

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA**  
**E SUA RELAÇÃO COM A COMPOSIÇÃO E QUANTIDADE DE**  
**POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES E AGREGADOS GELATINOSOS**

**MARIA JOSÉ DELLAMANO-OLIVEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciências

São Carlos  
2006

---

---

**COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DO RESERVATÓRIO DE BARRA  
BONITA E SUA RELAÇÃO COM A COMPOSIÇÃO E QUANTIDADE DE  
POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES E AGREGADOS  
GELATINOSOS**

**MARIA JOSÉ DELLAMANO-OLIVEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciências.

São Carlos  
2006

---

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

D357cf

Dellamano-Oliveira, Maria José.

Comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita e sua relação com a composição e quantidade de polissacarídeos extracelulares e agregados gelatinosos / Maria José Dellamano-Oliveira. -- São Carlos : UFSCar, 2006.

99 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2006.

1. Limnologia. 2. Fitoplâncton. 3. Polissacarídeos extracelulares dissolvidos. 4. Agregados. 5. Reservatórios do Rio Tietê. I. Título.

CDD: 574.52632 (20<sup>a</sup>)

ORIENTADOR

---

**Prof. Dr. Armando Augusto Henriques Vieira**

CO-ORIENTADORA

---

**Profa. Dra. Célia Leite Sant'Anna**

*Aos meus dois amores: Alexandre e Pedro*

*Aos meus pais: Nelson e Evair, pelo amor e  
dedicação sempre...*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todos que contribuíram de alguma forma para a finalização de mais esta etapa:

Ao Prof. Dr. Armando Augusto Henriques Vieira, pela orientação, incentivo, pelos ensinamentos e acima de tudo pela oportunidade.

À Profa. Dra. Célia Leite Sant'Anna, do Instituto de Botânica, pela co-orientação.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão de bolsa (processo número 02/02517-6), no período de julho de 2002 a janeiro de 2006.

Ao Prof. Dr. Pedro Américo Cabral Senna (*in memoriam*) por seus ensinamentos, por sua dedicação e acima de tudo pela sua coragem e amizade.

À Profa. Dra. Odete Rocha, da UFSCar, pelo seu incentivo, amizade e por suas sugestões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais e aos Departamentos de Botânica e de Ecologia e Biologia Evolutiva da Universidade Federal de São Carlos, pela infra-estrutura necessária à realização deste trabalho.

Ao técnico e amigo Luis Joaquim, pelo auxílio indispensável na realização das coletas.

À amiga Vanessa Colombo, pela ajuda indispensável durante as coletas e análises em laboratório.

À amiga Dra. Saionara Salomoni e a Prof. Dra. Lezilda Torgan, da Fundação Zoobotânica, pela identificação das diatomáceas.

Aos colegas do laboratório de Ficologia: Thais Bittar, Sebastião Antônio, Pedro Ivo Ortolano, Roseli, Sandra Gouvêa, Silvia Fatibello, Vanessa Colombo e Luis Sartori, pelo incentivo e acima de tudo pela amizade.

A todos os amigos, que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

À minha família, pelo apoio em todos os momentos.

Ao meu marido Alexandre, pela compreensão, pelo apoio e pela ajuda hoje e sempre.

Ao meu filho Pedro, por me trazer tanta felicidade!

A Deus...



## Lista de Figuras

### Capítulo 1. Apresentação

Figura 1. Localização do reservatório de Barra Bonita no Estado de São Paulo e do ponto de coleta (o).

### Capítulo 2. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita (S.P., Brasil).

Figura 1. Valores de pluviosidade (mm), profundidade máxima (m) e Zeu (m), registrados durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

Figura 2. Valores de vazão ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) e tempo de residência (dias) registrados durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004).

Figura 3. Isolinhas da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) na coluna d'água do reservatório de Barra Bonita, durante as coletas mensais (1 = abril de 2002 a 21 = janeiro de 2004).

Figura 4. Isolinhas da concentração de O.D. ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na coluna d'água do reservatório de Barra Bonita, durante as coletas mensais (1 = abril de 2002 a 21 = janeiro de 2004).

Figura 5. Concentração de clorofila a e densidade das classes fitoplanctônicas durante os meses de abril de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 6. Densidade (%) das classes fitoplanctônicas registrada durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

Figura 7. Ordenação das espécies abundantes e das coletas mensais pela CCA, nos eixos 1 e 2. (CCA mensal: ( $\Delta$ ) – coletas; ( $\bullet$ ) – espécies).

Figura 8. Ordenação das espécies abundantes e das coletas intensivas pela CCA, nos eixos 1 e 2. (CCA intensiva: ( $\blacktriangle$ ) – coletas dezembro; ( $\Delta$ ) – coletas junho; ( $\bullet$ ) – espécies).

Figura 9. Densidade (%) dos táxons mais representativos durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

Figura 10. Riqueza e índices de diversidade ( $\text{bits.ind}^{-1}$ ), registrados durante as coletas mensais mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

### **Capítulo 3. Carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes**

Figura 1. Concentração de carboidratos poliméricos ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das classes fitoplanctônicas mais abundantes registradas no reservatório de Barra Bonita durante os meses de junho/02 a janeiro/04.

Figura 2. Concentração (%) dos monossacarídeos poliméricos do reservatório de Barra Bonita, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 3. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de ramnose polimérica e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 4. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de glicose polimérica e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 5. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de galactose polimérica e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 6. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de fucose polimérica e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 7. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de arabinose polimérica e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

Figura 8. Concentração ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) dos monossacarídeos livres glicose, frutose e ribose e densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes no reservatório de Barra Bonita durante os meses de junho/02 a janeiro/04.

Figura 9. Ordenação da concentração de carboidratos poliméricos hidrolisáveis e das coletas (junho/02 a janeiro/04) pela AC, nos eixos 1 e 2.

Figura 10. Ordenação das espécies abundantes e das coletas mensais pela CA, nos eixos 1 e 2 (Espécies - (◆); Coletas - (●)).

#### **Capítulo 4. Estudo dos agregados gelatinosos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes**

Figura 1. Número de agregados gelatinosos ( $L^{-1}$ ) e densidade total ( $ind.mL^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae e Bacillariophyceae, durante todo período de estudo.

Figura 2. Porcentagem de agregados gelatinosos registrados durante as coletas mensais, nas seis profundidades amostradas.

Figura 3. Número de agregados gelatinosos, registrados durante as coletas intensivas de junho e dezembro de 2003, nas seis profundidades amostradas.

Figura 4. Densidade ( $ind.mL^{-1}$ ) de células livres de *Microcystis* sp e de *A. granulata* e número de agregados gelatinosos ( $L^{-1}$ ) formados, durante os meses de abril/02 a janeiro/04.

Figura 5. Aspecto geral do agregado gelatinoso com células de *Microcystis* sp e filamento de *A. granulata* (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

Figura 6. Aspecto geral do agregado gelatinoso com filamento de *Planktothrix tropicalis*, filamento de *A. granulata* e zooplâncton (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

Figura 7. Aspecto geral do agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata* e partículas não identificadas (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

Figura 8. Agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata* (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

Figura 9. Número de agregados gelatinosos ( $L^{-1}$ ) e porcentagem de ocorrência de *A. granulata* e células livres de *Microcystis* sp nos agregados, durante os meses de abril/02 a janeiro/04.

Figura 10. Número de agregados gelatinosos ( $L^{-1}$ ) e porcentagem de ocorrência de *A. granulata*, células livres de *Microcystis* sp e *M. aeruginosa* nos agregados, durante as coletas intensivas de junho e dezembro/03.

Figura 11. Porcentagem de ocorrência dos monossacarídeos registrados no polissacarídeo dos agregados gelatinosos, durante o período de estudo.

Figura 12. Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos monossacarídeos componentes dos polissacarídeos dos agregados gelatinosos.

## Lista de tabelas

### **Capítulo 2. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita (S.P., Brasil)**

Tabela 1. Concentração média ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos nutrientes nitrogenados e fosfatados, de fósforo e nitrogênio total, de sílica e de clorofila a, registradas durante as coletas mensais (Janeiro de 2003 a Janeiro de 2004) (VT= variação temporal; \*= amostras perdidas ).

Tabela 2. Concentração média ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dos nutrientes nitrogenados e fosfatados, de fósforo e nitrogênio total, de sílica e de clorofila a, registradas durante as coletas intensivas (junho e dezembro/03) (VT= variação temporal; \* abaixo do nível de detecção do método).

Tabela 3. Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência canônica (CCA) sobre as espécies fitoplanctônicas abundantes durante as coletas mensais (janeiro de 2003 a janeiro de 2004).

Tabela 4. Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência canônica (CCA) sobre as espécies fitoplanctônicas abundantes durante as coletas intensivas (junho e dezembro de 2003).

### **Capítulo 3. Carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes**

Tabela 1. Concentração ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) dos carboidratos dissolvidos totais, poliméricos e de monossacarídeos livres registradas no reservatório de Barra Bonita, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004 (VT= variabilidade temporal; VE= variabilidade espacial).

Tabela 2. Estatística descritiva da composição monossacarídica dos carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004. As concentrações são expressas em ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) (s= desvio padrão; VT= variação temporal; VE= variação espacial; Man/Xil = Manose e Xilose).

Tabela 3 - Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência (CA) sobre a concentração dos carboidratos poliméricos hidrolisáveis durante todo período de coleta.

Tabela 4. Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência (CA) sobre as espécies fitoplanctônicas abundantes durante todo período de coleta.

#### **Capítulo 4. Estudo dos agregados gelatinosos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes**

Tabela 1. Número de agregados registrados durante as coletas mensais (VT=variabilidade temporal; VE=variabilidade espacial).

Tabela 2. Número de agregados registrados durante as coletas intensivas (VT=variabilidade temporal; VE=variabilidade espacial).

Tabela 3. Valores mínimos, máximos e médios do tamanho dos agregados e a área ( $\mu\text{m}^2$ ) destas partículas, encontrados no reservatório de Barra Bonita, durante o período de estudo (C= comprimento; L= largura e D= diâmetro).

---

## Índice

### **Capítulo 1. Apresentação**

<b>1 – Apresentação</b> .....	02
<b>2 – Objetivos</b> .....	03
<b>3 - Local de estudo</b> .....	04
<b>4 – Material e métodos</b> .....	05
<b>4.1 Período e estação de amostragem</b> .....	05
<b>4.2 – Variáveis abióticas</b> .....	05
<b>4.3 – Variáveis biológicas</b> .....	06
<b>Clorofila <i>a</i></b> .....	06
<b>Análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica</b> .....	06
<b>Sistemas de classificação</b> .....	06
<b>Análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica</b> .....	07
<b>Espécies dominantes e abundantes</b> .....	07
<b>Riqueza de espécies</b> .....	07
<b>Índices</b> .....	07
<b>4.4 – Caracterização dos carboidratos dissolvidos</b> .....	07
<b>4.5 – Agregados gelatinosos</b> .....	09
<b>4.5.1 - Polissacarídeos presentes nos agregados</b> .....	09
<b>5 – Tratamento estatístico</b> .....	12
<b>6 – Referências Bibliográficas</b> .....	13

### **Capítulo 2. Dinâmica Da Comunidade Fitoplanctônica Do Reservatório De Barra (S.P., Brasil)**

<b>Resumo e Abstract</b> .....	18
<b>Introdução</b> .....	19

<b>Resultados</b> .....	20
<b>Discussão</b> .....	33
<b>Agradecimentos</b> .....	36
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	36

**Capítulo 3. Carboidratos Poliméricos Do Reservatório De Barra Bonita E Sua Relação Com As Algas Fitoplanctônicas Abundantes**

<b>Resumo e Abstract</b> .....	40
<b>Introdução</b> .....	41
<b>Resultados</b> .....	42
<b>Discussão</b> .....	56
<b>Agradecimentos</b> .....	60
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	60

**Capítulo 4. Estudo Dos Agregados Gelatinosos (Lake Snow) Do Reservatório De Barra Bonita E Sua Relação Com As Algas Fitoplanctônicas Abundantes**

<b>Resumo e Abstract</b> .....	66
<b>Introdução</b> .....	67
<b>Resultados</b> .....	69
<b>Discussão</b> .....	82
<b>Agradecimentos</b> .....	85
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	86
<b>Conclusões</b> .....	91
<b>Anexo 1.</b> Lista geral das espécies registradas no estudo qualitativo das populações.....	94
<b>Anexo 2.</b> Fotos de algumas algas e agregados gelatinosos registrados neste estudo.....	95



---

# **CAPÍTULO 1**

**APRESENTAÇÃO**

**OBJETIVOS**

**ÁREA DE ESTUDO**

**METODOLOGIA**

**TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

---

## 1. Apresentação

O reservatório de Barra Bonita (22°29' a 22°44'S e 48°10' a 48°34'W) faz parte de uma série de reservatórios artificiais do Rio Tietê e tem a finalidade de geração de energia elétrica, mas também é utilizado nas atividades de lazer, navegação e como depósito dos despejos domésticos e industriais, principalmente do beneficiamento da cana de açúcar.

Este reservatório é um ecossistema polimítico, eutrófico, onde os altos níveis de nutrientes contribuem para o desenvolvimento de florações, principalmente de *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) durante o verão e de *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) no inverno (Dellamano-Oliveira et al., em preparação).

Os produtos da excreção por estas florações podem contribuir significativamente para o pool de carbono orgânico dissolvido (Gouvêa et al., 2005) e ser uma fonte de polissacarídeos extracelulares (EPS) para o sistema (Dellamano-Oliveira et al., em preparação).

