (63%). No início deste período Chlorophyta e Crysophyta mantiveram elevada contribuição (18 e 21% para o biovolume total, respectivamente). Em maio de 2001, *Aulacoseira ambigua* apresentou crescimento intensivo (28% para o biovolume total), porém, menos pronunciado que na circulação do ano anterior. Foi o período com menor densidade média (1581 céls/ml). Considerando a % de densidade (excluindo *Cyanonagris ferrugineae*), o domínio foi da diatomácea *Cyclotella pseudostelligera* durante todo o período (19,4%) e *A. ambigua* apresentou elevado pico (13%) em maio de 2001 e média do período de 4,2%. Também foram abundantes neste período a clorófitas *Oocystis lacustris* (12,6%) e Fitoflagelado sp1 (11,2%). Em % de densidade dinoflagelados contribuíram com 5,4%.

### **Estratificação (2001/02)**

O biovolume médio para o terceiro período de estratificação (setembro de 2001 a março de 2002) foi o mais elevado (Tabela 4). No início do período em setembro e outubro de 2001 foram obtidos os maiores valores (2,57 a 2,76 a mm<sup>3</sup>/l). No restante do período o biovolume apresentou redução, variando de 0,46 a 1,8 mm<sup>3</sup>/l. Durante todo este período houve dominância de Dinophyta (Tabela 5) contribuindo, em média, com 78% para o biovolume total. Considerando a % de densidade (excluindo *Cyanonagris ferrugineae*), o domínio foi de *Cyclotella pseudostelligera* (média do período 24%) contribuiu com 67% em setembro e outubro de 2001. As Crysophyta nanoflageladas (Fitoflagelados sp1 e sp2) também foram abundantes (25%), com máxima contribuição no início e no fim do período (entre setembro e novembro de 2001 e março de 2002). As clorófitas mucilaginosas aumentaram de densidade a partir de novembro de 2001, as mais abundantes foram *Oocystis lacustris* (média do período, 8%) *Eutetramorus fottii* (4,6%), *Elakatothrix gelatinosa* (3%), *Monoraphidium minutum* (3%) e *Tetraedron caudatum* (3%).

**Tabela 5** - Contribuição relativa (%) para o biovolume total das principais espécies do fitoplâncton por período de estudo, na superfície do Reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. (Ass. - Associações segundo Reynolds *et al.*, 2002)

		Ass.			Ass.
Estratificação (2000)	23% <i>Gymnodinium</i> sp1	Lo	Circulação (2000)	37% <i>Gymnodinium</i> sp1	Lo
	20% <i>P. umbonatum</i>	Lo		22% <i>A. ambigua</i>	C
	16% <i>C. ferruginea</i>	Z		7% Fitoflagelado sp1	X <sub>2</sub>
	7% <i>Cryptomonas</i> sp1	Y		6% <i>C. pseudostelligera</i>	A
Estratificação (2000/01)	44% <i>Gymnodinium</i> sp1	Lo	Circulação (2001)	54% <i>Gymnodinium</i> sp1	Lo
	17% <i>P. umbonatum</i>	Lo		8% <i>P. umbonatum</i>	Lo
	7% <i>Gymnodinium</i> sp2	Lo		8% <i>A. ambigua</i>	C
	6% <i>C. ferruginea</i>	Z		5% Fitoflagelado sp1	X <sub>2</sub>
Estratificação (2001/02)	67% <i>Gymnodinium</i> sp1	Lo			
	11% <i>P. umbonatum</i>	Lo			
	3% <i>C. ferruginea</i>	Z			
	3% <i>C. pseudostelligera</i>	A			

**Tabela 6** - Contribuição relativa (%) para a densidade total das principais espécies do fitoplâncton (excetuando *Cyanogranis ferruginea*) por período de estudo, na superfície do Reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. (Ass. - Associações segundo Reynolds *et al.*, 2002)

		Ass.			Ass.
Estratificação (2000)	50% <i>E. gelatinosa</i>	F	Circulação (2000)	30% Fitoflagelado sp1	X <sub>2</sub>
	15% <i>C. pseudostelligera</i>	A		21% <i>C. pseudostelligera</i>	A
	10% <i>E. fottii</i>	F		11% <i>E. gelatinosa</i>	F
	5% <i>C. sphagnicolum</i>	N		11% <i>C. sphagnicolum</i>	N
Estratificação (2000/01)	31% Fitoflagelado sp1	X <sub>2</sub>	Circulação (2001)	19% <i>C. pseudostelligera</i>	A
	15% <i>C. pseudostelligera</i>	A		13% <i>O. lacustris</i>	F
	12% <i>E. fottii</i>	F		11% Fitoflagelado sp1	X <sub>2</sub>
	10% <i>P. umbonatum</i>	Lo		4% <i>A. ambigua</i>	C
Estratificação (2001/02)	24% <i>C. pseudostelligera</i>	A			
	18% Fitoflagelado sp1	X <sub>2</sub>			
	8% <i>O. lacustris</i>	F			
	7% Fitoflagelado sp2	X <sub>2</sub>			

As Tabelas 5 e 6 foram elaboradas para construir o quadro conceitual (Figura 14, Discussão) das espécies representativas do Reservatório Piraquara I. Os dois parâmetros (densidade e biovolume) foram utilizados para detectar espécies importantes em termos de biovolume (como *Gymnodinium* spp. e *Peridinium* spp.) mas não de densidade e vice-versa (como *Elakatothrix gelatinosa*, *Eutetramorus fottii*, *Tetraedron* sp, *Monorhaphidium* spp.).

Se compararmos as médias anuais, o biovolume foi menor em 2000 (0,96 mm<sup>3</sup>/l) que em 2001 (1,36 mm<sup>3</sup>/l), enquanto que a densidade celular, diversidade e riqueza específica foram maiores em 2000 (2.121 céls/ml; 1,84 bits/mm<sup>3</sup> e 25 táxons/amostra) que em 2001 (1.990 céls/ml; 1,48 bits/mm<sup>3</sup> e 24 táxons/amostra).

#### 4.3.5 Clorofila-a

A concentração de clorofila-a variou de 0,5 a 20  $\mu\text{g/l}$ , e geralmente situaram-se entre 3 e 9  $\mu\text{g/l}$  (Figura 05). As maiores concentrações foram observadas entre abril e junho em ambos os anos, coincidindo com o início dos períodos de circulação, e no início de setembro de 2001 também foi registrada concentração elevada (18,8  $\mu\text{g/l}$ ). Durante a estiagem, entre julho e setembro de 2000, as concentrações de clorofila-a foram baixas, variando de 0,5 a 1,4  $\mu\text{g/l}$ .

#### 4.3.6 Correlações

Considerando o biovolume total, biovolume de Bacillariophyta e de Dinophyta foram encontradas algumas correlações consistentes (Tabela 7), com variáveis abióticas.

O biovolume total esteve associado positivamente com velocidade média do vento, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, concentração de nitrato e, negativamente, com concentração de SRP, amônia e NID.

O grupo dos dinoflagelados esteve correlacionado positivamente com precipitação, velocidade média do vento, Zeu, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, concentração de nitrato, e, negativamente, com concentração de SRP, SRSi, amônia e NID. Cabe salientar que Dinophyta apresentou correlação positiva com as variáveis bióticas de biovolume, riqueza e diversidade da comunidade.

As diatomáceas apresentaram associação positiva com Zmix (profundidade da zona de mistura), pH, concentração de nitrato, amônia e NID, e negativa com radiação solar média, temperatura da água, condutividade elétrica. Bacillariophyta apresentou correlação positiva com clorofila e diversidade.

**Tabela 7** - Coeficiente de correlação de Spearman ( $r^2$ ) entre biovolume total, biovolume de Bacillariophyta e de Dinophyta com variáveis abióticas do reservatório Piraquara I, de janeiro de 2000 a março de 2002. Precipitação (Prec.), média da rajada de vento (Md. vento), Média da radiação solar (Md. rad.), zona eufótica (Zeu.), zona de mistura (Zmix.), temperatura da água (Temp.), pH, condutividade elétrica (Cond.), oxigênio dissolvido (OD), fósforo solúvel reativo (SRP), sílica solúvel reativa (SRSi), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), amônia ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), NID/SRP, Clorofila-a (Clor.), biovolume (Bio), riqueza (Riq) e diversidade (Div). Somente as correlações significativas ( $p \leq 0,05$ ) são mostradas.

	<b>Prec.</b> (n=27)	<b>Md. vento</b> (n=27)	<b>Md. rad.</b> (n=27)	<b>Zeu.</b> (n=28)	<b>Zmix.</b> (n=28)	<b>Temp.</b> (n=157)	<b>pH</b> (n=136)
Biovolume	-	0,44	-	-	-	0,26	0,31
Bacillariophyta	-	-	-0,36	-	0,37	-0,51	0,18
Dinophyta	0,46	-0,50	-	0,37	-	0,25	0,30
	<b>Cond.</b> (n=113)	<b>OD</b> (n=97)	<b>SRP</b> (n=152)	<b>SRSi</b> (n=155)	<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (n=141)	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (n=141)	<b>NID</b> (n=141)
Biovolume	-	0,51	-0,26	-	0,21	-0,55	-0,40
Bacillariophyta	-0,26	-	-	-	0,25	0,28	0,30
Dinophyta	-	0,46	-0,21	-0,17	0,35	-0,51	-0,34
	<b>NID/SRP</b> (n=141)	<b>Clor.</b> (n=150)	<b>Bio</b> (n=157)	<b>Riq</b> (n=157)	<b>Div</b> (n=157)		
Biovolume	-	0,48		0,32	0,55		
Bacillariophyta	0,29	0,37			0,16		
Dinophyta	-	-	0,78	0,17	0,25		

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Variações vertical e temporal das características físicas e químicas no reservatório

O Reservatório Piraquara I classifica-se como **monomítico quente** (Lewis, 1983 e 2000), caracterizando-se por um período de estratificação térmica e química de outubro/novembro a março, seguida de mistura total da coluna d'água de abril/maio a agosto sendo mais intensa em junho/julho (inverno). Estes dois eventos, além de influenciarem na distribuição e variação da comunidade fitoplanctônica (composição, densidade, biovolume, clorofila-a), implicam em alterações das condições físicas e químicas no reservatório. As variações de temperatura da água evidenciam a influência de condições climatológicas regionais: diferenças de temperatura atmosférica, precipitação e regimes de ventos a que o reservatório está vulnerável. Durante o inverno, os efeitos combinados da turbulência gerada pelos ventos, mais intensos nesta época, e a menor incidência de raios solares reduzem a temperatura favorecendo a mistura da coluna da água. No verão, o aumento da temperatura favorece a formação de termoclinas anuais.

A variação dos nutrientes foi resultante da interação de fatores externos (precipitação) e internos (consumo pelo fitoplâncton). Durante o período de estiagem não ocorreu aporte de fosfato, reduzindo a concentração na coluna d'água devido ao consumo pelo fitoplâncton. A escassez deste macronutriente posteriormente refletiu na queda da concentração de clorofila, aumentando a transparência da água e a profundidade da zona eufótica até o fundo do reservatório na estação de coleta. Como o aumento da concentração de fosfato no reservatório sofre influência direta da sua bacia de drenagem durante a maior precipitação pluviométrica, observou-se a elevação da concentração de fosfato, com o início das chuvas entre agosto a novembro de 2000. Em julho de 2000 a concentração de fosfato foi inferior a 2 µg/l passando para mais 6,5 µg/l em toda a coluna d'água no fim de outubro de 2000. Esta elevação de fosfato propiciou o aumento do biovolume do fitoplâncton, reflexo do crescimento dos dinoflagelados com células de grandes dimensões. No entanto, a clorofila-a não mostrou aumento significativo.

Paralelamente ao fosfato, o nitrogênio também é consumido pelo fitoplâncton, além de ser diluído na superfície nos períodos de maior precipitação. As menores

concentrações de nitrogênio ocorreram principalmente durante a estiagem em setembro e dezembro de 2000 e no período de estratificação de 2002 (novembro de 2001 a março de 2002). Nestes períodos o nitrogênio concentrou-se no fundo, principalmente na forma de amônia.

Cabe salientar que as concentrações de nutrientes em regiões tropicais e subtropicais são geralmente baixas quando comparadas com lagos de regiões temperadas, onde o metabolismo e a ciclagem de nutrientes são mais lentos (Esteves, 1988). As mesmas concentrações de nutrientes em regiões tropicais e subtropicais produzem em curto espaço de tempo mais biomassa que em lagos de regiões temperadas, onde a luz é o fator limitante (Pinto-Coelho, 1994). Além disso, os lagos de regiões tropicais apresentam maior eficiência no uso dos nutrientes, e são favorecidos por alta irradiação solar e temperatura, que mesmo no inverno não desacelera a produtividade, sendo esta contínua (Lewis, 2000).

As concentrações mais elevadas de silicato favoreceram o desenvolvimento das diatomáceas nos períodos de mistura, quando se observou redução da disponibilidade deste nutriente entre os meses de maio e junho, devido ao consumo. Em abril de 2000 a grande disponibilidade de silicato favoreceu o pico de crescimento de *Aulacoseira ambigua* observada em elevada densidade na coleta posterior no início de junho (período de mistura) onde ocorreu o consumo e redução da concentração de silicato em quase três vezes. No final do período de estiagem, outubro de 2000, e em setembro de 2001 o aumento das concentrações de silicato também parece ter propiciado o crescimento mais intensivo de *Cyclotella pseudostelligera* e *Aulacoseira alpigena*, esta principalmente em outubro. Segundo Muller (1977 In Esteves, 1998) a interrupção da floração de diatomáceas é causada pela deficiência de sílica e não de fosfato e nitrogênio.

O silicato pode tornar-se limitante quando as concentrações são inferiores a 200  $\mu\text{g/l}$  (Willen, 1991 In Agbeti *et al.*, 1997). No reservatório, concentrações entre 160 e 250  $\mu\text{g/l}$  só ocorreram após o crescimento intensivo de *A. ambigua* em junho e julho de 2001. Segundo estimativas a disponibilidade de 1000  $\mu\text{g/l}$  de SRSi pode suportar um crescimento de 12 a 13 mil céls/ml de *Asterionella* (Maberly *et al.*, 1994 In Reynolds, 1997). No reservatório concentrações semelhantes de silicato (941  $\mu\text{g/l}$ ) suportaram um máximo de 1.071 céls/ml de *Aulacoseira ambigua* no início de junho de 2000. Portanto, na maior parte deste estudo as concentrações de silicato não

limitaram o crescimento de diatomáceas, mas poderiam estar controlando o crescimento intensivo.

Em regiões tropicais a distribuição vertical de sílica parece estar mais relacionada com os períodos de mistura e estratificação, do que com as estações do ano (Esteves, 1998). No período de estratificação térmica ocorre acúmulo de sílica no hipolímnio e um empobrecimento no epilímnio (Esteves, 1998). No caso do reservatório Piraquara I a distribuição de silicato não apresenta padrão definido, no entanto, observou-se tendência a maior homogeneidade durante os períodos de mistura e concentrações mais elevadas na base do epilímnio durante alguns períodos de estratificação.

## 5.2 Fitoplâncton

A comunidade fitoplanctônica presente no reservatório caracterizou-se pela ocorrência de pulsos da diatomácea *Aulacoseira ambigua* durante os períodos de mistura (maio-julho) e pelo predomínio de clorófitas coloniais mucilaginosas não móveis como *Eutetramorus fottii*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Oocystis lacustris* e *Botryococcus braunii* nos períodos de estratificação térmica (dezembro a março). *Oocystis lacustris* também foi abundante nos curtos períodos de estratificação térmica de julho e agosto de 2001. A diatomácea cêntrica *Cyclotella pseudostelligera* foi abundante principalmente durante a primavera, podendo ter sido favorecida pelo aumento da zona de mistura. Também na primavera as Dinophyta (*Gymnodinium* sp e *Peridinium umbonatum*) tiveram importante contribuição no biovolume. Em regiões subtropicais, o crescimento de dinoflagelados é fortemente influenciado por chuvas e vento (Pollinger, 1986 *In* Pollinger, 1988), aparecendo em grande número no final do período de mistura, principalmente setembro e outubro (Pollinger, 1988), e comumente podem formar florações em lagos mesotróficos quentes (Lindström, 1991). Contrariando o encontrado no reservatório Piraquara I, em um reservatório oligotrófico raso do município de São Paulo, *Peridinium umbonatum* e *Peridinium gatunense* apresentaram melhor desenvolvimento em um período de evidente depleção de nutrientes, sugerindo melhor adaptação sob condições de oligotrofia (Rosa & Bicudo, 2001).

Entre as correlações obtidas, algumas concordaram com o esperado de acordo com a literatura, e outras não. As variáveis químicas mostraram sempre

menos concordância com o esperado na literatura do que as variáveis físicas (Huszar & Caraco, 1998). Por exemplo, o biovolume total e dinoflagelados foram relacionados negativamente com o fósforo solúvel reativo. Provavelmente, as algas utilizaram o fósforo reativo da água para seu crescimento, diminuindo a concentração deste nutriente na coluna d'água. Os dinoflagelados também estiveram negativamente associados a amônia e NID, o que poderia ser resultado do aumento de outras algas como clorófitas e crisófitas (Sanderson & Frost, 1996). Os dinoflagelados apresentaram baixa relação celular de superfície/volume, pois são espécies de grandes dimensões adaptadas a crescerem lentamente, migrando e estocando nutrientes. Os dinoflagelados também são dependentes de nitrogênio e fósforo, porém sofrem desvantagens em relação a outros grupos do fitoplâncton quando estes elementos tornam-se disponíveis, pois apresentam menor taxa de crescimento. Sua capacidade de armazenar fósforo, entretanto, lhes permite dividir ainda 2 a 3 vezes, mesmo após a depleção daquele nutriente, enquanto que o restante da comunidade fitoplanctônica já sofre limitação (Pollinger, 1988). A combinação da capacidade de armazenar fósforo, migração vertical e o longo tempo de geração confere uma forte vantagem sobre condições extremas de depleção de nutrientes (Pollinger, 1988). Eles apareceram depois do período de mistura, na primavera, com maior densidade no final destes períodos quando a concentração de nutrientes, principalmente fósforo, era mais baixa. Os dinoflagelados preferem períodos de ventos menos freqüentes, já que necessitam apenas de curtos períodos de turbulência para ressuspender os cistos (formados no verão) que serão o inóculo inicial do desenvolvimento da população (Pollinger, 1988). No caso do Piraquara I, os dinoflagelados se desenvolveram melhor sob as condições intermediárias de primavera, ou seja, elevação da temperatura e da radiação solar, início do processo de estratificação e baixa concentração de nutrientes que haviam sido consumidos durante o outono/inverno, além da menor pluviosidade em relação ao verão.