Estes polissacarídeos, uma vez produzidos e liberados pelas células algais, participam da formação dos TEP (Transparent Exopolymer Particles), que podem compor a matriz dos agregados gelatinosos (Alldredge et al., 1993, 1998), os quais são importantes na liberação e reciclagem de matéria orgânica nos ecossistemas lacustres (Grossart & Simon, 1993).

Este estudo propôs-se a analisar os processos de produção, destino e função dos carboidratos dissolvidos e dos agregados gelatinosos, em função da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita. Para tanto, as coletas foram realizadas mensalmente (abril de 2002 a janeiro de 2004) em um único ponto do reservatório, localizado 3 Km à montante da barragem, em seis diferentes profundidades (0m, 1m, 3m, 5m, 10m e 17m).

## **2. Objetivos**

O objetivo central deste estudo foi relacionar a dinâmica das algas fitoplanctônicas abundantes do reservatório de Barra Bonita, com a composição e a concentração dos carboidratos dissolvidos, especialmente os polissacarídeos e com os agregados gelatinosos.

### **Os objetivos específicos foram:**

1. caracterizar a comunidade fitoplanctônica através da análise quantitativa e do estudo taxonômico ao nível mais detalhado possível, visando o conhecimento de sua composição e estrutura;
2. caracterizar qualitativa e quantitativamente os carboidratos dissolvidos (totais, poliméricos e livres) e determinar a composição monossacarídica dos polissacarídeos livres e coloidais na coluna d'água;
3. correlacionar a concentração e a composição dos carboidratos poliméricos com as espécies fitoplanctônicas abundantes;
4. quantificar os agregados gelatinosos nas seis diferentes profundidades amostradas;
5. identificar as espécies de algas fitoplanctônicas aderidas a estas partículas.

### 3. Local de estudo

O reservatório de Barra Bonita situa-se na Bacia do Médio Tietê Superior, na região central do Estado de São Paulo, entre os municípios de Igarapu e Barra Bonita ( $22^{\circ}29'$  a  $22^{\circ}44'S$  e  $48^{\circ}10'$  a  $48^{\circ}34'W$ ), a uma altitude de 430m (Figura 1). Localizado numa das regiões mais populosas e desenvolvidas do Brasil, a barragem foi construída em 1963, constituindo-se parte do complexo de barragens situadas no rio Tietê, com uma área alagada de  $324,84 \text{ Km}^2$ , formada a partir do represamento dos rios Tietê e Piracicaba.

O reservatório de Barra Bonita localiza-se numa área de transição entre os climas tropical e subtropical. Neste estudo, o período seco foi de abril a setembro e o período chuvoso foi de outubro a março. A sazonalidade foi determinada, principalmente, pela pluviosidade, pelo vento, pela vazão e pelo tempo de residência da água, que variou de 60 a 220 dias.

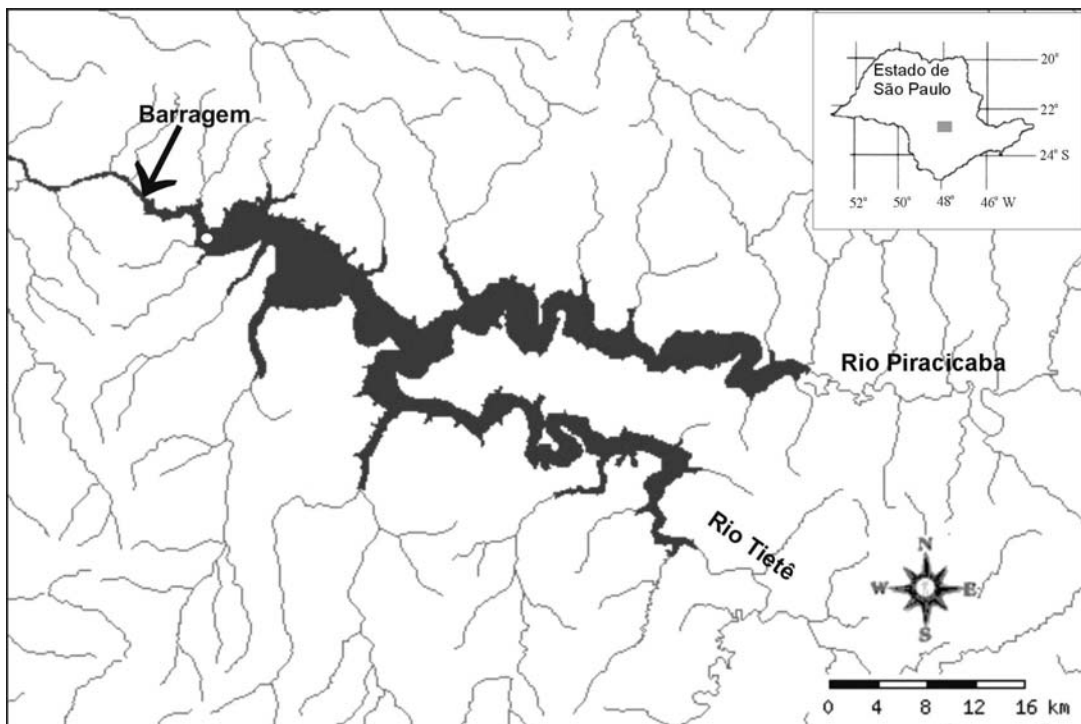


Figura 1. Localização do reservatório de Barra Bonita no Estado de São Paulo e do ponto de coleta (o).

## **4. Material e Métodos**

### **4.1. Período e estação de amostragem**

As amostras referentes ao estudo da comunidade fitoplanctônica e dos agregados gelatinosos foram coletadas durante 21 meses, nos períodos chuvoso e seco, em seis diferentes profundidades na coluna d'água (0m, 1m, 3m, 5m, 10m e 17m), em um ponto fixo do reservatório, localizado cerca de 3 Km à montante da barragem. Devido à necessidade de padronização nas metodologias utilizadas no estudo dos carboidratos dissolvidos (totais, poliméricos e livres), as coletas para este fim iniciaram-se em junho de 2002 e terminaram em janeiro de 2004, totalizando 19 meses. As análises das concentrações dos nutrientes (totais e dissolvidos) iniciaram-se em janeiro de 2003 e foram finalizadas em janeiro de 2004, totalizando 13 meses.

Para estudar a variabilidade e as flutuações temporais no reservatório de Barra Bonita, envolvendo a comunidade fitoplanctônica, também foram realizadas duas coletas intensivas, por um período de cinco dias consecutivos cada, nos meses de junho (época seca) e dezembro de 2003 (época chuvosa).

### **4.2. Variáveis abióticas**

- Os dados de pluviosidade, vazão e tempo de residência (TR) foram fornecidos pela AES Incorporation (operadora da usina hidrelétrica) e coletados na estação meteorológica da UHE de Barra Bonita (SP).
- As medidas de temperatura da água (°C) e de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) foram realizadas no campo em perfis verticais, com o auxílio do aparelho Horiba, modelo U23.
- A transparência da água (m) foi determinada utilizando-se um disco de Secchi, segundo recomendações de Lund & Talling (1957).
- A zona eufótica (Zeu) foi determinada com um Quanta Meter LiCor LI 250, com sensor LI-193-SA.

- As concentrações dos nutrientes foram determinadas em laboratório, utilizando-se aproximadamente 500ml de amostra. Para determinação das concentrações dos nutrientes dissolvidos, as amostras foram filtradas em filtros GF/C com 1,2 $\mu$ m de poro, segundo as seguintes metodologias: nitrito (N-NO<sub>2</sub>) e sílica (Si) (Golterman *et al.*, 1978); amônio (N-NH<sub>4</sub>) (Koroleff, 1976); fosfato total dissolvido (PTD) e fosfato inorgânico (PI) (Strickland & Parsons, 1960). As concentrações de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) foram determinadas segundo metodologia descrita em Valderrama (1981).

### 4.3. Variáveis biológicas

- Clorofila *a*: As amostras foram filtradas (aproximadamente 300 mL) em filtros de membrana de acetato de celulose, com 47mm de diâmetro e 0,45 $\mu$ m de poro. As concentrações de clorofila *a* ( $\mu$ g.L<sup>-1</sup>) foram obtidas segundo metodologia descrita por Talling & Driver (1963) e a extração foi feita com mistura de acetona 90% e dimetilsulfóxido (DMSO), na proporção 1:1.
- Análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica: As amostras foram coletadas através de arrastos horizontais, utilizando-se rede de plâncton, com 20 $\mu$ m de abertura de malha e fixadas com formalina 4%. A identificação dos táxons foi feita a partir da análise populacional, sempre que possível, ao menor nível taxonômico, utilizando-se um microscópio binocular da marca Carl Zeiss, modelo Axioscop, com resolução máxima de 2560 vezes. Para a identificação das diatomáceas foram feitas lâminas permanentes com resina náfrax, de acordo com a metodologia descrita em Moreira-Filho & Valente-Moreira (1981).
- Sistemas de classificação: Para as diatomáceas foi utilizado o sistema de classificação de Round *et al.* (1990); para as Conjugatophyceae, o de Förster (1982); para as Cyanophyceae, o de Anagnostidis & Komárek (1988,1989) e Komárek & Anagnostidis (1999); para as Chlorococcales (Chlorophyceae), o de Komárek & Fott (1983); para as demais classes, o de Bourrelly (1981, 1985).

- **Análise quantitativa da comunidade fitoplanctônica:** Para o estudo quantitativo, as amostras foram coletadas nas seis profundidades citadas anteriormente, utilizando-se garrafa tipo Van Dorn. As amostras coletadas foram colocadas em um frasco de volume conhecido (100ml), preservadas em lugol e mantidas no escuro até o momento da análise. A quantificação do fitoplâncton foi feita de acordo com o método de sedimentação em câmaras, descrito por Utermöhl (1958) e o tempo de sedimentação foi de acordo com Margalef (1983). O procedimento de contagem foi realizado por meio de transectos, utilizando-se um microscópio invertido da marca Zeiss, modelo Axiovert, com aumento máximo de 1000 vezes. O limite de contagem foi determinado por meio da estabilização da curva de espécies, no qual um número suficiente de campos é contado até que se estabilize o número de espécies adicionadas por campo. Cada célula, cenóbio, colônia ou filamento foi considerado como um indivíduo e os resultados foram expressos em indivíduos.mL<sup>-1</sup> e calculados de acordo com Ros (1979).
- **Espécies dominantes e abundantes:** Foram determinadas segundo o critério descrito em Lobo & Leighton (1986).
- **Riqueza de espécies:** Foi expressa como sendo o número total de táxons presentes nas amostras.
- **Índices:** O cálculo do índice de diversidade (H') foi feito de acordo com o índice de Shannon-Wiener (Shanon & Wiener, 1963) e a equitabilidade ou uniformidade (J) foi avaliada de acordo com Pielou (1975).

#### **4.4. Caracterização dos carboidratos dissolvidos (totais e poliméricos) e dos monossacarídeos livres**

- As amostras foram coletadas durante 19 meses, num único ponto do reservatório, nas seis profundidades citadas anteriormente, utilizando-se uma garrafa tipo Van Dorn.
- Análise dos polissacarídeos e dos monossacarídeos livres: as amostras coletadas foram filtradas (aproximadamente 100ml) em filtros de fibra de vidro Whatman GF/F, com poro de 0,7µm. Após a filtragem, as amostras foram concentradas em rota evaporador a 40°C e subdivididas em

duas sub-amostras. A primeira sub-amostra foi analisada diretamente em HPLC-PAD, sem hidrólise, para obtenção dos monossacarídeos livres e a outra foi hidrolisada para obtenção dos monossacarídeos totais (livres + poliméricos). Pela diferença (Poliméricos = Totais – Livres), foram obtidas as concentrações de monossacarídeos que faziam parte dos polissacarídeos. A metodologia utilizada está descrita em Wicks *et al.* (1991) e Mopper *et al.* (1992), com modificações de Jørgensen & Jensen (1994) e Gremm (1997).

- Em resumo, a metodologia utilizada para identificação e quantificação por HPLC-PAD foi a seguinte: monossacarídeos livres e alguns dissacarídeos foram separados como ânions em uma solução alcalina (eluente, 18mM NaOH) através de HPLC. Para tanto foi utilizada uma coluna CarboPac PA-10, preenchida com resina polimérica não porosa com capacidade de troca aniônica de 100µeq e/ou coluna MA-1 (Dionex<sup>®</sup>) preenchida com resina “microporosa” polimérica com capacidade de troca aniônica de 4500µeq., dependendo das concentrações e dos açúcares presentes no local. Ambas as colunas têm a mesma sensibilidade e precisão, mas diferentes seletividades para os monossacarídeos. Os monossacarídeos e oligossacarídeos foram detectados em uma célula amperométrica equipada com um eletrodo de referência Ag/AgCl e um eletrodo detetor de ouro, no qual, os carboidratos-ânions são oxidados. O eletrodo de ouro foi exposto a um pulso amperométrico positivo/negativo para a remoção dos produtos oxidados de maneira que o eletrodo detetor ficasse livre em curtíssimo intervalo de tempo para a detecção de outros ânions que iam chegando ao detetor, após separação na coluna CarboPac PA-10. Com o emprego de padrões apropriados pode-se identificar os monossacarídeos, dissacarídeos e até pequenos oligossacarídeos. Na impossibilidade de contar com padrões para determinados dissacarídeos e oligossacarídeos, estes foram hidrolisados juntamente com os polissacarídeos e seus monossacarídeos constituintes identificados e quantificados.