No inverno, a redução de temperatura e mistura da coluna d'água favoreceram a ressuspensão das diatomáceas e seu crescimento, principalmente de *Aulacoseira ambigua*. As correlações negativas obtidas entre diatomáceas e radiação solar e temperatura da água, assim como as correlações positivas entre diatomáceas e aumento da zona de mistura corroboram as características apresentadas por *A. ambigua* (ver mais detalhes em *Aulacoseira ambigua* a seguir).



Apesar de aumentar a circulação de nutrientes neste período, a temperatura mais baixa da água associada à menor intensidade luminosa pode ser o fator limitante para algumas espécies do fitoplâncton (Calijuri & Santos, 1996; Calijuri & Tundisi, 1990; Domitrovic *et al.*, 1998; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1984, 1994), especialmente as clorófitas coloniais e crisófitas (Tilman *et al.*, 1986). As clorófitas são incapazes de competir com as diatomáceas devido ao maior tempo que passam no escuro (Calijuri *et al.*, 1999). As taxas de crescimento das clorófitas dependem do seu tempo de residência na zona eufótica (Haphey-Wood, 1988). As clorófitas coloniais providas de mucilagem são adaptadas a crescer em ambientes termicamente estratificados (Esteves, 1998; Haphey-Wood, 1988). Elas apresentam formas, ornamentações e mucilagem que ampliam a relação superfície/volume, melhorando a sua capacidade de flutuação e/ou reduzindo a perda por sedimentação (Wetzel, 1993).

No reservatório, a riqueza e diversidade específica corroboram com os dados obtidos para a distribuição da comunidade fitoplanctônica. Os maiores valores de riqueza e diversidade específica (34 espécies e 3,5 bits/mm<sup>3</sup>) foram obtidos nos meses de janeiro a março quando várias espécies de clorófitas mucilaginosas e/ou coloniais marcaram presença. As clorófitas (Chlorococcales) constituem o grupo que apresenta a maior riqueza de espécies nos lagos e reservatórios do Brasil (Huszar, 1989 e 1994; Dias Júnior, 1991 *In* Calijuri *et al.*, 1999). Por outro lado, no inverno, principalmente junho e julho, os reduzidos valores de riqueza e diversidade específica (9 espécies e 0,4 bits/mm<sup>3</sup>) foram devidos a dominância nas amostras de *A. ambigua* e às condições ambientais mais extremas para a maioria das espécies do fitoplâncton.

### **5.2.1 *Aulacoseira ambigua***

Observou-se a ocorrência de dois pulsos de densidade nítidos de *A. ambigua*, ou seja, períodos alternantes de baixas e altas densidades sem um período mais prolongado marcado por concentrações elevadas. Dois fatores ambientais pareceram ser responsáveis por estes pulsos de biomassa de *Aulacoseira ambigua* observados: (i) os ventos intensos de quadrante sul gerados por massas polares antárticas (as "frentes frias") no outono e inverno e associados à (ii) redução de temperatura da água, ambos conduzindo à circulação da água no reservatório. Em

conjunto, estes fatores devem ter causado ressuspensão das células de *A. ambigua* depositadas no fundo, paralelamente à disponibilização de nutrientes regenerados no hipolimnion, especialmente silicato. É possível que estes pulsos resultem do rápido consumo de sílica durante os picos de crescimento, seguindo-se de depleção do nutriente e conseqüente inibição de crescimento ou morte das células; e/ou do curto efeito da turbulência gerada pelos ventos, seguindo-se uma rápida sedimentação das células. Alternância semelhante foi observada em lagos de regiões temperadas, embora os fatores causais deste padrão sejam controvertidos na literatura (Paasche, 1980; Sommer, 1981; 1983; Sommer & Stabel, 1983; Trifonova, 1993; Zhang & Prepas, 1996), ou seja, quais dos fatores seguintes seriam preponderantes para determinar a intensidade da floração: variações interanuais de sílica, intensidade e duração da circulação ou estado fisiológico das células. A intensidade destes processos deve determinar ainda as taxas de produção primária e a biomassa algal, afetando significativamente a comunidade fitoplanctônica, pois elevados valores de clorofila-a foram observados durante os picos de *A. ambigua* no inverno. Além disso, a densidade e biovolume de fitoplâncton revelaram que mais de 80 e 60%, respectivamente, do fitoplâncton eram células de *A. ambigua*, mostrando sua importante contribuição para o ecossistema do reservatório neste período. Alguns estudos têm demonstrado que espécies de *Aulacoseira* respondem rapidamente ao aporte de nutrientes no sistema mesmo sob baixa temperatura, além de saturar a fotossíntese sob baixas intensidades luminosas (Reynolds, 1987 *In* Nogueira, 2000; Reynolds, 1984 e 1994; Sommer, 1981 e 1988). Estas condições ambientais ocorrem durante o período de inverno, conferindo importante vantagem competitiva à *Aulacoseira* em relação às outras espécies do reservatório, por sua vez melhor adaptadas às condições mais estáveis do verão. As células de *Aulacoseira* podem adaptar-se rapidamente a mudanças nas condições de luz, durante a circulação da coluna d'água, promovendo a passagem intermitente das células através de diferentes gradientes de luz na zona eufótica (Nogueira, 2000). As células de *Aulacoseira* podem ser caracterizadas por tamanho da colônia relativamente grande, com forma alongada, o que confere razão superfície/volume elevada, além de apresentarem eficiente antena receptora de luz (Reynolds, 1994). Outra importante estratégia adaptativa de *Aulacoseira* é o aumento de clorofila e pigmentos acessórios por unidade de célula (Reynolds, 1987 *In* Nogueira).

O transporte das células de *A. ambigua* foi bem caracterizado, apresentando o padrão descrito a seguir. Antes da fase de crescimento intensivo poucas células foram detectadas na coluna de água e, como é típico da maioria das espécies do gênero *Aulacoseira* (Margalef, 1983; Moustaka-Gouni, 1993; Nogueira, 2000; Reynolds, 1994), deveriam estar depositadas no sedimento na forma de células de resistência. No início da floração, rapidamente as células foram ressuspensas para a coluna d'água, aí permanecendo por aproximadamente 30-40 dias. Com a redução da temperatura, intensidade dos ventos e da ressuspensão de silicato, as cadeias sedimentaram e concentraram-se no fundo nos meses subseqüentes (julho a setembro). Nos meses seguintes, poucas células foram detectadas, provavelmente devido ao seu depósito no sedimento. Outro aspecto que merece atenção é o aumento significativo de clorofila-a durante o período de crescimento de *A. ambigua*. Contrariamente ao observado em outros reservatórios, os valores foram elevados, mostrando a importância da espécie durante o outono/inverno pelo menos em lagos monomíticos quentes de regiões subtropicais.

### 5.3 Grupos Funcionais

Para a discussão dos grupos funcionais de acordo com a proposta de Reynolds *et al.* (2002), utilizaram-se somente as espécies com biovolume  $\geq 1\%$  e ou densidade  $\geq 5\%$  do total (exceto *Cyanogranis ferrugineae*). A partir destes critérios, nove associações foram encontradas, as quais são descritas a seguir utilizando as espécies presentes no reservatório, bem como comparando com o esquema proposto por Reynolds *et al.* (2002). A maioria das espécies foi relacionada com grupos funcionais típicos de ambientes oligo-mesotróficos. Algumas espécies abundantes não estavam no esquema proposto por Reynolds *et al.* (2002) e foram tentativamente incluídas nos grupos funcionais de acordo com suas características morfológicas e/ou ambientais, detalhadas mais abaixo.

*Eutetramorus fottii* e *Elakatothrix gelatinosa*, clorófitas coloniais mucilaginosas imóveis, foram abundantes nos períodos de estratificação térmica no verão. Estas espécies foram incluídas no grupo funcional **F**, constituído por *Oocystis lacustris* e *Botryococcus braunii*, que apresentam as mesmas características morfológicas. *E. fottii* já havia sido proposta para o grupo **F** por Kruk *et al.* (2002). No reservatório Piraquara I *Oocystis lacustris* apresentou tolerância a mistura. Apesar do grupo **F** ser

melhor representado em ambientes estáveis, as espécies podem ser tolerantes à mistura (Reynolds *et al.*, 2002). Por outro lado, Kruk *et al.* (2002) incluíram a espécie no grupo J (sua Tabela III), embora a discussão dos autores dê a entender que ela está no F (Kruk *et al.*, página 907). Esta espécie foi abundante em abril e julho de 2001, meses marcados por isotermia na coluna de água. Entretanto, nos dias anteriores à coleta foram registrados períodos de tempo ensolarado, com temperatura em elevação e baixa intensidade de ventos. Estas condições climáticas conduzem a absorção de calor estabilizando a coluna d'água e formando termoclina secundária sobre a zona de mistura (Lewis, 2000), que pode ter favorecido *O. lacustris*. Outro estudo sugeriu que *O. lacustris* é uma espécie rapidamente selecionada com aumento da intensidade e frequência da mistura no epilímnio, podendo tornar-se abundante (Chorus & Schlag, 1993).