#### 4.5. Agregados gelatinosos

- Os agregados gelatinosos foram coletados diretamente da coluna d'água por meio de amostragens de água, utilizando-se garrafa tipo Van Dorn, juntamente com as amostras quantitativas do fitoplâncton.
- O material coletado foi filtrado (aproximadamente 2 litros) em tela de 75 $\mu$ m para separação dos agregados gelatinosos. As partículas aderidas na tela foram retiradas com água destilada (volume conhecido, mas variável em cada amostra ) e coradas com Alcian Blue para realce dos contornos dos agregados, conforme recomendado por Passow & Aldredge (1995<sub>b</sub>).
- A quantificação dos agregados e a identificação das partículas aderidas a eles foi feita segundo a metodologia utilizada para o fitoplâncton, utilizando-se o microscópio invertido.
- O tamanho (comprimento, largura e diâmetro) e a área ( $\mu$ m<sup>2</sup>) dos agregados foi determinado utilizando-se uma régua milimetrada acoplada ao microscópio invertido. O registro de medidas menores que 75 $\mu$ m foi devido aos agregados encontrados nas amostras do estudo quantitativo do fitoplâncton, que não foram filtradas na tela.

##### 4.5.1. Composição e concentração dos polissacarídeos presentes nos agregados

- **Coleta:** as amostras foram coletadas utilizando-se garrafa tipo Van Dorn, nas seis profundidades citadas anteriormente e integradas (aproximadamente 2 litros de cada profundidade). Estas amostras integradas foram filtradas em tela de 75 $\mu$ m para separação dos agregados gelatinosos e, novamente, filtradas utilizando-se filtros de fibra de vidro Whatman GF/F (0,7 $\mu$ m de poro) para obtenção dos polissacarídeos.
- **Extração dos polissacarídeos:** a extração dos polissacarídeos contidos nestes filtros foi feita utilizando-se 40 ml de solução de pirofosfato sódico 0,2M, aquecido a aproximadamente 40°C, com agitação, por uma hora. Este processo foi repetido, utilizando-se 20ml de pirofosfato 0,2M. Após a extração com pirofosfato, as amostras foram dialisadas em tubos de diálise (Spectrapor®) (previamente fervidos em NaOH 2%) com poros que excluem moléculas de 12 a

14 kDa, durante 24 horas em água corrente e, novamente, em água destilada, para eliminação das moléculas menores que 12 a 14 kDa. Neste processo foram adicionadas algumas gotas de tolueno para evitar o crescimento bacteriano. Após a diálise o material foi liofilizado em aparelho Labconco 4.5 e o material flocoso resultante mantido em freezer a  $-10^{\circ}\text{C}$  até a análise dos monossacarídeos componentes do polissacarídeo dos agregados gelatinosos.

- **Análise dos monossacarídeos componentes do polissacarídeo dos agregados gelatinosos:** as amostras (material flocoso) foram pesadas (1mg), metanolizadas e derivatizadas a O – Trimetilsilil derivados e analisadas em cromatógrafo de gás HP 5890, Série II, equipado com coluna DB-5 (J & W Scientific) de sílica com 30cm e 0,32mm de diâmetro interno. Este tipo de cromatografia pode separar gases ou substâncias volatilizáveis (fase móvel) através de uma coluna de sílica (fase estacionária) em temperaturas adequadas que possibilitam a volatilização da amostra. Estas substâncias são volatilizadas em tempos diferentes dependendo das propriedades físicas da molécula. O uso de um detector adequado (FID) na saída da coluna possibilita a detecção e quantificação destas substâncias.
- As metodologias seguidas foram: Reinhold (1972), com algumas modificações introduzidas por Paulsen & Vieira (1994).
- A preparação da amostra liofilizada para análise em cromatógrafo a gás inclui os seguintes itens: metanolização, retirada do HCL e derivatização.
- **Metanolização:** utilizou-se aproximadamente 1mg da amostra. A esta quantidade de amostra (colocada em tubos selados com revestimento de Teflon®) acrescentou-se  $1,02\mu\text{g}$  de manitol dissolvido em 1M de HCL/metanol (o manitol é usado como padrão interno). Esta mistura foi deixada em estufa a  $80^{\circ}\text{C}$  por 20 horas com a tampa bem apertada.
- **Retirada do HCL:** após a metanólise o HCL/metanol foi retirado das amostras através de secagem por fluxo com nitrogênio até sua completa evaporação. As amostras foram então lavadas três vezes com  $100\mu\text{L}$  de metanol, secas com nitrogênio e colocadas dentro de dissecador sob vácuo. O dissecador foi colocado dentro de estufa ( $60^{\circ}\text{C}$ ) por 2 horas. Antes da

derivatização, as amostras foram reacetiladas para detectar os açúcares aminados N-acetil glicosamina e N-acetil galactosamina.

- **Derivatização:** adicionou-se as amostras metanolizadas secas 200 $\mu$ L de TMS (hexametildisilazano + trimetil-clorsilan + piridina, na proporção 2:1:3). A solução foi agitada (em agitador “vortex”) por 30 segundos e depois deixada por meia hora em temperatura ambiente antes da análise.
- **Análise das amostras em cromatógrafo de gás:** as amostras foram injetadas em cromatógrafo de gás com microseringa previamente lavada com piridina. Apenas 1 $\mu$ L de amostra tratada foi injetada utilizando-se o seguinte programa de temperatura: Temperatura de injeção = 140°C e temperatura do detecetor = 280°C. Após a injeção da amostra, a temperatura era de 140°C, seguido de uma elevação de 1°C por minuto até 170°C e a partir desse ponto a elevação da temperatura foi de 6°C por minuto até atingir 280°C e para a limpeza da coluna, elevação de 20°C por minuto até 300°C. As análises foram feitas no modo “split” e a identificação e determinação das concentrações dos monossacarídeos foram feitas através do software “ChemStation” (HP).

## 5. Tratamento estatístico

- A fim de verificar diferenças temporais significativas entre as variáveis limnológicas bióticas e abióticas, foi aplicado o teste paramétrico de Tukey (Anova one-way), com nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05. Nem todas as variáveis apresentaram os pré-requisitos para a aplicação do teste paramétrico, como homogeneidade de variância, distribuição normal e aleatoriedade dos dados (Zar, 1996) e, portanto, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Estes testes também foram utilizados para verificar a existência de diferenças espaciais verticais significativas entre as coletas.
- A análise de correspondência canônica (CCA) foi utilizada para determinar o gradiente temporal e estimar as variáveis ambientais que influenciaram na abundância e dinâmica das espécies fitoplanctônicas no reservatório. A correlação entre as variáveis limnológicas abióticas e as espécies abundantes foi estimada usando o teste de Monte Carlo.
- A análise de correspondência (CA) foi aplicada para verificar o gradiente temporal entre as espécies fitoplanctônicas consideradas abundantes, durante todo período de estudo (abril/02 a janeiro/04) e também sobre as concentrações de monossacarídeos hidrolisáveis, durante todo período de estudo (junho/02 a janeiro/04). Os dados foram previamente logaritimizadas ( $\log_{10} X+1$ ) para que as diferenças entre os valores de densidade e concentração dos monossacarídeos poliméricos fossem reduzidas.

## 6. Referências Bibliográficas

- ALLDREDGE, A. L.; PASSOW, U.; LOGAN, B. E. 1993. The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. *Deep-Sea Research I*, 1(40): 1131-1140.
- ALLDREDGE, A. L.; PASSOW, U.; HADDOCK, S. H. D. 1998. The characteristics and transparent exopolymer (TEP) content of marine snow formed from thecate dinoflagellates. *Journal of Plankton Research*, 20: 393-406.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3 - Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie*. 80 (1-4): 237-472 (Algological Studies, 50-53).
- \_\_\_\_\_. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 4 - Nostocales. *Archiv für Hydrobiologie*. 80 (1-4): 237-472 (Algological Studies, 50-53).
- BOURRELLY, P. 1981. *Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 2: les algues jaunes et brunes*. Paris Éditions N. Boubée, 517p.
- BOURRELLY, P. 1985. *Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 3: les algues bleues et rouges et brunes*. Paris Éditions N. Boubée, 606p.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J.; VIEIRA, A.A.H.; SANT'ANNA, C. L. & COLOMBO, V. *Dinâmica da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita (S.P., Brasil) (em preparação)*.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J.; VIEIRA, A.A.H. & COLOMBO, V. *Carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes (em preparação)*.
- FÖRSTER, K. 1982. *Conjugatophyceae: Zygnematales und Desmidiaceae*. In: HUBER PESTALOZZI, G. (Ed.) *Das Phytoplankton des süßwassers*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagschhandlung. 8: 1-543. Systematik und biologie.

- GOLTERMAN H. L.; CLYMO R. S.; OHNSTAD, M.A.M. 1978. *Methods for chemical analysis of freshwater* (IBP Handbook, n.8 2<sup>nd</sup> ed.). Oxford Blackwell Scientific Publications, 213p.
- GOUVÊA, S. P.; VIEIRA, A.A.H.; LOMBARDI, A. T. 2005. Copper and cadmium complexation by high molecular weight materials and of water from a eutrophic reservoir. *Chemosphere*, 60: 1332-1339.
- GREMM, T. J. 1997. Dissolved Carbohydrates in streamwater determined by HPLC and pulse amperometric detection, 42: 385-393.
- GROSSART, H. P.; SIMON, M. 1993. Limnetic macroscopic organic aggregates (lake snow): Occurrence, characteristics and microbial dynamics in lake Constance. *Limnology and Oceanography*, 38 (3): 532-546.
- JØRGENSEN, N. O. G.; JENSEN, R. E. 1994. Microbial fluxes of free monosaccharides and total carbohydrates in freshwater determined by PAD-HPLC. *FEMS Microbiology Ecology*, 14: 79-94.
- KOROLEFF, F. 1976. *Determination of nutrients*. In: GRASSHOFF, K., Ed. *Methods of seawater analysis*. Verlag. Chemie Weinheim., p. 117-181.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. 1999. *Chroococcales*. In: Ettl, A.; Gerloff, J.; Heynig, H.; Mollenhauer, D. (Eds.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 19. Stuttgart: G. Fischer Verlag, 548p.
- KOMÁREK, J.; FOTT, B. 1983. *Chlorophyceae – Chlorococcales*. In: Huber-Pestalozzi, G. *Das Phytoplankton des Süßwassers: Systematik und Biologie*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Pt. 7, 1044 p., (Die Binnengewässer, August Thienemann, ed. 16).
- LOBO, E.; LEIGHTON, G. 1986. Estructuras de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina*, 22 (1): 143-170.

- LUND, J. W. G., TALLING, J. F. 1957. Botanical limnological methods with special reference to the algae. *Botanical Review*, 23 (8-9): 489-583.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1010p.
- MOPPER, K.; SCHULTZ, C. A.; CHEVOLOT, L. REVUELTA, R.; DAWSON, R. 1992. Determination of sugar in unconcentrated seawater and other waters by liquid chromatography pulse amperometric detection. *Environment Science Technology*, 26: 133-138.
- MOREIRA-FILHO, H.; VALENTE-MOREIRA, I. M. 1981. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Bacillariophyceae epífitas em algas pluricelulares obtidas nos litorais dos Estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo). *Boletim do Museu de Botânica Mun.* 47: 1-17.
- PASSOW, U.; ALLDREDGE, A. L. 1995b. A dye binding assay for the spectrophotometric measurement of transparent exopolymer particles (TEP). *Limnology and Oceanography*, 40: 1326-1335.
- PAULSEN, B. S.; VIEIRA, A. A. H. 1994. Structure of the capsular and extracellular polyssacharides produced by the desmid *Spondylosium panduriforme* (Chlorophyta). *Journal of Phycology*, 30: 638-641.
- PIELOU, E. C. 1975. *Ecological diversity*. New York: Willey-Interscience, 165p.
- REINHOLD, V. N. 1972. Gas-Liquid chromatographic analysis of constituent carbohydrates in glycoproteins. *Methods Enzymol.*, 25: 244-249.
- ROS, J. 1979. *Práctica de ecologia*. Barcelona: Omega, 181p.
- ROUND, F. E.; CROWFORD, R. M.; MANN, D. G. 1990. *The diatoms: biology and morfology of the genera*. New York: Cambridge University Press, 747p.
- SHANNON, C. E.; WIENNER, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois, 173p.

- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. 1960. A manual of seawater analysis. *Bull. Fisheries Research Board Can.*, 125: 1-18.
- TALLING, J. F. & DRIVER, D. 1963. *Some problems in estimation of chlorophyll -a in phytoplankton*. Proc. Conference on primary productivity measurements, marine and fresh water, held. Univ. Have 1961. U.S. Atomic Energy Comm. TID-7633, p. 142-146.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton: methodic. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen*, 9: 1-38.
- VALDERRAMA, J. C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorous in natural waters. *Marc. Chemistry.*, 10: 109-122.
- WICKS, R. J.; MORAN, M. A.; PITTMAN, L. J. & HODSON, R. E. 1991. Carbohydrate signatures of aquatic macrophytes and their dissolved degradation products as determined by sensitive high-performance ion chromatography method. *Applied Environmental Microbiology*, 57: 3135-3143.
- ZAR, J. H. 1996. *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, 3<sup>th</sup> ed, 121p.



**CAPÍTULO 2****DINÂMICA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DO RESERVATÓRIO DE BARRA  
BONITA (S.P., BRASIL)**

---

ABSTRACT - (Dynamic of Phytoplanktonic community from Barra Bonita reservoir). A study of phytoplanktonic community from Barra Bonita Reservoir, at São Paulo State, is presented. Monthly collections between April 2002 and January 2004 and intensive collections (dry and wet periods), were performed. Samples of distinct depths (0m, 1m, 3m, 5m, 10m and 17m) were taken at a collection site localized 3 km upstream the Reservoir dam. Vertical distribution of the environmental and biological variables showed to be homogenous ( $p>0.05$ ), maybe due to wind action and rainfall regimes at the majority of the year, showing significant variability only at the temporal scale ( $p<0.05$ ). Generally, the highest values of richness and the species diversity were recorded in the dry period. In both periods, the relative abundance of the Cyanophyceae (colonies of *Microcystis aeruginosa* and free cells of *Microcystis* sp.) and Bacillariophyceae (*Aulacoseira granulata* filamentous) classes, was notably greater relative to other classes. The dynamic of phytoplanktonic community at Barra Bonita reservoir followed the premises of intermediary disturbance hypothesis, with equilibrium condition favoring the Cyanophyceae occurrence, and the disturbs, mainly represented by rainfall, outflow, wind and the retention time, allowing diversity increase and coexistence of R- strategists (diatoms) and S - strategists (cianofites) species.

Key words: phytoplankton, Reservoir, dynamic of community, ecology of phytoplankton.

RESUMO – (Dinâmica da Comunidade Fitoplanctônica do Reservatório de Barra Bonita). O estudo da dinâmica da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita foi realizado em coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (períodos seco e chuvoso), em seis profundidades na coluna d'água (0m, 1m, 3m, 5m, 10m e 17m), em um ponto fixo do reservatório, localizado 3 km a montante da barragem. A distribuição vertical das variáveis limnológicas bióticas e abióticas apresentou-se homogênea ( $p>0,05$ ), devido à ação do vento e da pluviosidade na maior parte do ano, apresentando variabilidade apenas em escala temporal ( $p<0,05$ ). Em geral, os maiores valores de riqueza e de diversidade de espécies foram registrados no período seco. Em ambos períodos, a abundância relativa das classes Cyanophyceae (colônias de *Microcystis aeruginosa* e células livres de *Microcystis* sp.) e Bacillariophyceae (filamentos de *Aulacoseira granulata*) foi notavelmente maior, quando comparada com as demais classes. A dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Barra Bonita seguiu as premissas da hipótese do distúrbio intermediário, onde as condições de equilíbrio favoreceram a ocorrência das cianofíceas, enquanto os distúrbios, representados, principalmente, pela pluviosidade, vazão, vento e tempo de retenção, permitiram o aumento na diversidade e coexistência de espécies R - estrategistas (diatomáceas) e S – estrategistas (cianofíceas).

Palavras chave: fitoplâncton, reservatório, dinâmica de comunidades, ecologia do fitoplâncton.

## Introdução

No Brasil, particularmente no Estado de São Paulo, o número de reservatórios destinados ao fornecimento de energia elétrica e abastecimento doméstico vem crescendo em função da demanda, tornando-se objeto de grande importância econômica e gerando interesse por abordagens científicas, principalmente dentro da Limnologia.

Os ambientes aquáticos estão sujeitos a alta variabilidade temporal, com freqüentes reorganizações na composição de espécies e na abundância relativa das comunidades fitoplanctônicas, como resultado das interações entre as variáveis físicas, químicas e biológicas (Reynolds, 1999). As causas destas seqüências têm sido explicadas não apenas pela teoria do equilíbrio (Hardin, 1960), mas também pela teoria do não equilíbrio (Hutchinson, 1961). Muitos autores têm incluído a Hipótese do Distúrbio Intermediário (IDH) em suas análises dos ecossistemas, porque esta afeta as características gerais das comunidades e a dinâmica das populações, especialmente a riqueza de espécies (Connell, 1978).

Atualmente, a IDH tem sido aplicada para o fitoplâncton (Padisák, 1993; Reynolds et al., 1993; Flöder & Sommer, 1999, Elliott et al., 2001; Bertrand et al., 2004) e os resultados obtidos sobre os efeitos e a freqüência dos distúrbios suportam a idéia de que esta hipótese é aplicável à comunidade fitoplanctônica na escala de um lago (Padisák, 1993). Segundo Reynolds et al. (1993), um distúrbio pode ser definido como um evento abiótico, variável, que resulta em mudanças na composição da comunidade fitoplanctônica e que interfere no seu estado organizacional.

Os estudos sobre a ecologia do fitoplâncton em reservatórios brasileiros podem ser considerados recentes, sendo a maioria deles concentrada na região Sudeste do país. Particularmente para o reservatório de Barra Bonita, a maior parte dos estudos sobre a comunidade fitoplanctônica tratam, principalmente, da produtividade primária. Dentre os diversos trabalhos realizados neste ambiente, podemos citar: Tundisi (1981), Henry *et al* (1985), Calijuri & Dos Santos (1996; 2001) e Calijuri *et al.* (2002). Portanto, este estudo torna-se importante por fornecer informações taxonômicas e ecológicas sobre a comunidade fitoplanctônica deste reservatório, ainda

pouco exploradas, além de servir como subsídio para os estudos dos processos envolvendo a comunidade fitoplanctônica, os carboidratos dissolvidos e a formação dos agregados gelatinosos, que estão sendo realizados neste ambiente.

Considerando-se o reservatório de Barra Bonita, um sistema eutrofizado, onde prevalecem as condições de mistura e cujo metabolismo é regido pelo vento, radiação solar, precipitação, vazões e tempo de residência da água (Calijuri et al., 2002), este estudo teve por objetivo caracterizar o efeito das mudanças temporais do ciclo hidrológico na estrutura da comunidade fitoplanctônica neste reservatório. Para tanto, a comunidade fitoplanctônica foi caracterizada, através da análise quantitativa e do estudo taxonômico, visando o conhecimento de sua composição e estrutura, bem como foram identificadas (quando existentes) as mudanças nas variáveis limnológicas bióticas e abióticas durante o período de estudo e a influência da sazonalidade climática na dinâmica e estrutura da comunidade fitoplanctônica.

## **Metodologia (Ver Capítulo 1)**

### **Resultados**

A figura 1 mostra os valores de profundidade máxima, zona eufótica (Zeu) e pluviosidade total, registrados durante as coletas mensais e intensivas e a figura 2 mostra os valores de vazão e tempo de residência da água durante as coletas mensais. A profundidade máxima registrada durante as coletas mensais foi, em média, de 17,8 metros, enquanto que nas coletas intensivas de inverno e verão, esta profundidade foi de 20 metros e 16 metros, em média, respectivamente. A variação no nível da água foi resultado do manejo operacional do reservatório, visto que nos meses onde a pluviosidade foi baixa (período seco), a profundidade total do reservatório e o tempo de residência foram maiores, enquanto a vazão foi menor (4447,8 a 5986,5 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Nos meses de maior pluviosidade (período chuvoso) a profundidade máxima do reservatório foi menor e a vazão variou, em média, de 5679,8 a 16221,7 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, enquanto que o TR foi, em média, de 75 dias. Em geral, os valores da Zeu foram mais baixos durante as coletas de verão, tanto nas amostragens mensais, quanto nas intensivas.

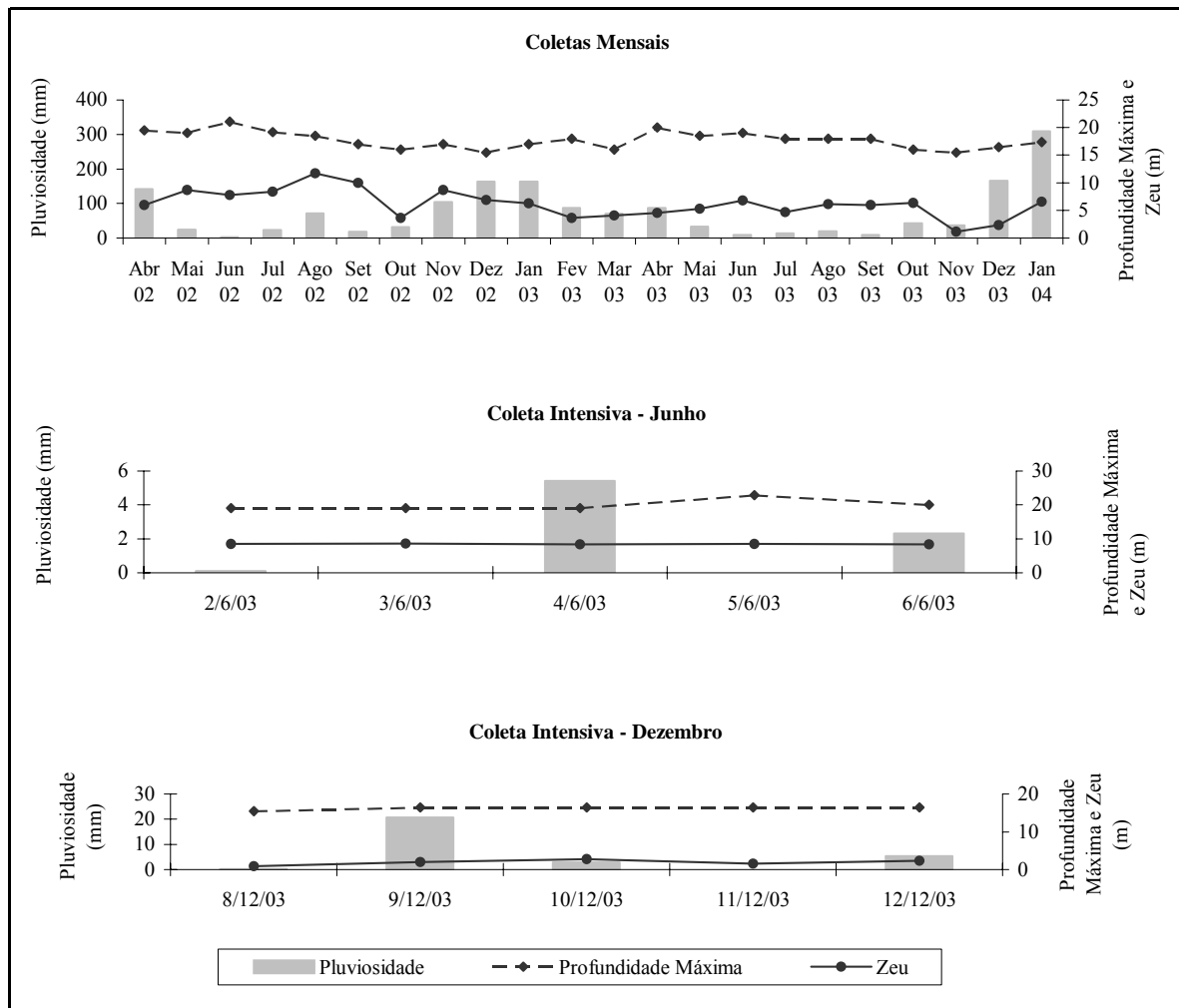


Figura 1. Valores de pluviosidade (mm), profundidade máxima (m) e Zeu (m), registrados durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

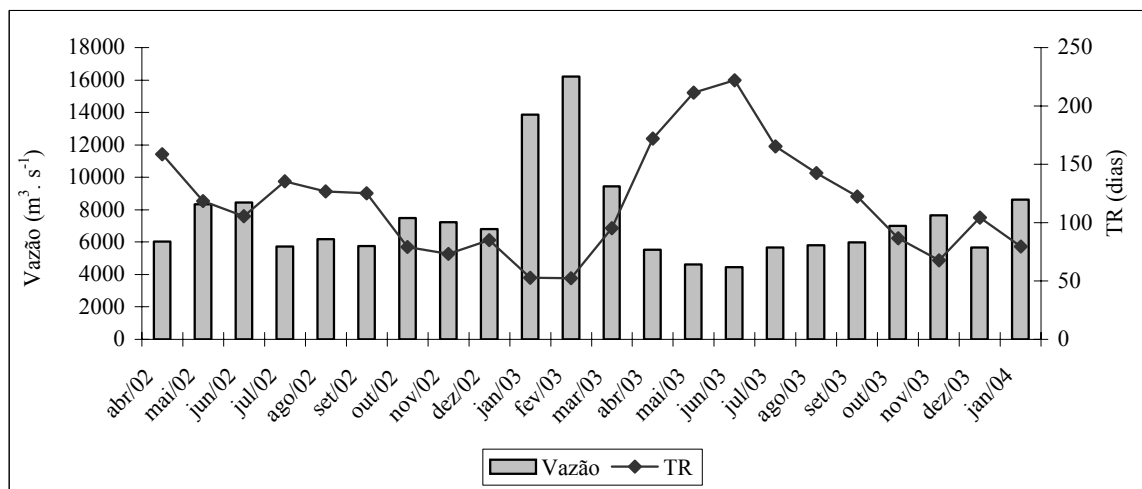


Figura 2. Valores de vazão ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) e tempo de residência (dias) registrados durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004).

A figura 3 mostra o perfil da temperatura da água (isolinhas) registrado durante as coletas mensais. A temperatura mínima registrada durante as coletas mensais foi de 19,7°C em julho/02 e a máxima foi de 29,7°C em fevereiro/03, correspondendo aos períodos de inverno/seco e verão/chuvoso, respectivamente. Durante as coletas intensivas, a menor temperatura foi registrada no mês de junho (21,7°C) e a maior em dezembro (31,3°C). Em geral, foram observadas estratificações térmicas durante os meses mais quentes, em consequência das altas temperaturas. Nos meses mais frios, a coluna d'água apresentou-se homogênea termicamente, devido à ocorrência dos ventos.

A figura 4 mostra o perfil da concentração de oxigênio dissolvido (isolinhas) registradas durante as coletas mensais. Em geral, o perfil de oxigênio dissolvido apresentou-se estratificado, tanto nas coletas mensais quanto nas intensivas e foram registradas baixas concentrações em alguns meses.