*Gymnodinium* sp e *Peridinium umbonatum* foram mais abundantes na primavera (setembro a novembro de 2000 e 2001). Estas espécies foram incluídas ao grupo Lo, constituído originalmente por *Peridinium* associados a ambiente mesotrófico estratificado, e corroborando o procedimento de Reynolds *et al.* (2002) e Kruk *et al.* (2002). *Cyclotella pseudostelligera* esteve presente durante todo o estudo, com maior abundância na primavera, dificultando associá-la ao grupo D, conforme sugerido por Reynolds *et al.* (2002) (composto por espécies sensíveis a depleção de nutrientes). Neste estudo esta espécie parece estar mais próxima ao grupo A, cujas algas apresentam tolerância a baixas concentrações de nutrientes e típicas de ambientes deficientes em fósforo. *A. ambigua* é comumente associada ao grupo C, indicador de ambientes eutróficos ricos em fósforo, dependente de ressuspensão pela turbulência e da disponibilidade de sílica. Estas características eutróficas da espécie também foram encontradas por outros autores (Kling, 1998 para o lago Winnipeg, Canadá). Sugere-se a ampliação do espectro trófico de *A. ambigua* para incluir lagos/reservatórios mesotróficos, pelo menos quando se tratar de ambientes subtropicais. A espécie *A. ambigua* poderia ser alocada em ambos os grupos funcionais C e B, preferencialmente com *A. subarctica* e *A. islandica* (veja Reynolds *et al.*, 2002). Outras referências indicam que *A. ambigua* também é abundante ou dominante em lagos mesotróficos temperados (Agbeti *et al.*, 1997; Pan, 1997) e subtropicais (Bradbury, 2000). No Paraná, outra espécie comum de *Aulacoseira* é a *A. granulata*. Esta espécie é encontrada no reservatório de Caxias

de condições mesotróficas (Szawka, 2001) e no reservatório do Iraí (Lagos *et al.*, 2002) e Passaúna (Fernandes & Brandini, 2002), ambos de condições eutróficas.

A cianobactéria *Cyanogranis ferruginea*, notadamente mais abundante durante a estratificação térmica e nos períodos de maior radiação solar do verão, foi tentativamente incluída na associação **Z**, composta por procariontes picoplanctônicos (células <2µm), tolerantes a baixas concentrações de nutrientes e sensíveis a deficiência de luz.

Em conclusão, baseado no dois anos de estudo, observou-se uma sequência recorrente dos grupos do fitoplâncton. Os grupos funcionais **F** e **Z** (*Eutetramorus fottii*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Botryococcus braunii*, *Oocystis lacustris* e *Cyanogranis ferruginea*) caracterizaram o fitoplâncton no verão durante a estratificação térmica além do grupo **Y** (*Cryptomonas* sp1, sp2 e sp3). Os grupos **N** e **X<sub>2</sub>** (*Cosmarium sphagnicolum* e fitoflagelados, especialmente crisófitas) caracterizaram os períodos que antecedem a mistura da coluna d'água. O período de mistura foi caracterizado pelo grupo **B** (*A. ambigua*). Os grupos **A**, **L<sub>0</sub>** e **X<sub>1</sub>** (*Cyclotella pseudostelligera*, *Gymnodinium* sp, *P. umbonatum* e *Monoraphidium minutum*) caracterizaram os períodos que antecedem a estratificação (primavera). Melo & Huszar (2000 *In Reynolds et al.*, 2002) também observaram em região tropical o grupo **A** ocorrendo junto com *P. umbonatum* (grupo **L<sub>0</sub>**) num lago amazônico.

Utilizando a terminologia de Reynolds (1988) foram identificados os 3 tipos diferentes de estratégias de crescimento (**C**, **S** e **R**). Em geral, os estrategistas **S** representados por dinoflagelados (*Gymnodinium* e *Peridinium*) dominaram o biovolume, especialmente entre setembro e novembro. Durante os meses mais quentes do ano dominaram **CS** estrategistas, compostos por clorófitas mucilaginosas e ou coloniais. Durante os períodos de maior turbulência (período de mistura) dominaram os estrategistas **R**, como *A. ambigua* e, secundariamente *C. pseudostelligera*. Os **C** estrategistas, representados por células pequenas com elevada relação superfície/volume tais como nanoflagelados (crisófitas) que foram mais abundantes antes da circulação.

#### 5.4 Quadro conceitual sintetizando a sucessão do fitoplâncton

Embora algumas espécies importantes tenham variado de um ano para o outro, a morfologia funcional e os grupos funcionais foram preservados. A partir do quadro conceitual da Figura 14 na associação de verão nota-se que a clorófito *Elakatothrix gelatinosa* foi substituída no ano seguinte por *Oocystis lacustris*, *Coelastrum reticulatum* e *Tetraedron caudatum* (Figura 10). Por outro lado, as espécies *Eutetramorus fottii* e *Pediastrum tetras* foram recorrentes. Note como as morfologias colonial e/ou mucilaginosas imóveis foram preservadas. Na associação de outono/inverno e inverno não ocorreram alterações, apenas diferenças interanuais de densidade de *Cosmarium sphagnicolum* e *Aulacoseira ambigua* devido ao menor aporte de sílica de 2000 para 2001, como discutido anteriormente. Os dinoflagelados, representativos da associação de primavera, foram recorrentes interanualmente, mas *Aulacoseira alpigena* ocorreu em grande densidade apenas no ano de 2000, e foi “substituída” por *Monoraphidium minutum*, de um ano para o outro. Note que as densidades de *Aulacoseira alpigena* e *Monoraphidium minutum* variaram de um ano para o outro, mas ambas foram abundantes na primavera. Apesar da densidade dos fitoflagelados (crisófitas < 10 µm) oscilarem grandemente, os picos anuais foram mantidos em períodos similares. Estes resultados mostram a importância de coletas durante pelo menos dois anos, pois elas tornam as interpretações sobre a variabilidade sazonal do fitoplâncton mais confiáveis e passíveis de validação para futuros trabalhos revisionais sobre o fitoplâncton das regiões subtropicais do hemisfério sul.

**Figura 14.** Quadro conceitual do reservatório mesotrófico monomítico quente Piraquara I sintetizando a sucessão do fitoplâncton, estratégias dominantes e grupos funcionais, para o período estudado de janeiro de 2000 a março de 2002.

VERÃO (Dezembro-Fevereiro) Estratificação térmica	OUTONO-INVERNO (Maio-Junho) Circulação	INVERNO-PRIMAVERA (Julho-Setembro) Circulação	PRIMAVERA (Outubro-Novembro) Início Estratificação
Clorófitas coloniais imóveis e/ou mucilaginosas Grupos F; Z; Y e J C/CS estrategistas <i>Eutetramorus fottii</i> (F) <i>Elakatothrix gelatinosa</i> (F) <i>Botryococcus braunii</i> (F) <i>Oocystis lacustris</i> (F)*** <i>Cyanogranis ferruginea</i> (Z) <i>Cryptomonas</i> sp1 e sp2 (Y) <i>Pediastrum tetras</i> (J) <i>Tetraedron caudatum</i> (J)	Diatomáceas e Crisófitas  Grupos B; X <sub>2</sub> e N R estrategistas <i>Aulacoseira ambigua</i> (B?)* Crisófitas (fitoflagelados) (X <sub>2</sub> ) <i>Cosmarium sphagnicolum</i> (N)	Diatomáceas  Grupos B e A R estrategistas <i>Aulacoseira ambigua</i> (B?)* (↓) <i>Cyclotella pseudostelligera</i> (A?)** (↓)	Dinoflagelados e Diatomáceas  Grupos L <sub>0</sub> , A e X <sub>1</sub> S estrategistas <i>Peridinium umbonatum</i> (L <sub>0</sub> ) <i>Gymnodinium</i> sp. (L <sub>0</sub> ) <i>Cyclotella pseudostelligera</i> (A?)** <i>Aulacoseira alpigena</i> (A?) <i>Monorhaphidium minutum</i> (X <sub>1</sub> )

(↓) Importante, mas em menor densidade e/ou biovolume do que em outros períodos;

(?) Tentativamente incluída neste grupo;

\* Reynolds *et al.* (2002) incluíram a espécie no grupo C (lagos eutrofizados);

\*\* Reynolds *et al.* (2002) incluíram a espécie no grupo D (lagos enriquecidos em nutrientes);

\*\*\* Kruk *et al.* (2002) incluíram a espécie no grupo J.

## 5.5 Estado trófico e qualidade da água

Os índices de estado trófico são importantes indicadores da qualidade da água e utilizados em gerenciamento dos sistemas aquáticos, embora a grande maioria tenha sido desenvolvida para regiões temperadas e não seja tão bem aplicável para lagos de regiões tropicais devido à maior eficiência na ciclagem de nutrientes nas elevadas temperaturas, maior aporte de sedimentos influenciando na comunidade fitoplanctônica, que deve ser considerada para reforçar a interpretação do estado trófico (Esteves, 1988; Huszar & Caraco, 1998; Lewis, 1996; Melack, 1979; Salas & Martino, 1991). A concentração de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio totais, são importantes variáveis utilizadas para a separação dos lagos em oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico.

Além disso, a composição e abundância da comunidade são bons indicativos do estado trófico da água. Por exemplo, em ambientes oligo-mesotróficos o fitoplâncton tende a ser dominado por Chlorophyta Chlorococcales mucilaginosas como *Oocystis* e *Botryococcus*, diatomáceas do gênero *Cyclotella*, crisófitas como *Dynobryon*, e cianófitas *Merismopedia*, enquanto que ambientes eutrofizados tendem a ser dominados por clorófitas *Pediastrum*, *Scenedesmus* (principalmente), por diatomáceas *Aulacoseira* (*A. ambigua*, *A. granulata*, *A. islandica*) e *Stephanodiscus*, e Cyanophyta coloniais e filamentosas, *Microcystis* e *Cylindrospermopsis* (Reynolds, 1994; Reynolds, 1997; Reynolds, 1998; Reynolds *et al.*, 2000). As diatomáceas como *Cyclotella* e algumas espécies de *Aulacoseira* (*A. distans*, *A. italica* e *A. subarctica*) são indicadoras de águas mesotróficas (Calijuri & Santos, 1996; Calijuri *et al.*, 2001; Linkens, 1975; Reynolds, 1998; Sandgren, 1988). *Aulacoseira ambigua* e *Cyclotella stelligera* são também consideradas representantes típicas de ambientes com pouca poluição (Kobayasi & Mayama, 1989 e Watanabe *et al.*, 1990 In: Lobo *et al.*, 1996).