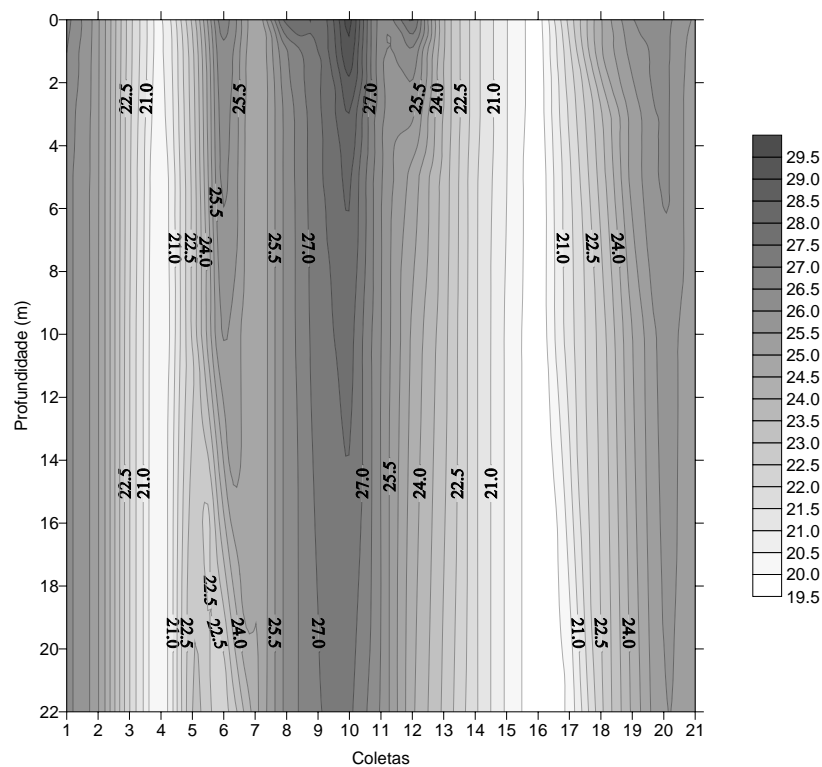


Figura 3. Isolinhas da temperatura (°C) na coluna d'água do reservatório de Barra Bonita, durante as coletas mensais (1 = abril de 2002 a 21 = janeiro de 2004).

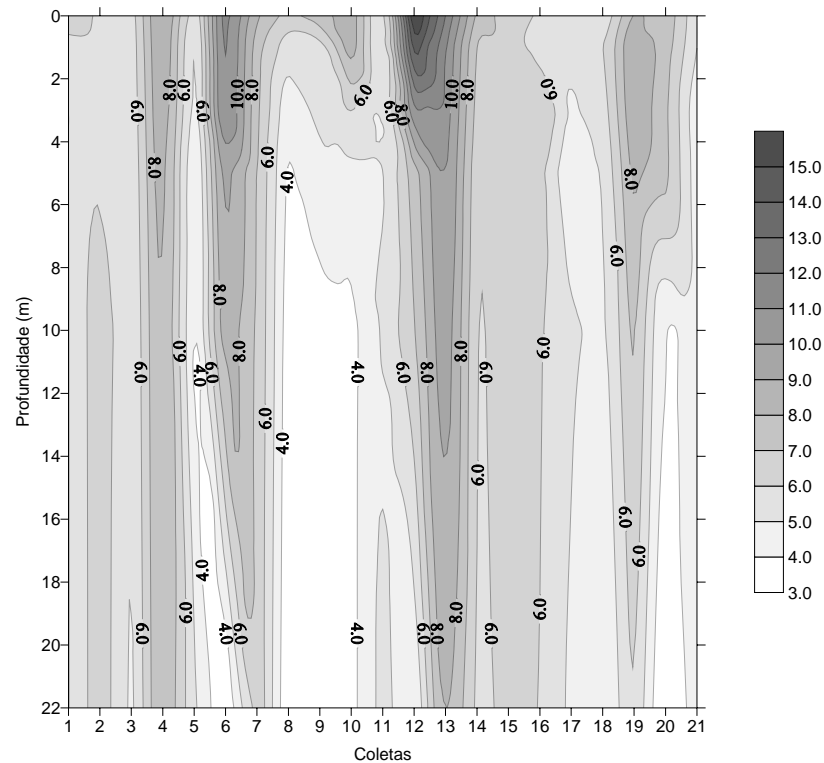


Figura 4. Isolinhas da concentração de O.D.(mg.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água do reservatório de Barra Bonita, durante as coletas mensais (1 = abril de 2002 a 21 = janeiro de 2004).

As tabelas 1 e 2 apresentam as concentrações dos nutrientes (totais e dissolvidos) e de clorofila a, registradas durante as coletas mensais e intensivas, respectivamente. Os valores apresentados referem-se à média das concentrações registradas nas seis profundidades amostradas. As concentrações dos nutrientes registradas neste estudo, principalmente nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e nitrato (N-NO<sub>3</sub>), foram características de ambientes eutrofizados. As maiores concentrações de NT, nitrito (N-NO<sub>2</sub>), PT, fósforo total dissolvido (PTD) e fósforo inorgânico (PI) foram registradas durante os meses mais quentes e de maior pluviosidade (verão), tanto nas coletas mensais quanto nas intensivas, enquanto que as concentrações de nitrato e sílica (Si) foram maiores nas coletas realizadas no inverno, provavelmente em função da circulação da coluna d'água.

Tabela 1. Concentração média dos nutrientes ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nitrogenados e fosfatados, de nitrogênio e fósforo totais, de sílica e de clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), registradas durante as coletas mensais (Janeiro de 2003 a Janeiro de 2004) (VE = variação espacial; VT= variação temporal; \*= amostras perdidas ).

Coletas	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	NT	PT	PI	PTD	Si	Clorofila <i>a</i>
jan-03	11,18	1674,05	4,17	3331,67	128,67	28,57	74,67	*	3,44
fev-03	15,02	2007,16	0,00	2588,54	76,17	20,50	63,50	4,67	0,46
mar-03	1,38	2393,02	4,48	4412,54	63,67	43,17	49,17	4,79	1,06
abr-03	2,24	2436,28	7,19	2940,51	53,33	32,40	25,67	4,60	2,59
mai-03	5,72	2532,02	28,75	3107,60	31,00	13,00	65,67	10,76	0,00
jun-03	3,09	2860,83	3,65	1806,04	49,50	*	46,83	3,60	0,16
jul-03	2,76	3162,74	2,71	2301,98	42,33	*	55,33	3,83	3,05
ago-03	22,90	1528,44	62,19	3366,56	44,00	*	20,79	2,81	7,67
set-03	20,20	1896,67	0,42	3562,29	89,17	109,72	46,98	1,49	28,73
out-03	30,43	1933,00	33,85	3351,35	146,42	170,14	61,21	1,74	0,06
nov-03	48,32	1899,83	10,10	3327,29	176,92	81,39	210,50	0,99	0,06
dez-03	44,24	1859,67	32,81	3385,52	177,00	127,50	0,12	1,28	0,10
jan-04	40,13	1801,61	104,69	3310,00	142,42	121,94	0,07	0,90	0,01
VE	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05
VT	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05

Tabela 2. Concentração média dos nutrientes ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nitrogenados e fosfatados, de nitrogênio e fósforo totais, de sílica e de clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), registradas durante as coletas intensivas (junho e dezembro/03) (VE = variação espacial; VT= variação temporal; \* abaixo do nível de detecção do método).

Coletas	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	NT	PT	PI	PTD	Si	Clorofila <i>a</i>
02/06/03	2,34	2681,79	19,69	2857,92	72,67	33,07	83,17	10,54	0,00
03/06/03	3,51	4879,17	28,44	2706,35	69,67	28,17	30,33	2,44	11,85
04/06/03	3,01	2957,26	36,25	2700,21	24,00	29,83	5,67	2,32	2,73
05/06/03	2,58	2357,14	0,94	2785,42	54,00	*	47,00	207,95	0,00
06/06/03	2,60	2563,10	1,25	2831,77	29,00	*	36,17	3,38	0,77
08/12/03	45,84	1842,22	16,98	3386,88	282,33	123,47	88,08	1,42	0,19
09/12/03	44,65	1879,44	13,75	2682,71	130,33	115,83	681,08	1,27	0,14
10/12/03	48,60	1889,17	63,96	3275,52	106,83	60,42	53,75	0,70	0,04
11/12/03	46,59	1883,72	20,52	3110,73	225,33	72,75	85,75	0,47	0,35
12/12/03	44,24	1859,67	32,81	3385,52	177,00	127,50	*	1,28	0,10
VE	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05
VT	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05	p<0,05	p>0,05



Os resultados obtidos através da análise de variância (ANOVA one-way), aplicada sobre as variáveis limnológicas abióticas em ambas amostragens (mensais e intensivas), mostraram que as concentrações dos nutrientes apresentaram-se homogêneas em relação à distribuição vertical ( $p>0,05$ ). Porém esta mesma análise mostrou a existência de variabilidade anual entre as coletas realizadas em 2002, daquelas realizadas em 2003, bem como uma heterogeneidade temporal entre os dois períodos amostrados (períodos chuvoso e seco).

Em geral, as maiores concentrações de clorofila *a* foram registradas durante o período seco, nas coletas mensais e intensivas, acompanhando o registro de elevadas densidades das algas, principalmente, cianofíceas (Figura 5). Quanto ao perfil vertical, as maiores concentrações ocorreram até os 3 metros de profundidade, em ambas amostragens, devido à presença do fitoplâncton na zona eufótica, principalmente cianofíceas. Porém, o teste de Tukey não detectou variabilidade espacial nem temporal significativas ( $p>0,05$ ) nas concentrações de clorofila *a*.

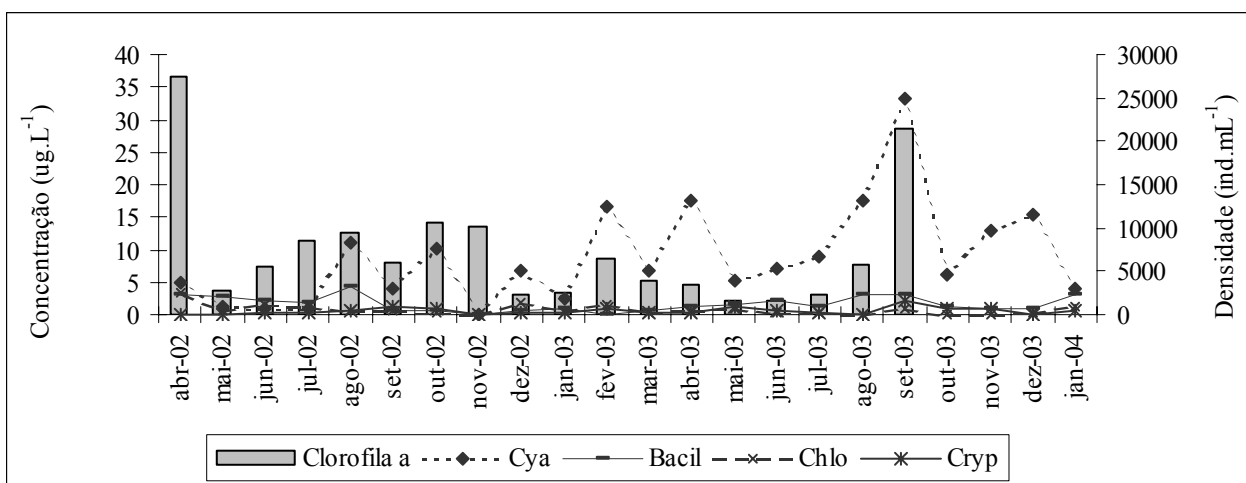


Figura 5. Concentração de clorofila *a* e densidade das classes fitoplanctônicas, durante os meses de abril de 2002 a janeiro de 2004.

Durante o período de estudo, a análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica totalizou 139 táxons distribuídos em 9 classes: Chlorophyceae (44), Bacillariophyceae (40), Cyanophyceae (28), Conjugatophyceae (10), Euglenophyceae (8), Xanthophyceae (5), Chrysophyceae (2), Dinophyceae (1) e Cryptophyceae (1) (Anexo 1). Em relação à representatividade das classes, sempre Chlorophyceae, Cyanophyceae e Bacillariophyceae alternaram-se na representatividade do maior número de táxons presentes. Deve-se ressaltar que alguns organismos listados na tabela 3, apesar de terem sido coletados na coluna d'água não são planctônicos e, provavelmente, foram carreados para coluna d'água, em função do regime polimítico do reservatório.

A figura 6 mostra as porcentagens de densidade das classes fitoplanctônicas registradas durante as coletas mensais e intensivas.

A porcentagem relativa da comunidade fitoplanctônica, considerando-se todo período de estudo foi maior no período seco, totalizando  $1,4 \times 10^5 \text{ ind. mL}^{-1}$ , enquanto que no período chuvoso, a densidade total foi de  $9,4 \times 10^4 \text{ ind. mL}^{-1}$ . Os maiores valores de densidade foram registrados durante as coletas realizadas no ano de 2002. As classes mais representativas em ordem decrescente de densidade foram: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae e Cryptophyceae. As espécies mais abundantes dentro destas classes foram: *Microcystis aeruginosa*, *M. protocystis*, células livres de *Microcystis* sp, *Aphanocapsa elachista*, *Pseudanabaena mucicola*, *Planktothrix tropicalis* (Cyanophyceae), *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella menegheniana* (Bacillariophyceae), *Monoraphidium* sp, *Schroederia indica* (Chlorophyceae) e *Cryptomonas* sp (Cryptophyceae)

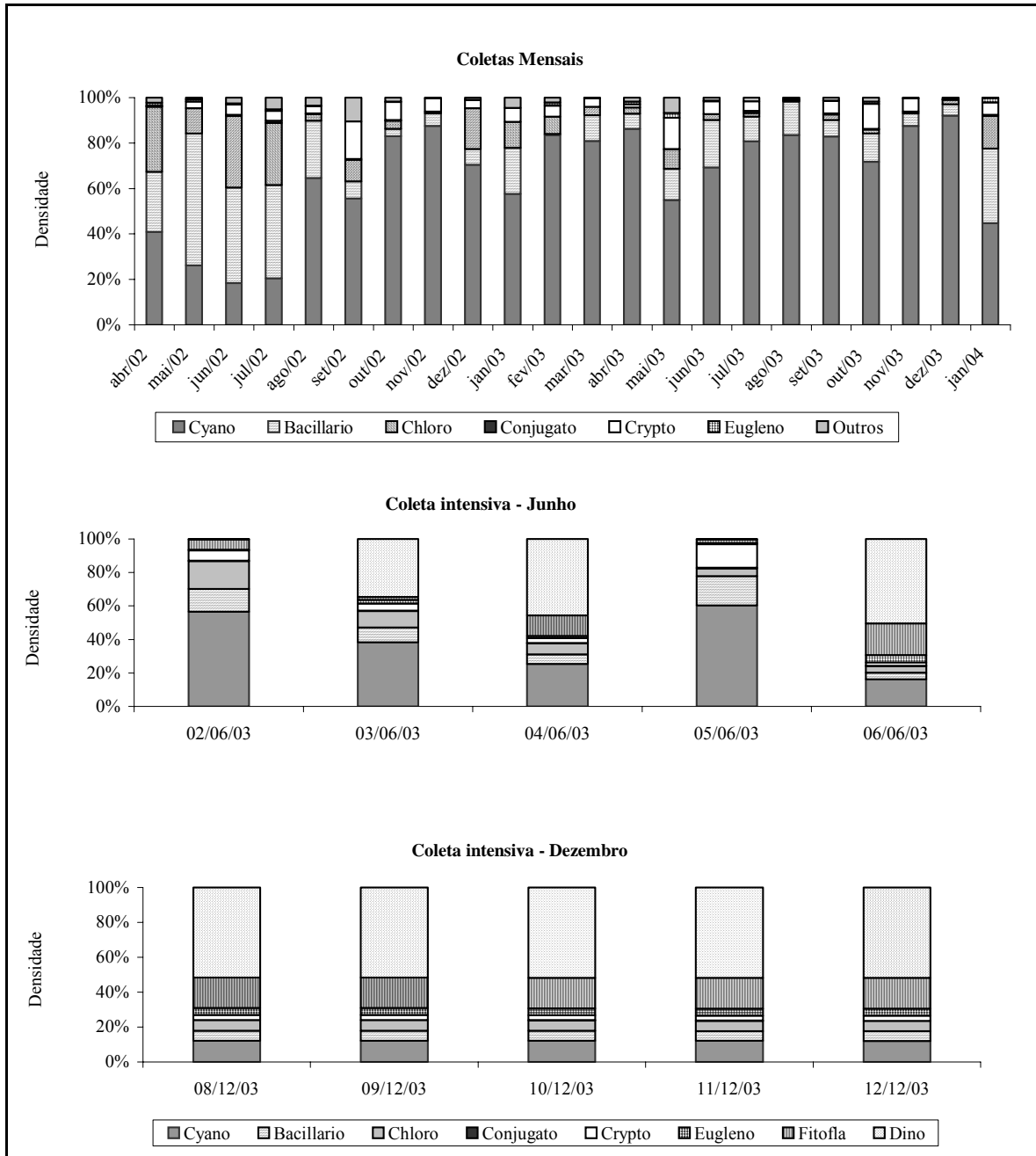


Figura 6. Densidade (%) das classes fitoplanctônicas registrada durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

A análise de variância não detectou variabilidade vertical e temporal significativas ( $p > 0,05$ ) para os valores de densidade das classes. Entretanto, a análise de correspondência canônica (CCA), aplicada sobre as espécies abundantes e as variáveis limnológicas abióticas, explicou 50% da variabilidade dos dados nos dois primeiros eixos ( $p < 0,005$  para os dois eixos) (Tabela 3). O eixo 1 (27% da variabilidade dos dados) separou os meses mais secos dos mais chuvosos, mostrando que a sazonalidade climática foi determinada, principalmente, pela pluviosidade. O eixo 2 (23% da variabilidade dos dados) separou as células livres de *Microcystis* sp de *Aulacoseira granulata*, consideradas as duas espécies mais abundantes durante todo período de estudo, sendo que a concentração de nutrientes, a temperatura e a vazão, foram as variáveis que mais influenciaram nesta separação (Figura 7).

Tabela 3. Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência canônica (CCA) sobre as espécies fitoplanctônicas abundantes durante as coletas mensais (janeiro de 2003 a janeiro de 2004).

	F1	F2
Fatores	0,24	0,202
% Variância	27	23
% Acumulada	27	50

Durante as coletas intensivas, as maiores densidades foram registradas durante a coleta de verão ( $1,3 \times 10^6$  ind.mL<sup>-1</sup>). A classe Cyanophyceae foi a principal responsável pelos elevados valores de densidade, seguida pelas classes Chlorophyceae, Bacillariophyceae e Cryptophyceae, sendo que os táxons *Sphaerocavum brasiliense*, *Microcystis aeruginosa*, células livres de *Microcystis* sp, *Pseudanabena mucicola* (Cyanophyceae), *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella* sp (Bacillariophyceae), *Micractinium bornhemiense* (Chlorophyceae), *Cryptomonas* sp (Cryptophyceae) e Fitoflagelados não identificados, foram os principais responsáveis pela maior

representatividade destas classes. A distribuição espacial vertical da densidade apresentou-se homogênea, em ambos os períodos estudados ( $p > 0,05$ ).

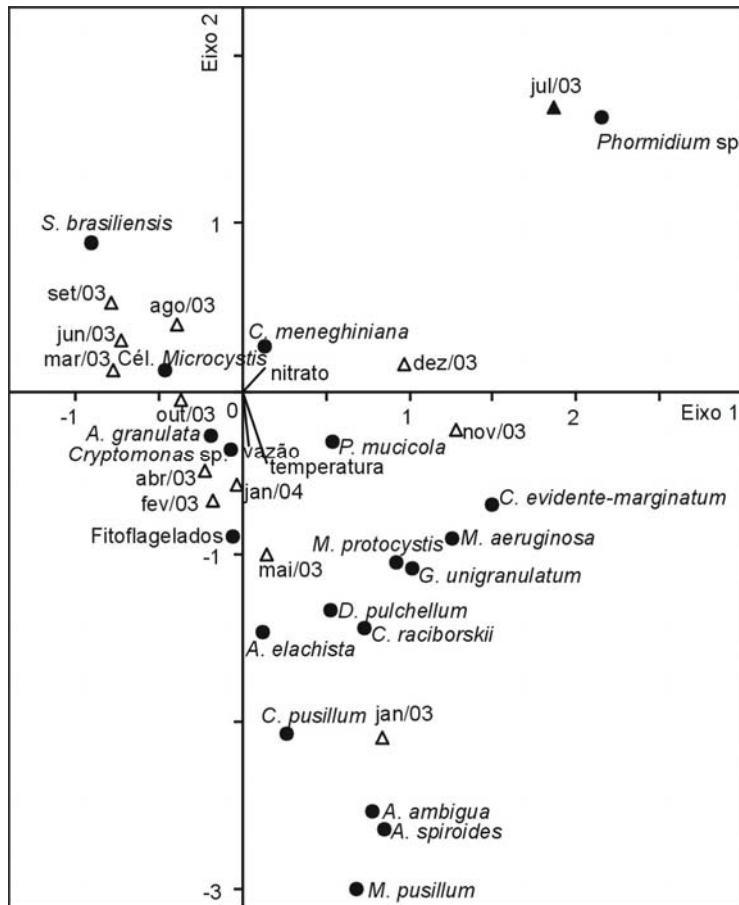


Figura 7. Ordenação das espécies abundantes e das coletas mensais pela CCA, nos eixos 1 e 2. (CCA mensal: (Δ) – coletas; (●) – espécies).

A análise de correspondência canônica, aplicada sobre as espécies consideradas abundantes durante as coletas intensivas, explicou 60% da variabilidade dos dados (Tabela 4). O eixo 1 (36% da variabilidade dos dados) mostrou separação entre as coletas realizadas no inverno (junho) daquelas realizadas no verão (dezembro), ou seja, a sazonalidade climática, bem como a distinção entre as cianofíceas e as diatomáceas. O eixo 2 (24% da variabilidade dos dados), separou as células livres de *Microcystis* sp de *A. granulata*, sendo que a concentração de nutrientes, a temperatura e a vazão, foram as variáveis limnológicas que mais influenciaram nesta separação (Figura 8).

Tabela 4. Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência canônica (CCA) sobre as espécies fitoplancônicas abundantes durante as coletas intensivas (junho e dezembro de 2003).

	F1	F2
Fatores	0,41	0,273
% Variância	36	24
% Acumulada	36	60

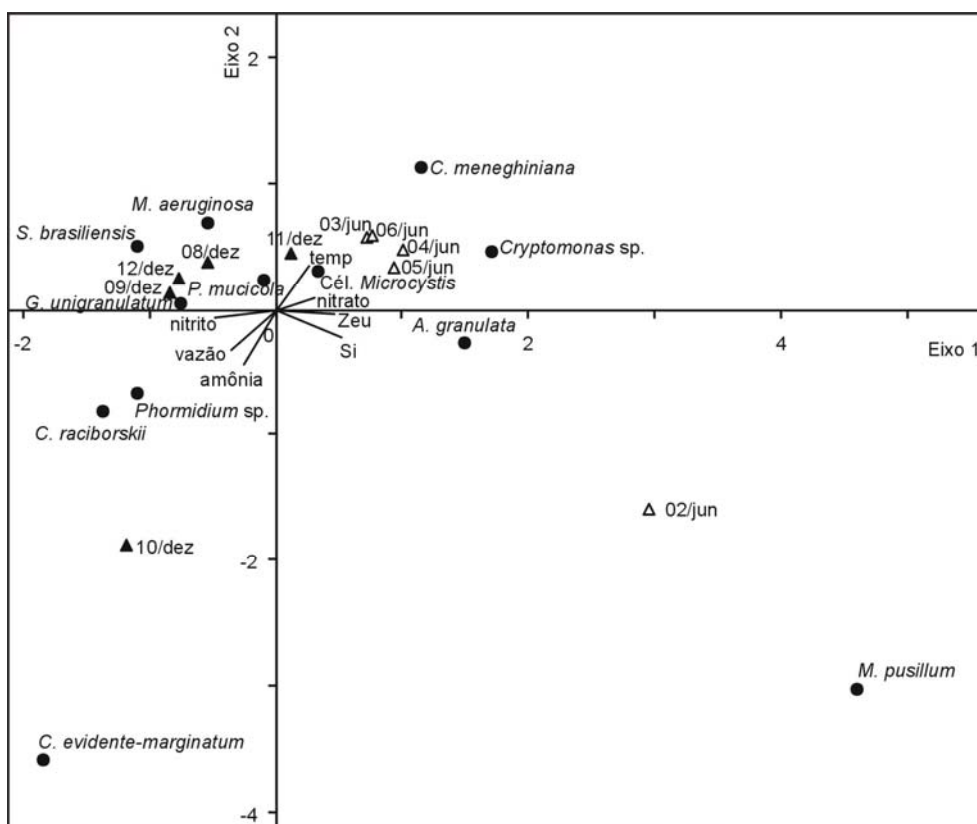


Figura 8. Ordenação das espécies abundantes e das coletas intensivas pela CCA, nos eixos 1 e 2. (CCA intensiva: (▲) – coletas dezembro; (△) – coletas junho; (●) – espécies).

A variação na densidade das espécies mais frequentes no reservatório de Barra Bonita, nas coletas mensais e intensivas é apresentada na figura 9. Nas coletas mensais, a classe Cyanophyceae representou, aproximadamente, 51% do total de táxons abundantes no reservatório, seguida pelas

classes Bacillariophyceae (21%) e Chlorophyceae (17%). As células livres de *Microcystis* sp. foram as que apresentaram a maior abundância e foram consideradas dominantes desde a superfície até os 10 metros de profundidade, nos meses mais quentes, acompanhadas por outras cianofíceas como *Microcystis aeruginosa*, *Sphaerocavum brasiliense*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudanabaena mucicola*, além de *Cryptomonas* sp. *Aulacoseira granulata* foi a segunda espécie mais abundante e considerada dominante nas camadas mais profundas da coluna d'água (15 a 20 metros), principalmente nos meses mais secos. Durante as coletas intensivas, as células livres de *Microcystis* sp foram dominantes nos dias dois a seis de junho e também nos dias oito e onze de dezembro. Outras espécies, como *A. granulata*, *Pseudanabaena mucicola* e *Cryptomonas* sp foram abundantes em junho (período seco), enquanto que *Pseudanabaena mucicola*, *Sphaerocavum brasiliense*, *M. aeruginosa* e *Phormidium* sp, foram abundantes em dezembro.