No reservatório Piraquara I a comunidade fitoplanctônica caracteriza ambientes oligotróficos ou mesotróficos. As espécies dominantes foram clorófitas solitárias/coloniais (*Eutetramorus fottii*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Oocystis lacustris*, *Cosmarium sphagnicolum* e *Botryococcus braunii*), dinoflagelados (*Gymnodinium* sp. e *Peridinium umbonatum*), diatomáceas (*Aulacoseira* e *Cyclotella*) e crisófitas (nanoflagelados), ou seja, uma composição bastante distinta daquela indicadora de lagos eutrofizados. Apesar da cianófitas *Cyanogranis ferruginea* ser abundante,



praticamente não houve registro de Cyanophyta potencialmente produtoras de toxinas. Estas cianobactérias constituem-se uma grande preocupação em reservatórios utilizados para abastecimento de água potável, pois formam florações massivas, fenômeno que ocorre periodicamente nos reservatórios Iraí e Passaúna da RMC, próximos ao reservatório Piraquara I. Nestes reservatórios ocorrem florações de *Aphanocapsa delicatissima*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis spp.*, *Anabaena solitaria*, *Anabaena spp.* e *Cylindrospermopsis raciborski* (Fernandes & Brandini, 2002; Picelli-Vicentim *et al.*, 2001; Lagos *et al.*, 2002). Cabe ressaltar que *Botryococcus braunii*, espécie típica de lagos oligotróficos (Reynolds, 1997 e 2000), não foi detectada durante as contagens, porém a espécie foi observada nas amostras de fitoplâncton de rede, principalmente durante o verão. Por outro lado, a diatomácea *Aulacoseira ambigua* foi bastante abundante em toda coluna d'água durante curtos períodos de mistura, apesar desta espécie ser considerada mais característica de ambientes eutróficos (Reynolds, 1998).

Portanto, a composição específica, a densidade e a biomassa do fitoplâncton são indicadores confiáveis da qualidade de água do Reservatório Piraquara I, de características mesotróficas. As proporções relativas dos grupos algais e as concentrações de nutrientes sugerem que não há qualquer impacto, até o momento, que venha a acelerar o processo de enriquecimento por nutrientes. A baixa representatividade das cianobactérias também mostra o reduzido aporte de nutrientes.

O IAP (Instituto Ambiental do Paraná) vem utilizando o IQAR (Índice de Qualidade de Água de Reservatório) que é calculado a partir das variáveis: oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total, clorofila-a, transparência por disco de Secchi, fitoplâncton, tempo de residência e profundidade média. Cada variável recebe um peso distinto em função dos seus diferentes níveis de importância na avaliação da qualidade da água. Segundo este cálculo, em 1999 e 2001 o reservatório Piraquara I foi classificado como Classe III (moderadamente degradado) com IQAR de 2,9 e 2,77 (IAP, 1999 e 2001).

Tomando como base as médias dos dados de clorofila (5,3 µg/l) e da profundidade do disco de Secchi (2,6 metros) o reservatório classifica-se como mesotrófico (Nürnberg, 1996; Salas & Martino, 1991; Smith, 1998 e Vollenweider & Kerekes, 1980). De acordo com o índice de estado trófico de Carlson (1977, mais

adequado a lagos temperados) a SANEPAR classificou o reservatório Piraquara I como mesotrófico. Os valores baixos de N, P e material orgânico encontrados no reservatório (IAP, 1999, 2000; SANEPAR, 2000) corroboram estas observações.

As concentrações de nutrientes no reservatório também refletem o estado de conservação extremamente satisfatório de sua bacia hidrográfica e da região de entorno, o que auxilia na manutenção da qualidade da água e do estado trófico.

A relação N:P mais comum foi superior a 20, com média de 26. Quando a razão N:P é maior que 30, o fitoplâncton sofre limitação por fósforo e, quando a razão N:P é menor que 10, o nitrogênio se torna o elemento limitante (Atkinson *et al.*, 1983 In Carmouze, 1994). Ou seja, considerando a razão N:P o reservatório apresentou-se moderadamente limitado por fósforo. Além disso, os valores absolutos das concentrações de fosfato e nitrogênio (média de 3,3 e 149 µg/l, respectivamente) são baixos, e sugerindo a limitação do crescimento do fitoplâncton por fósforo, e durante curtos períodos por nitrogênio.

Segundo Calijuri *et al.* (1999) a limitação por nitrogênio pode ocorrer quando a razão N:P está entre 5 e 6, também favorecendo as cianófitas fixadoras de nitrogênio. No reservatório Piraquara I, a razão N:P esteve inferior a 5 próximo a superfície apenas em abril de 2001 e fevereiro de 2002, e não se observou acréscimo de cianófitas. As concentrações de fósforo e nitrogênio em lagos de regiões tropicais tendem a elevar-se nos períodos de maior precipitação, que coincidem com o verão (Wetzel, 1993). A liberação do fosfato do sedimento para a coluna d'água também pode ser facilitada durante as condições de menor concentração de oxigênio dissolvido, encontradas em períodos de estratificação (Lewis, 1996; Esteves, 1998; Chalar & Tundisi, 1999). Durante o período de mistura, a circulação produzida propicia o enriquecimento da zona eufótica, quando os nutrientes tornam-se disponíveis (Tundisi, 1983b; Tundisi & Henry, 1986). Condições semelhantes foram registradas no fundo do reservatório Piraquara I, quando se observou acréscimo de fosfato paralelamente às baixas concentrações de oxigênio dissolvido, especialmente em janeiro e dezembro de 2000. É interessante notar que, embora os teores de H<sub>2</sub>S (ácido sulfídrico) não tenham sido acompanhados durante as amostragens, um forte odor característico foi detectado nas amostras de fundo simultaneamente à reduzida concentração de oxigênio nos períodos de estratificação térmica. Além disso, coletas anteriores realizadas em 4 estações ao

longo do reservatório registraram anoxia no hipolímion durante todo o verão (L.F. Fernandes, dados não publicados).

A oportunidade rara da existência de um reservatório preservado como o Piraquara I, bem como de seu entorno praticamente intocado aumenta a responsabilidade dos órgãos públicos responsáveis pela conservação e fiscalização do meio ambiente. Há necessidade de um cuidadoso planejamento da ocupação urbana na área de entorno do reservatório, particularmente na área á esquerda do reservatório (a partir da barragem), sujeita à maior pressão de ocupação em futuro próximo gerando uma perspectiva pessimista sobre sua preservação.

Outro aspecto importante relaciona-se à possibilidade de utilização do reservatório Piraquara I como um modelo de condições ambientais referenciais para planos de monitoramento ambiental (qualidade de água e fitoplâncton) e projetos de recuperação das águas e da região do entorno dos reservatórios da RMC e do Paraná. As “condições referenciais” são aquelas que representam o potencial biótico de lagos/reservatórios na ausência de atividades humanas ou poluição (EPA, 1998a e 1998b). Ou seja, são aquelas condições ambientais ideais (ou próximas a ela) esperadas das comunidades biológicas quando sujeitas apenas à mínimos distúrbios antropogênicos ou decorrentes de poluição. A partir deste princípio, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (Environmental Protection Agency) tem selecionado alguns lagos e reservatórios como os referenciais, a partir de uma série de critérios, começando pelo seu baixo impacto ambiental. Estes lagos são utilizados para comparação com outros, sujeitos à degradação de origem antrópica, e determinarão quais são as medidas necessárias para recuperação, e quais condições ambientais mínimas devem ser atingidas para considerar-se um lago recuperado (EPA, 1998a e 1998b). Portanto, torna-se evidente a importância de estudos básicos sobre os ecossistemas aquático e terrestre influenciando o reservatório Piraquara I, e sua relevância no suporte à pesquisa aplicada, como é o caso da eutrofização de reservatórios.

Neste sentido, o depoimento de Ringelberg (1997) após 35 anos de pesquisa sobre ecologia do plâncton em lagos da Holanda é esclarecedor. O autor defendeu enfaticamente a idéia de que somente a pesquisa básica em limnologia pode fornecer conhecimento consistente e completo para a limnologia aplicada. Ele cita como exemplo os estudos sobre lagos não impactados (funcionando normalmente),

aportando o arcabouço científico do qual a pesquisa aplicada se beneficiará. Ringelberg argumenta ainda que a pesquisa de ambientes poluídos não é suficiente para explicar os processos ecológicos na comunidade planctônica, o que somente é alcançado através de estudos básicos em reservatórios bem preservados. O autor critica também o apoio financeiro preferencial à limnologia aplicada em detrimento da básica, além de questionar a pressão sobre órgãos de pesquisa para abandonar a limnologia clássica, mencionando que, numa perspectiva em longo prazo, a tecnologia não se sustentará sem o conhecimento fundamental. Aplicando as ponderações de Ringelberg ao reservatório Piraquara I, ele tem sido virtualmente ignorado pelos pesquisadores e agências de fomento estaduais porque está "bem preservado". Por outro lado, reservatórios poluídos como o Passaúna e Iraí, recebem toda a atenção da comunidade científica e dos meios de comunicação devido a seus problemas ambientais. Em longo prazo, o manejo ambiental e as medidas de recuperação da qualidade de água destes reservatórios obrigatoriamente necessitarão do referencial ambiental "saudável" encontrado na bacia hidrográfica do Piraquara, conhecimento este que é escasso pelas razões citadas acima.