A figura 10 apresenta os valores de riqueza específica (R) e índice de diversidade ( $H'$  bits.ind<sup>-1</sup>) durante as coletas mensais e intensivas. A riqueza específica e o índice de diversidade variaram de 9 a 31 e 1,21 a 4,81 bits.ind<sup>-1</sup>, respectivamente, durante todo período de estudo. Em geral, os maiores valores de R e  $H'$  foram registrados nos meses mais secos, principalmente durante o ano de 2002, como comprovado pelo teste de Tukey, que detectou diferenças temporais significativas ( $p < 0,05$ ) entre os valores de riqueza de espécies e índices de diversidade e equitabilidade. Nas coletas intensivas, os valores de R e  $H'$  apresentaram-se um pouco superiores durante as amostragens de verão. O índice de diversidade, em média, foi de 2,87 bits.ind<sup>-1</sup> em junho e de 2,91 bits.ind<sup>-1</sup> em dezembro, enquanto que a riqueza foi, em média, de 14 e 16 espécies, respectivamente. O teste de Tukey, aplicado para os valores de riqueza e índices de diversidade e equitabilidade, também detectou diferenças temporais significativas ( $p < 0,05$ ) entre as duas coletas intensivas. As cianofíceas (células livres de *Microcystis* sp, *M. aeruginosa*, *Phormidium* sp, *Sphaerocavum brasiliense*, *Pseudanabaena mucicola*), criptofíceas (*Cryptomonas* sp) e diatomáceas (*Aulacoseira granulata*) foram as classes que mais contribuíram para a riqueza, em ambos os períodos.

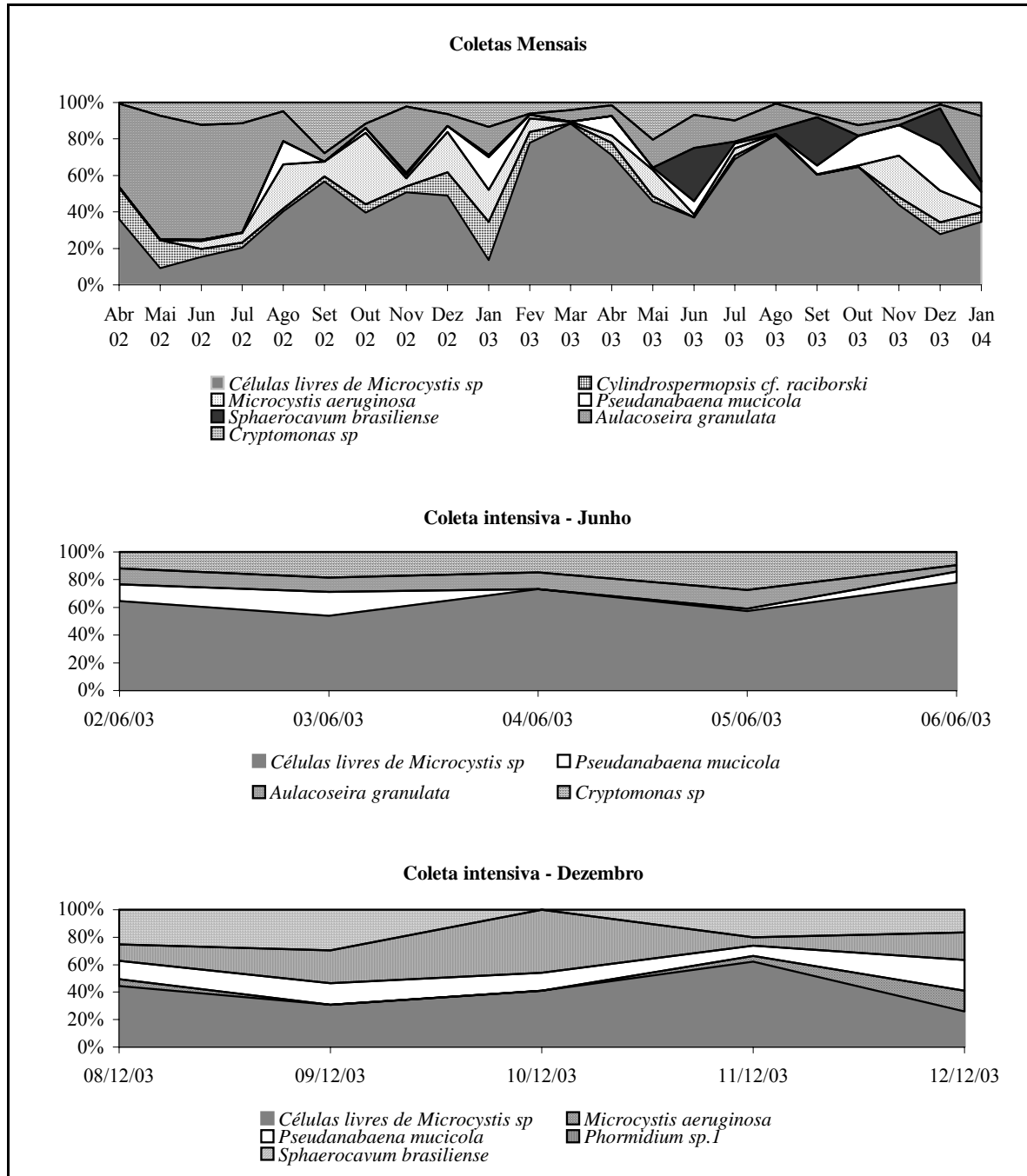


Figura 9. Densidade (%) dos táxons mais representativos durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).



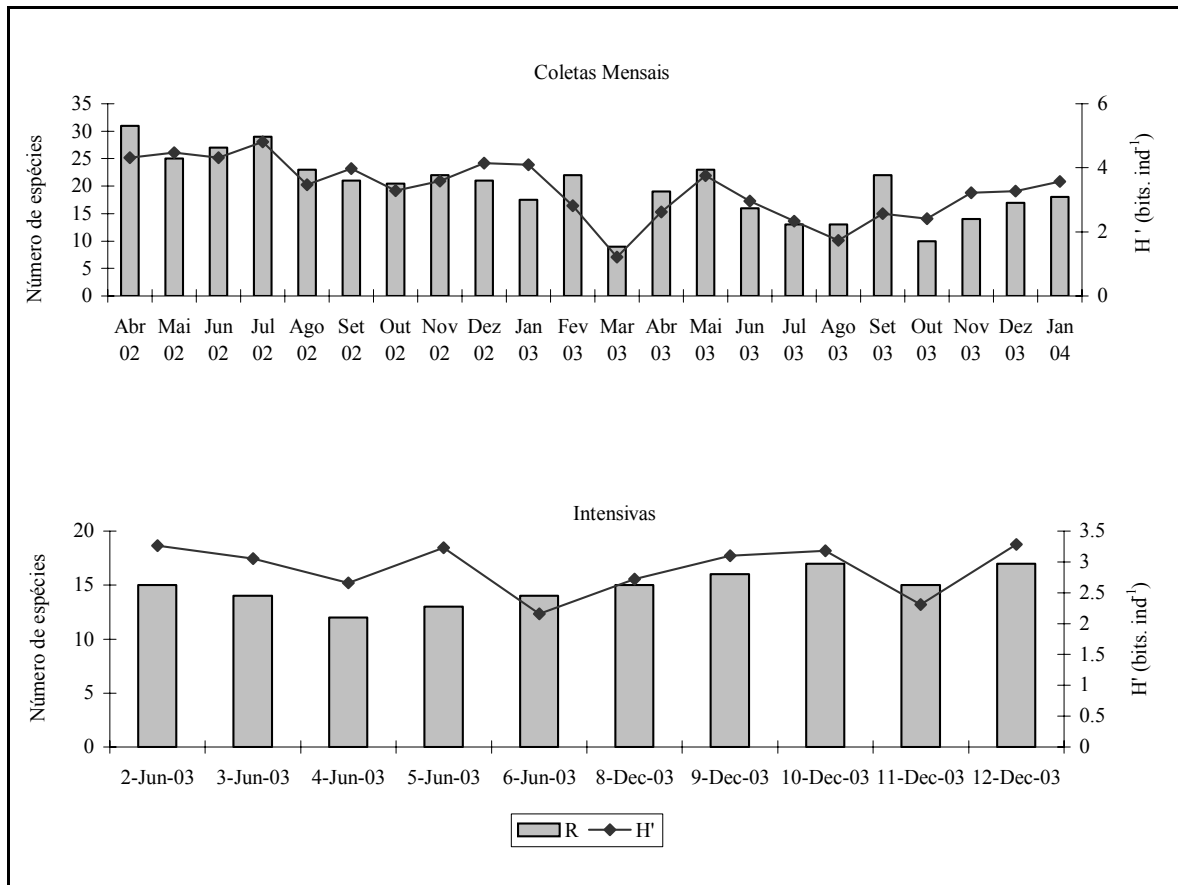


Figura 10. Riqueza e índice de diversidade ( $H'$ bits.ind<sup>-1</sup>), registrados durante as coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (junho e dezembro de 2003).

## Discussão

A distribuição vertical das variáveis limnológicas bióticas e abióticas, no reservatório de Barra Bonita apresentou-se homogênea na maioria das coletas ( $p < 0,05$ ) devido, principalmente, à quantidade de chuvas, como demonstrado na CCA e, provavelmente, à ação do vento na maior parte do ano. Porém, pudemos observar através da análise de variância uma heterogeneidade temporal, tanto sazonal, quanto anual em relação a estas variáveis, indicando que o processo de eutrofização neste reservatório vem aumentando ao longo dos anos. Assim, a ocorrência dos ventos, juntamente com a pluviosidade foram importantes fatores externos, responsáveis pelo regime polimítico do reservatório na maior parte do ano. Segundo Perez *et al.* (1999), um sistema polimítico, onde a

circulação da água envolve toda coluna d'água, é uma característica presente em muitos reservatórios tropicais da América do Sul, como é o caso do reservatório de Barra Bonita. Porém, devido ao aumento da temperatura durante o verão, pudemos observar o registro de estratificações térmicas, que favoreceram a ocorrência de alguns táxons, principalmente cianofíceas. Em geral, pode-se dizer que o eixo vertical do reservatório foi dominado pelas cianofíceas no epilímnio e pelas diatomáceas na região hipolimnética. Esta distribuição seria esperada, visto que as cianofíceas abundantes em Barra Bonita, principalmente as células livres de *Microcystis* sp., *Microcystis aeruginosa*, *Pseudanabaena mucicola* e *Sphaerocavum brasiliense*, possuem mecanismos de flutuação que são ausentes nas diatomáceas, como *Aulacoseira granulata*.

Durante as coletas de verão, a radiação solar e a estabilidade da coluna d'água, contribuíram para a redução da zona eufótica e da riqueza de espécies devido, principalmente, à ocorrência dos florescimentos de cianofíceas na superfície. Segundo Calijuri *et al.* (2002), nos últimos dez anos, vários autores têm demonstrado, para os reservatórios do Estado de São Paulo, uma drástica redução da Zeu e um aumento na quantidade de nutrientes, particularmente para o reservatório de Barra Bonita, indicando um acelerado processo de eutrofização neste sistema. Assim, o entorno do reservatório de Barra Bonita, que é ocupado pela monocultura de cana de açúcar, além dos despejos domésticos, industriais e da agricultura, contribuíram para o aumento na concentração dos nutrientes, principalmente do fósforo. As variações nas concentrações de clorofila *a* neste período, provavelmente, foram devidas à hidrodinâmica do reservatório, onde as altas temperaturas e a radiação solar possibilitaram a continuidade do processo fotossintético durante todo período de estudo.

No período seco, a maior intensidade dos ventos, favoreceu a circulação e a ressuspensão de partículas através da coluna d'água (aumento da turbidez) e a disponibilização dos nutrientes essenciais ao crescimento do fitoplâncton. A ressuspensão do sedimento, em decorrência do efeito do vento é uma característica comum em lagos e reservatórios rasos (Schallenberg & Burns, 2004), como é o caso do reservatório de Barra Bonita. As maiores concentrações de nitrato e de sílica

registradas durante o período seco, provavelmente ocorreram em função dos processos de decomposição que influenciaram a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, favorecendo as espécies R-estrategistas, como *A. granulata*, que podem dominar em ambientes com condições de mistura e aumento da turbidez, como observado em Barra Bonita. A dominância de *A. granulata* também foi observada no reservatório de Salto Grande (Calijuri *et al.*, 1999) e em grande rios, sujeitos à contínua condição de mistura (O’Farrell & Izaguirre, 1994).

Em ambos períodos, a abundância relativa das classes Cyanophyceae e Bacillariophyceae representadas, principalmente, pelas colônias de *M. aeruginosa* e células livres de *Microcystis* sp. e filamentos de *A. granulata*, respectivamente, foi notavelmente maior, quando comparada com as demais classes encontradas neste estudo. A ocorrência de florações de diferentes espécies de cianofíceas, principalmente de células livres de *Microcystis* sp. é frequentemente observada neste reservatório. Provavelmente, o regime polimítico do reservatório não permita a formação de grandes colônias de *Microcystis*, contribuindo para a desagregação das mesmas e favorecendo a ocorrência das células livres (O’Brien *et al.*, 2004). Segundo Reynolds (1999), o fator crucial para a ocorrência frequente da dominância das cianofíceas, especialmente de *Microcystis* sp., é sua habilidade em permanecer suspensa e regular sua flutuação na coluna d’água, de suportar severas alterações diárias na intensidade de mistura do sistema, além de ser considerada uma espécie S – estrategistas. As diatomáceas, principalmente *Aulacoseira granulata*, apresentaram-se abundantes nos meses mais secos, onde a coluna d’água apresentou-se instável, em função da ação dos ventos, associada às concentrações de sílica, conforme mostrado na CCA. O reservatório do Broa (SP) também pode ser citado como um exemplo da influência dos ventos na determinação das comunidades fitoplanctônicas (Tundisi *et al.*, 2004).