## 6 CONCLUSÕES

O reservatório Piraquara I classifica-se como monomítico quente, apresentando 2 períodos distintos: primavera/verão marcado pela estratificação térmica e química devido às temperaturas elevadas e maior radiação solar; e outono-inverno com circulação total da coluna d'água, período de menor precipitação, muito vento, baixa temperatura da água e menor radiação solar.

O início dos períodos de estratificação térmica favoreceu o desenvolvimento dos dinoflagelados, principalmente *Gymnodinium* sp. e *Peridinium* spp que contribuíram grandemente para o biovolume. Durante o verão o domínio em densidade foi de clorófitas coloniais mucilaginosas imóveis como *Eutetramorus fottii*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Botryococcus braunii* e *Oocystis lacustris*. Enquanto que os períodos de mistura favoreceram a ressuspensão e crescimento das diatomáceas, principalmente *Aulacoseira ambigua*.

A maior riqueza e diversidade de espécies foram obtidos nos períodos de estratificação térmica. As clorófitas tiveram o maior número de espécies.

A composição, a densidade e a biomassa do fitoplâncton, assim como a concentração de nutrientes, clorofila-a e profundidade do disco de Secchi caracterizaram o reservatório como mesotrófico.

A comunidade apresentou-se limitada principalmente por fósforo, considerando suas baixas concentrações e a razão nitrogênio/fósforo.

A manutenção da boa qualidade da água e do estado trófico são consequência do bom estado de preservação da bacia hidrográfica e da região de entorno do reservatório.

O reservatório situa-se em uma área densamente florestada e sem impacto ambiental, podendo servir de referencial para estudos comparativos com outros reservatórios da região metropolitana de Curitiba.

## REFERÊNCIAS

- AGBETI, M. D.; KINGSTON, J. C.; SMOL, J. P.; WATTERS, C. 1997. Comparison of phytoplankton succession in two lakes of different mixing regimes. **Arch. Hydrobiol.**, 140(1): 37-69.
- ANDRADE, L. F. *et al.* 1988. Fitoplâncton e características físico-químicas do reservatório de Itaipu, Paraná-BR. In: TUNDISI, J. G. **Limnologia e Manejo de Represas**. São Carlos, EESC-USP-CHREA/ACIESP: 205-268.
- APHA. 1995. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, Washington, DC.
- ARCIFA, M. S.; CARVALHO, M. A. J.; FROEHLICH, C. G.; SCHIMIZU, G. Y.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; CASTRO, R. M. C. 1981. Limnology of ten reservoirs in Southern Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 21:1048-1053.
- ARCIFA, M. S.; FROEHLICH, C. G.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. 1981a. Circulation patterns and their influence on physico-chemical and biological conditions in eight reservoirs in Southern Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 21:1054-1059.
- BARBOSA, F. A. R. 1994. Workshop: Brazilian programme on conservation and management of inland waters. **Acta Limnol. Brasil.**, 5:1-225.
- BARBOSA, F. A.; 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. **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro, SBL/ABC: 19-36.
- BRADBURY, J. P. 2000. Limnologic history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, Mexico for the past 48,000 years: impacts of climate and man. **Palaeo**, 163:69-95.
- BRANCO, S. M. 1978. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 2. ed. CETESB, São Paulo, 620 p.
- BRANCO, S. M. 1984. **Limnologia sanitaria, estudio de la polución de águas continentales**. Secr. General de OEA, série Biología, n. 28, 128 p.
- CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G. 1990. Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. **Rev. Brasil. Biol.**, 50(4): 893-913.
- CALIJURI, M. C.; SANTOS, A. C. A. 1996. Short term changes in Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil): emphasis on the phytoplankton communities. **Hydrobiologia**, 330(3): 163-175.

CALIJURI, M. C., DEBERDT, G. L. B.; MINOTI, R. T. 1999. A produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Salto Grande (Americana - SP). In: HENRY, R. (Ed.) **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: Fundibio, FAPESP: 111-148.

CALIJURI, M. C., DOS SANTOS, A. C. A.; CARVALHO, D. P. 2001. Estrutura e dinâmica do fitoplâncton em dois reservatórios tropicais com diferentes graus de trofia. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, João Pessoa - PB. **Resumos**. p. 85

CARLSON, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.** 22: 361-369.

CARMOUZE, J. P. 1994. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos - fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 253 p.

CHALAR, G.; TUNDISI, J. G. 1999. Main Processes in the water column determined by wind and rainfall at Lobo (Broa) Reservoir. Implications for phosphorus cycling. In: TUNDISI, J. G. STRASKRABA, M. (Eds.). **Theoretical reservoir Ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy os Sciences, São Paulo, 53-65.

CHORUS, I.; SCHLAG, G. 1993. Importance of intermediate disturbances for the species composition and diversity of phytoplankton in two very different Berlin lakes. **Hydrobiologia**, 249: 67-92.

COLE, G. A. 1994. **Textbook of Limnology**. Waveland Press Inc, Illinois, 491 p.

COMEC (Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba). 2001. **Plano de desenvolvimento integrado - documento síntese para discussão**. Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação geral SEPL, COMEC, Curitiba, 79 p.

DOMITROVIC, Y. Z.; ASSELBORN, V. M.; CASCO, S. L. 1998. Variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. **Rev. Brasil. Biol.**, 58(3): 359-382.

EDLER, L. 1979. **Recommendation for marine biological studies in the baltic sea: phytoplankton and chlorophyll**. UNESCO, Working Group 11, Baltic Marine Biologist.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1991. **Volunteer lake monitoring**. USEPA, Office of Water, publicação n. 440-4-91-002.

EPA. 1996. **Ecological restoration: a tool to manage stream quality**. USEPA, Office of Water, publicação n. 841-F-95-007.

EPA. 1997. **Techniques for tracking, evaluating, and reporting the implementation of nonpoint source control measures.** Agriculture. USEPA, Office of Water, publicação n. 841-B-97-010.

EPA. 1998a. **Lake and reservoir bioassessment and biocriteria.** Technical Guidance Document. USEPA, Office of Water, publicação n. 841-B-98-007.

EPA. 1998b. **National strategy for the development of regional nutrient criteria.** USEPA, Office of Water, publicação n. 822-R-98-002.

EPA. 1999. **Nutrient criteria technical guidance manual: lakes and reservoirs.** USEPA, Office of Water, publicação n. 822-D-990-001 (manuscrito em revisão).

ESTEVEZ, F. A. 1988. Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. **Acta Limnol. Brasil.** 11:3-28.

ESTEVEZ, F. A. 1998. **Fundamentos de Limnologia** 2 ed., Rio de Janeiro: Interciência, 602 p.

FERNANDES, L. F.; BRANDINI, N. 2002. Comunidade de microalgas e qualidade de água no reservatório do Passaúna: diagnóstico e recomendações para o gerenciamento ambiental. Curitiba 44 p. Relatório de consultoria (Orienta - Agência de Treinamento & Consultoria Sócio Ambiental).

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. 1983. **Methods of Seawater Analysis.** 2. ed., Verlag Chemie: Weinheim.

GRIME, J. P. 1979. **Plant Strategies and Vegetation Processes.** New York: Wiley.

GLIWICZ, Z. M. 1999. Predictability of seasonal and diel events in tropical and temperate lakes and reservoirs. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Eds). **Theoretical reservoir Ecology and its applications.** Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, :99-124.

GÔMARÁ, G. A.; PINTO, G. F. S.; KLAPPER, H. 1997. Evaluation of the water quality of Funil reservoir (Rio de Janeiro, Brazil). **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 26: 698-701.

HAPPEY-WOOD, C. M. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. In: SANDGREN, C. D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton.** Cambridge University Press, Cambridge, 175-226.

HASLE G. R.; FRYXELL G. A. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscope. **Trans. American Microsc. Soc.** 89(4): 469-474.

HENRY, R. 1990. Amônia ou fosfato como agente estimulador do crescimento do fitoplâncton na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema - SP)? **Rev. Brasil. Biol.** 50(4):883-892.



HENRY, R. 1999. Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (Eds). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, :125-151.

HENRY, R. 1999a. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. FUNDIBIO, FAPESP, Botucatu, 800 p.

HOLMES, R. W. 1970. *Limnol. Oeanogr*, 15: 688-694.

HUSZAR, V. L. M.; CARACO, N. F. 1998. The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional descriptors in six temperate lakes. **Freshwater Biology**, 40: 679-696.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; ESTEVES, F. A. 1990. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo Rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Rev. Brasil. Biol.** 50(3): 585-598.

HUSZAR, V. L.; SILVA, L. H. S. 1999. A estrutura da comunidade fitoplanctônica no Brasil: cinco décadas de estudos. In: BOZELLI, R. L. (Ed.) **Limnotemas nº 2**. Rio de Janeiro.

IAP (Instituto Ambiental do Paraná). 1999. **Resultados do sistema de avaliação, classificação e monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná**. Curitiba, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto Ambiental do Paraná.

IAP. 2001. **Resultados do sistema de avaliação, classificação e monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná**. Curitiba, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto Ambiental do Paraná.

JENSEN, P.; JEPPESEN, E.; OLRİK, K.; KRISTENSEN, P. 1994. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 51: 1692-1699.

KILHAM, P. & KILHAM, S. S. 1980. The evolutionary ecology of phytoplankton. In: MORRIS, I. (Ed). **The Physiological Ecology of Phytoplankton**. Oxford: Blackwell: 571-597.

KLING, H. J. 1998. A summary of past and recent plankton of Lake Winnipeg, Canada using algal fossil remains. **Journal of Paleolimnology**, 19(3): 297-307.

KRUK, C., MAZZEO, N. LACEROT, G.; REYNOLDS, C. S. 2002. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of functional approach to the analysis of species temporal replacement. **Journal of Plankton Research**, 24(9): 901-912.

LAGOS, P. E. D.; FERNANDES, L. F.; ZEHNDER-ALVES, L.; VENTURA, C. O. B. 2002. Variação anual do fitoplâncton no reservatório do Irai, Pinhais, Paraná, com ênfase em cianobactérias. In: 10º EVINCI, Curitiba. **Anais**. p. 348.

LEWIS Jr, W. M. 1983. A revised classification of lakes based on mixing. **Can. Journ. Fish. Aquat. Sci.** 40: 1779-1787.

LEWIS Jr., W. M. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. In: SCHIEMER, F.; BOLAND, K. T. (Eds.). **Perspectives in tropical limnology**. Amsterdam, SPB Academic Publ. p. 43-64.

LEWIS, Jr., W. M. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. **Lakes & Reservoirs: research and management**, 5:35-48.

LIMA, C. DE; TUNDISI, J. G.; MARINS, M. A. 1979. A systemic approach to the sensivity of *Melosira italica* (Ehr.) Kutz.. **Rev. Brasil. Biol.** 39(3): 559-563.

LINKENS, G. E. 1975. Primary production of inland aquatic ecosystems. In: LIETH, H.; WHITTAKER, R. H. (Eds) **Primary productivity of the Biosphere**. Springer-Verlag, New York,: 185-202.

LINSTRÖM, K. 1991. Nutrient requirements of the dinoflagellate *Peridinium gatunense*. **J. Phycol.** 27: 207-219.

LOBO E. A.; CALLEGARO, V. L. M.; OLIVEIRA; M. A.; SALOMONI, S. E.; SCHULER, S.; ASAI, K. 1996. Pollution tolerant diatoms from lotic systems in the Jacuí basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia**, 47: 45-72.

LOWE, R. L. 1976. **Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms**. USEPA (US Environmental Protection Agency, publicação n. 670/4-74-005), NERC, Cincinnati, 334 p.

LUDWIG, T. A. V. & FERNANDES, L. F. 1999. Monitoramento do fitoplâncton em rios da área de influência da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, Paraná. In: **Resumões do VII Congresso Brasileiro de Limnologia**, Florianópolis, SC: 330.

MARGALEF, R. 1978. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologia Acta**, 1: 493-509.

MARGALEF, R. 1983. **Limnología**. Barcelona. Omega. 1010 p.

MAZUMDER, A.; HAVENS, K. E. 1998. Nutrient-chlorophyll-Secchi relationships under contrasting grazer communities of temperate versus subtropical lakes. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 55: 1652-1662.

MELACK, J. M. 1979. Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes. **Oecologia**. 44: 1-7.

MOUSTAKA-GOUNI, M. 1993. Phytoplankton succession and diversity in a warm monomictic, relatively shallow lake: Lake Volvi, Macedonia, Greece. **Hydrobiologia**, 249: 33-42.

NAKAMOTO, N.; MARINS, M. A.; TUNDISI, J. G. 1976. Synchronous growth of a freshwater diatom *Melosira italica* under natural environment. **Oecologia**. 23: 179-184.

NAKAMOTO, N.; TUNDISI, J. G.; MARINS, M. A.; GODINHO, M. J. L. 1997. Longitudinal distribution of plankton in a shallow reservoir of Broa in Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 26: 553-557.

NOGUEIRA, M. G. 2000. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, 431: 115-128.

NÜRNBERG, G. K. 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. **Journal Lake and Reservoir Management**, 12(4): 432-447.

PAASCHE, E. 1980. Silicon. In: Morris, I. (Ed.) **The physiological ecology of phytoplankton**. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 259-284.

PADISÁK, J.; REYNOLDS, C. S. 1998. Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. **Hydrobiologia**, 384: 41-53.

PAERL, H. W. 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. **Limnol. Oceanogr.** 33(4): 823-847.

PICELLI-VICENTIM, M. M., TREUERSCH, M., DOMINGUES, L. L. 2001. Fitoplâncton da represa do Passaúna, Estado do Paraná, Brasil. **Hoehnea** 28(1): 53-76.

PIELOU, E. C. 1966. Species - diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. **Jorn. Theoret. Biol.** 10: 370-383.

PINTO-COELHO, R. M. 1994. Limnological perspective for the control of eutrophication in large tropical reservoir. In: PINTO-COELHO, R. M.; GIANI, A.; SPERLING, E. (Eds.). **Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies**. Belo Horizonte: SEGRAC: 11-26.

POLLINGHER, U. 1988. Freshwater armored dinoflagellates: growth, reproduction strategies, and population dynamics. In: SANDGREN, C. D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge University Press, Cambridge, 134-174.

REBOUÇAS, A. DA; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. 1999 (Orgs). **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Ed. Escrituras, São Paulo, 717 p.

REYNOLDS, C. S. 1980. Phytoplankton periodicity: the interaction of form, function, and environmental variability. **Fresh. Biol.**, 14: 111-142.

REYNOLDS, C. S. 1984. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Cambridge Studies in Ecology, Cambridge Univ. Press, Oxford, 384 p.

REYNOLDS, C. S. 1988. The concept of ecological succession applied to seasonal periodicity of freshwater phytoplankton. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 23: 683-691.

REYNOLDS, C. S. 1991. Functional morphology and adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: SANDGREN, C. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge University Press, Cambridge.

REYNOLDS, C. S., 1994. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. **Hydrobiologia**, 289: 9-21.

REYNOLDS, C. S. 1997. Vegetation process in the pelagic: a model for ecosystem theory. In: KINNE, O. (Ed.), **Excellence in ecology**. Germany: Ecology Institute, 371 p.

REYNOLDS, C. S. 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? **Hydrobiologia**, 369/370: 11-26.

REYNOLDS, C. S. 1999. Phytoplankton assemblages in reservoirs. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Eds). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, :439-456.

REYNOLDS, C. S. 2000. Phytoplankton designer - or how to predict compositional responses to trophic-state change. **Hydrobiologia**, 424: 141-146.

REYNOLDS, C. S.; IRISH, A. E. 1997. Modeling phytoplankton dynamics in reservoirs: the problem of in-situ growth rates. **Hydrobiologia**, 349: 5-17.

REYNOLDS, C. S., REYNOLDS, S. N., MUNAWAR, I. F.; MUNAWAR, M. 2000. The regulation of phytoplankton population dynamics in the world's largest lakes. **Aquatic Ecosystem Health and management**. 3: 1-21.

REYNOLDS, C. S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. 2002. Review - Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plakton Research**, 24(5): 417-428.

RINGELBERG, J. 1997. Two examples of the interplay between field observations and laboratory experiments from 35 years of research with planktonic organism. **Aquatic Ecology**, 31: 9-17.

- ROSA, C.; BICUDO, C. E. M. 2001. Ecologia de *Peridinium gatunense* e *Peridinium umbonatum* (Dinophyceae) em reservatório tropical, raso, oligotrófico (Lago do IAG, Pefi, São Paulo). In: VIII CONGRESSO DE LIMNOLOGIA, João Pessoa - PB. **Resumo**. p. 95.
- ROUND, F. E. 1981. **The ecology of algae**. Cambridge University Press, Oxford, 653 p.
- ROUND, F. E., CRAWFORD, R. M. & MANN, D. G. 1990. **The diatoms: biology e morphology of the genera**. Cambridge University Press.
- SALAS, H. J.; MARTINO, P. 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, 25(3): 341-350.
- SANDERSON, B. L.; FROST, T. 1996. Regulation of dinoflagellate populations: relative importance of grazing, resource limitation, and recruitment from sediments. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, 53: 1409-1417.
- SANDGREN, C. D. 1988. **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge Univ. Press, Oxford, 442 p.
- SANEPAR. 2000. Estudos Limnológicos. In: Estudo de impacto ambiental barragem Piraquara II, rio Piraquara, Paraná, Brasil (RIMA - relatório de impacto ambiental). Curitiba, v.1: 362-387.
- SANTOS, A. C. A.; CALIJURI, M. C. 1997. Phytoplankton communities over a short period of time, in the Barra Bonita Reservoir (State of São Paulo, Brazil): microcosm experiments. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 26: 458-471.
- SCHÄFER, A. 1985. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Ed. da Universidade UFRS, Porto Alegre, 532 p.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. 1963. **The mathematical theory of communication**. Univ. Illinois Press Urbana, 173 p.
- SMITH, V. H. 1998. Cultural eutrophication of Inland, estuarine, and coastal waters. In: PACE, M. L.; GROFFMAN, P. M. (Eds.). **Successes, limitations and frontiers in ecosystem science**. New York: Springer-Verlag. 499 p.
- SOMMER, U. 1981. The role of *r*- and *k*-selection in the succession of phytoplankton in Lake Constance. **Acta Oecologia**, 2: 327-342.
- SOMMER, U. 1983. Nutrient competition between phytoplankton species in multispecies chemostat experiments. **Arch. Hydrobiol.**, 96: 399-416.
- SOMMER, U. 1988. Growth and survival strategies of planktonic diatoms. In: SANDGREN, G. D. **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. New York: Cambridge: Cambridge University Press: 227-260.

SOMMER, U. & STABEL, H. H. 1983. Silicon consumption and population density changes of dominant planktonic diatoms in Lake Constance. **J. Ecol.** 71: 119-130.

STRASKRABA, M. 1999. Retention time as a key variable of reservoir limnology. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Eds). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, :385-410.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. 1999. Reservoir ecosystem functioning: theory and application. In: TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (Eds.). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, :565-597.

SUDERHSA. 1998. **Atlas de recursos hídricos do estado do Paraná**. Secr. de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Curitiba, 32 p.

SZAWKA, C. M. 2001. **Estrutura e dinâmica espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica do reservatório da usina hidrelétrica de Salto Caxias, Paraná, Brasil**. Curitiba, 185 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

TILMAN, D.; KIESLING, R.; STERNER, R.; LILHAM, S. S.; JOHNSON, F. A. 1986. Green, Blue-green and diatom algae: taxonomic difference in competitiv hability for phosphoro, silicon and nitrogen. **Arch. Hydrobiol.**, 106: 473-485.

TRAIN, S. & RODRIGUES, L. C. 1997. Distribuição espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A. & HAHN, N. S. (Eds.). **A planície de inundação do Alto Rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos**. EDUEM, Maringá: 105-115.

TRIFONOVA, I. 1993. Seasonal succession of phytoplankton and its diversity in two highly eutrophic lakes with different conditions of stratification. **Hydrobiologia**, 249: 93-100.

TUNDISI, J. G. 1983a. "Estratificação hidráulica" em reservatórios e suas conseqüências ecológicas. **Ciênc. e cultura**, 36(9): 1489-1496.

TUNDISI, J. G. 1983b. A review of basic ecological processes interacting with production and standing-stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. **Hydrobiologia**, 100: 223-243.

TUNDISI, J. G. 1990. Distribuição espacial, sequência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. **Rev. Brasil. Biol.** 50(4):937-955.

TUNDISI, J. G. 1993. VIII. Man-made lakes - Theoretical basis for reservoir management. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 25: 1153-1156.

TUNDISI, J. G. 1994. Tropical South America: present and perspectives. In: MARGALEF, R. (Ed.) **Limnology Now: A paradigm of planetary problems**. Amsterdam, Elsevier Science B. V.

TUNDISI, J. G. 1999. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.) **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: Fundibio, FAPESP: 19-38.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. 1984. Comparative limnological studies at three lakes in tropical Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 22: 1310-1314.

TUNDISI, J. G.; HENRY, R. 1986. Effects of enrichment on the summer surface phytoplanktonic community in a stratified tropical lake (Lake D. Helvécio - Parque Florestal do Rio Doce - Minas Gerais). **Rev. Brasil. Biol.** 46(1): 231-237.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. 1994. Plankton diversity in a warm monomictic lake (Dom Helvécio, Minas Gerais) and a polymictic reservoir (Barra Bonita): a comparative analysis of the intermediate disturbance hypothesis. **An. Acad. Bras. Cien.**, 66 (supl.1): 15-28.

TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. 1995. **Limnology in Brazil**. Brazilian Academy of Sciences/Brazilian Limnological Society, São Paulo, 376 p.

TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y. 1997. **Limnological studies on the rio Doce Valley lakes, Brazil**. Brazilian Academy of Sciences/USP/CWRAE, São Paulo, 513 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. 1999. Theoretical basis for reservoir management. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Eds). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, :505-528.

UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. **Mitteil. Internat. Verein. Limnol.** 9: 837-855.

VENRICK, E. L. 1978. How many cells to count? In: SOURNIA, A. (Ed.) **Phytoplankton manual**. Paris: Unesco, 167-180.

VOLLENWEIDER, R. A.; KEREKES, J. 1980. The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. **Prog. Wat. Tech.** 12: 5-38.

WETZEL, R. 1993. **Limnologia**. (Tradução: BOAVIDA, M. J.). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 919 p. + referências.

WETZEL, R.; LIKENS, G. 1996. **Limnological analyses**. 2nd ed., Saunders, New York, 470 p.

XAVIER, M. B. 1979. **Contribuição ao estudo da variação sazonal do fitoplâncton na represa Billings, São Paulo.** São Paulo. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

ZHANG, Y.; PREPAS, E. E. 1996. Regulation of the dominance of planktonic diatoms and cyanobacteria in four eutrophic hardwater lakes by nutrients, water column stability, and temperature. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, 53: 621-633.



APÊNDICE 1. Relação das espécies do fitoplâncton do Reservatório Piraquara I, com a MDL - maior medida linear da célula (C= comprimento, D= diâmetro, L= largura) e o biovolume celular, observadas de janeiro de 2000 a março de 2002.

	MDL ( $\mu\text{m}$ )	Biovolume ( $\mu\text{m}^3$ )
<b>CYANOPHYTA</b>		
<i>Cyanogranis ferruginea</i> (Wawrik) Hindák	D=1,8	1,8
Cyanophyceae 1	C=30,3	291,5
Cyanophyceae 2	C=41,3	351
Cyanophyceae 3	C=39,9	340
Cyanophyceae 4	C=16,4	74
Cyanophyceae 5	C=16	32
Cyanophyceae 6	D=2	4
Cyanophyceae 7	C=16	32
<i>Merismopedia</i> sp	D=1,8	8
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz.	D=3,5	22,5
<i>Pseudanabaena</i> sp	C=113	466,5
<b>CRYPTOPHYTA</b>		
<i>Cryptomonas</i> sp1	C=19,1	1179
<i>Cryptomonas</i> sp2	C=13,2	329
<i>Cryptomonas</i> sp3	C=16	1186
<b>DINOPHYTA</b>		
<i>Gymnodinium</i> sp1	C=73	21498
<i>Gymnodinium</i> sp2	C=26,5	7308
<i>Peridinium gatunensis</i> Nygaard	L=54,3	53947
<i>Peridinium umbonatum</i> Stein	C=17	2232
<i>Peridinium</i> sp1	C=14,5	573
<b>CRYSOPHYTA</b>		
Crysophyceae 1	C=12,4	314
Crysophyceae 2	C=11,7	656
Crysophyceae 3	C=9	265
<i>Dinobryon divergens</i> Imhof.	C=40,1	778
<i>Dinobryon</i> sp1	C=18,9	494
<i>Malomonas</i> sp	C=19,7	951
Fitoflagelado sp1	D=5,1	77,5
Fitoflagelado sp2	D=10	226
<i>Synura</i> sp	C=10,2	795
<b>BACILLARIOPHYTA</b>		
<i>Aulacoseira alpigena</i> (Grunow) Krammer	D=6,8	70
<i>Aulacoseira ambigua</i> var <i>ambigua</i> (Grunow) Simonsen	C=27,5	1214
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt	D=8,8	116
<i>Urosolenia</i> sp	C=66,5	1472
Cêntrica	D=16,5	417
>20 penadas	C=66	526
<20 penadas	C=20	187
<b>CHLOROPHYTA</b>		
<i>Ankistrodesmus</i> sp	C=33	10
<i>Chlamydomonas</i> sp1	C=9,2	210
<i>Chlamydomonas</i> sp2	C=9	200
<i>Closteriopsis</i> sp	C=71,1	99
<i>Closterium</i> sp1	C=181	227
<i>Coelastrum reticulatum</i> (Dangeard) Senn	D=11,5	5906
<i>Cosmarium sphagnicolum</i> West	L=7,7	155
<i>Cosmarium subspeciosum</i> Nordsdt.	C=96	165515
<i>Crucigenia</i> sp	C=10	86
<i>Dimorphococcus lunatus</i> A Braun	C=11,4	138
<i>Dyctiosphaerium</i> sp	D=4,7	54

APÊNDICE 1. (Continuação) Relação das espécies do fitoplâncton do Reservatório Piraquara I, com a MDL maior medida linear da célula (C= comprimento, D= diâmetro, L= largura) e o biovolume celular, observadas de janeiro de 2000 a março de 2002.

<b>CHLOROPHYTA</b>		
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	C=9,8	18
<i>Euastrum denticulatum</i> (Kirchner) Gay.	C=16,5	1089
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hindák) Komárek	D=4,6	57
<i>Golenkinia</i> sp	D=9,1	395
<i>Monorhaphidium minutum</i> (Nägeli) Komarková-Legnerová	C=13	69
<i>Monorhaphidium</i> sp1	C=16,5	17
<i>Monorhaphidium</i> sp2	C=8	9
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	C=10,5	242
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	C=12	2062
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	C=16,5	1235
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs (4 células)	C=10	670
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs (8 células)	C=8,5	458
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh) Chodat	C=16	38
<i>Scenedesmus bicaudatus</i> (Hansg.) Chodat	C=11,3	61
<i>Scenedesmus circumfusus</i> Hortobágyi	C=8,6	47
<i>Scenedesmus</i> sp1	C=8,4	32
<i>Scenedesmus</i> sp2	C=5,3	6
<i>Scenedesmus</i> sp3	C=3	3,5
<i>Scenedesmus</i> sp4	C=8	7
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstd.	C=27,4	4790
<i>Staurastrum</i> sp	C=6,5	200
<i>Staurodesmus triangularis</i> (Lagerhein) Teiling	C=15,4	1035
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansg.	D=8,1	155
<i>Tetraedron regulare</i> Kütz	D=12,4	388
<i>Tetrastrum</i> sp1	C=3,7	31
<i>Tetrastrum</i> sp2	C=5,6	32
Zygnemaphyceae 1	C=10,5	274
Zygnemaphyceae 2	C=78,5	3083
Chlorophyceae 1	C=8	51
<b>EUGLENOPHYTA</b>		
<i>Euglena</i> sp	C=15,7	7915
Euglenophyceae 1	C=36,8	2470
<i>Menoidium gracile</i> Playfair	C=111,8	3402
<i>Phacus</i> sp	C=53	40277
<i>Trachelomonas lacustris</i> Drezepolski	C=32,7	6280
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg	D=14,4	1643