Durante o verão, as condições de equilíbrio (elevadas temperaturas, estabilidade da coluna d’água, menor tempo de residência e alta irradiação solar) provavelmente predominaram, favorecendo a ocorrência, principalmente das cianofíceas. No inverno, devido à ação dos ventos, ao registro de temperaturas mais amenas, a menor vazão e o maior tempo de residência da água (150

dias, em média), permitiram a coexistência das espécies. Deste modo, o Paradoxo do Plâncton (Hutchinson, 1961) e a Hipótese do Distúrbio Intermediário (IDH, Connel, 1978), adaptada para o fitoplâncton por Reynolds (1988), tentam explicar a diversidade há várias décadas. Apesar das controvérsias existentes e da necessidade de estudos mais aprofundados para se aplicar e medir a intensidade dos distúrbios, esta hipótese permanece como um modelo para manutenção de diversidade de espécies, em comunidades de sistemas aquáticos perturbados e sujeitos às condições de não equilíbrio.

Portanto, a dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Barra Bonita seguiu as premissas da hipótese do distúrbio intermediário, que recentemente tem sido aplicada a comunidade fitoplanctônica (Padisák, 1993; Floder & Sommer, 1999; Bertrand et al. 2004). As condições de equilíbrio favoreceram a ocorrência das cianofíceas, enquanto os distúrbios permitiram o aumento na diversidade e coexistência de espécies R – estrategistas (diatomáceas) e S – estrategistas (cianofíceas).

### **Agradecimentos**

À FAPESP, pelo auxílio financeiro, processos número 02/02517-6 e 99/07766-0 e ao CNPQ, processo número 352261/1996-0. À Dra. Saionara E. Salomoni e a Prof. Dra. Lezilda Torgan, pela identificação das diatomáceas. Ao Alexandre K. Oliveira e ao Fabio O. Roque, pelas sugestões e auxílio nas análises estatísticas.

### **Referências Bibliográficas**

- BERTRAND C.; FRANQUET, E.; CHOMÉRATET, N. & CAZAUBON, A. 2004. An approach to the Intermediate Disturbance Hypothesis at the landscape scale: the effects of hydrodynamic disturbance on phytoplankton communities. *Archiv für Hydrobiologie*, 161 (3): 351-369.
- CALIJURI M. C.; DEBERDT, G. L. B.; MINOT, R. 1999. A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande (Americana – SP), In: Henry, R. – *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*, p.11-148.

- CALIJURI, M. C. & DOS SANTOS, A. C. A. 1996.. Short-term changes in the Barra Bonita reservoir (São Paulo): emphasis on the phytoplankton communities. *Hydrobiologia*, 330:163-175.
- 
- \_\_\_\_\_. 2001. Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP – Brazil). *Hydrobiologia.*, 445: 11-26.
- CALIJURI M. C.; DOS SANTOS, A. C. A. & JATI, S. 2002. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, S.P. – Brazil). *Journal of Plankton Research*, 24 (7): 617-634,
- CONNEL, J. H. 1978. Diversity and coevolution of competitors, or the ghost of competition pst. *Oikos*, 35: 131-138.
- ELLIOT, J. A. IRISH, A. E. & REYNOLDS, C. S. 2001. The effects of vertical mixing on a phytoplankton community: a modelling approach to the intermediate disturbance hypothesis. *Freshwater Biology*, 46:1291-1297.
- FLÖDER, S. & SOMMER, U. 1999. Diversity in planktonic communities: An experimental test of the intermediate disturbance hypothesis. *Limnology and Oceanography*, 44: 1114-1119.
- HARDIN, G. 1960. The competitive exclusion principle. *Science*, 131: 1292-1297.
- HENRY, R. HINO, M.; GENTIL, J. G. & TUNDISI, J. G. 1985. Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplankton in the Barra Bonita Reservoir (State of São Paulo, Brazil). *International Revue ges Hydrobiologie.*, 70: 561-573.
- HUTCHINSON, G. E. 1961. *The paradox of plankton*. American Naturalist, 107: 406-425.
- O'BRIEN, K. R.; MEYER, D. L.; WAITE, A. M.; IVEY, G. N.; HAMILTON, D. P. 2004. Disaggregation of *Microcystis aeruginosa* under turbulent mixing: laboratory experiments in a grid-stirred tanks. *Hydrobiologia*, 519: 143-152.
- O'FARRELL, I. & IZAGUIRRE, I. 1994. Phytoplankton ecology and limnology of the River Uruguay Lower Basin (Argentina). *Archives für Hydrobiologie Suppl.*, 99: 155-179.

- PADISÁK, J. 1993. The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 249: 135-136.
- PÉREZ, M. C.; BONILLA, S. & MARTÍNEZ, G. 1999. Phytoplankton community of a polymitic reservoir, La Plata River Basin, Uruguay. *Revista Brasileira de Biologia*, 59(4): 535-541.
- REYNOLDS, C. S. 1988. The concept of ecological succession applied to seasonal periodicity of freshwater phytoplankton. *Verh. International Verein. Theor. Angew. Limnologie*, 23: 683-691.
- REYNOLDS, C. S.; PADISÁK, J.; SOMMER, U. 1993. Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. In: Padisák, J.; Reynolds, C.S.; Sommer, U. (Eds.) – *Intermediate Disturbance Hypothesis in Phytoplankton Ecology. Developments in Hydrobiology*, 81: 183-188.
- \_\_\_\_\_ 1999. Phytoplankton assemblages in reservoirs In: Tundisi, J. G. & Straskraba, M. (Eds.) *Theoretical reservoir ecology and its applications*. Brazilian Academy of Sciences International Institute of Ecology/Backhuys Publishers, p. 439-456.
- SCHALLENBERG, M. & BURNS, C. W. 2004. Effects of sediment resuspension on phytoplankton production: teasing apart the influences of light, nutrients and algal entrainment. *Freshwater Biology*, 49: 143-159.
- TUNDISI, J. G. 1981. Typology of reservoirs in Southern Brazil. *Verh. International Verein Limnologie*, 21: 1031-1039.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; ARANTES JUNIOR, J. D.; TUNDISI, J. E. M. ; MANZINI, N. F. & DUCROT, R. 2004. The response of Carlos Botelho (Lobo-Broa) Reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical and biological variables. *Brazilian Journal of Biologie*, 64 (1): 177-186.

### **CAPÍTULO 3**

## **CARBOIDRATOS POLIMÉRICOS DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA E SUA RELAÇÃO COM AS ALGAS FITOPLANCTÔNICAS ABUNDANTES**

---

ABSTRACT: (Polymeric carbohydrates in Barra Bonita Reservoir and relationships to abundant phytoplanktonic algae). Polymeric carbohydrates and their relationships with abundant algae of the Barra Bonita Reservoir were studied through monthly sampling (June 2002 to January 2004) in six depths (0m, 1m, 3m, 5m, 10m and 17m) at a sample station located 3 km upstream the Reservoir dam. Nearly 90% of the dissolved carbohydrates from the reservoir water were constituted of polymeric hydrolysable carbohydrates (polysaccharides or oligosaccharides). Analysis of variance detected variability among concentrations of dissolved carbohydrates only a temporal scale ( $p < 0.05$ ), whereas in the vertical axis, the concentrations of these sugars were homogeneous ( $p > 0.05$ ). During most months, the higher concentrations of polymeric carbohydrates occurred together with large blooms of the abundant species which probably were the main sources of extracellular polysaccharides in the system. In general, the highest percentages of galactose and fucose were obtained during the dry season, while rhamnose and arabinose occurred in higher percentages during the rain season. The concentrations of glucose were similar during the entire period of study. Thus, polysaccharides were considered the most important extracellular carbohydrate produced from phytoplankton. Moreover we have demonstrated that carbohydrate concentrations change as a function of the abundant species dynamic.

Key words: phytoplankton, Reservoir, dissolved carbohydrate, extracellular polysaccharide.

RESUMO: (Carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes). O estudo dos carboidratos poliméricos e sua relação com as algas abundantes no reservatório de Barra Bonita, foi realizado em coletas mensais (junho de 2002 a janeiro de 2004), em seis profundidades na coluna d'água (0m, 1m, 3m, 5m, 10m e 17m), em um ponto fixo do reservatório, localizado 3km a montante da barragem. Aproximadamente 90% dos carboidratos dissolvidos neste reservatório foram constituídos por carboidratos poliméricos hidrolisáveis (polissacarídeos ou oligossacarídeos). A análise de variância detectou variabilidade entre as concentrações dos carboidratos dissolvidos apenas em escala temporal ( $p < 0,05$ ), sendo que no eixo vertical, as concentrações destes açúcares apresentaram-se homogêneas ( $p > 0,05$ ). Na maioria dos meses, as maiores concentrações de carboidratos poliméricos ocorreram juntamente com o registro de grandes florescimentos das espécies abundantes, que provavelmente, foram as principais fontes de polissacarídeos extracelulares para o sistema. Em geral, as maiores porcentagens de galactose e fucose foram registradas durante os meses mais secos, enquanto que a raminose e a arabinose ocorreram em maior porcentagem nos meses mais chuvosos. As concentrações de glicose foram semelhantes durante todo período de estudo. Assim, podemos considerar que os polissacarídeos foram os principais carboidratos extracelulares liberados pelo fitoplâncton e que as concentrações destes carboidratos variaram em função da dinâmica das espécies abundantes.

Palavras chave: fitoplâncton, reservatório, carboidratos dissolvidos, polissacarídeos extracelulares.



## Introdução

Os carboidratos livres em corpos d'água naturais são constituídos por açúcares livres (monossacarídeos e dissacarídeos) e por carboidratos poliméricos hidrolisáveis, como os polissacarídeos e oligossacarídeos (Gremm, 1997). Os açúcares livres e combinados constituem uma grande fração da maioria dos organismos e até 60% do peso seco de algumas algas (Mopper et al., 1992) e são liberados para o meio como resultado da excreção e morte das células.

Os polissacarídeos extracelulares (EPS) do fitoplâncton têm sido estudados, devido ao seu significado ecológico nos sistemas aquáticos (Zhou *et al.*, 1998; Giroldo & Vieira, 2005), pois são comuns a esses organismos, podendo assim ser um excelente indicador da origem da matéria orgânica, particulada e dissolvida. Como constituintes das substâncias húmicas e fúlvicas podem levar a um melhor entendimento dos mecanismos da gênese da matéria orgânica complexa e pela sua susceptibilidade de complexar-se com metais traços, podem controlar a disponibilidade destes no meio aquático (Lombardi *et al.*, 2000; Freire-Nordi *et al.*, 2005; Gouvêa *et al.*, 2005; Nogueira et al., 2005). Desde que os EPS podem ser usados como substrato por bactérias (Freire-Nordi & Vieira, 1998; Colombo *et al.* 2004), estes componentes podem realizar um importante papel na possível associação específica bactéria/alga (Grossart *et al.*, 2003). Também são os principais componentes do carbono orgânico liberado pelas algas e são extremamente variáveis na sua composição monossacarídica e estereo-química. Outro importante papel dos polissacarídeos extracelulares é a formação de TEP (*Transparent Exopolymer Particle*), partículas mucilaginosas amorfas de tamanho variado que por sua vez, através de choques e agregação, podem formar os agregados gelatinosos (*lake snow*) (Trent *et al.*, 1978), ambos de grande importância no fluxo de carbono através da cadeia trófica e para o sedimento.

Ao contrário dos numerosos estudos em laboratório com a liberação de carboidratos por monoculturas fitoplanctônicas (Myklestad, 1995; Gouvêa *et al.*, 2005; Giroldo & Vieira, 2005), apenas poucos estudos, principalmente relacionados com os *blooms* fitoplanctônicos mostraram uma relação entre a composição do fitoplâncton e os níveis de carboidratos no ambiente natural

(Ittekkot *et al.*, 1981; Burney *et al.*, 1981; Soares 1992). Outros trabalhos apenas forneceram a correlação de carboidratos com a biomassa total (Dhople & Bhosle, 1987; Senior & Chevolut, 1991).

Assim, o objetivo deste estudo foi relacionar a composição e a concentração dos carboidratos dissolvidos, especialmente os polissacarídeos, com as algas fitoplanctônicas abundantes do reservatório de Barra Bonita.

## **Metodologia (Ver Capítulo 1)**

### **Resultados**

Aproximadamente 90% dos carboidratos dissolvidos no reservatório de Barra Bonita foram constituídos por carboidratos poliméricos hidrolisáveis (polissacarídeos ou oligossacarídeos). A análise de variância (ANOVA one-way) detectou variabilidade entre as concentrações dos carboidratos dissolvidos (totais, poliméricos e monossacarídeos livres) apenas em escala temporal ( $p < 0,05$ ), sendo que no eixo vertical, as concentrações destes açúcares apresentaram-se homogêneas ( $p > 0,05$ ) (Tabela 1).

Em geral, as maiores concentrações de carboidratos dissolvidos foram registradas durante as coletas realizadas no ano de 2002, durante os meses de agosto a dezembro. Em 2003, as maiores concentrações foram registradas nos meses mais chuvosos (fevereiro, março, abril). A concentração dos carboidratos poliméricos acompanhou a dinâmica das espécies mais abundantes, principalmente, *M. aeruginosa* e células livres de *Microcystis* sp. (Cyanophyceae); *A. granulata* e *Cyclotella menegheniana* (Bacillariophyceae); *Cryptomonas* sp (Cryptophyceae); *Dictyopshaerium pulchellum* e *Schroederia indica* (Chlorophyceae) (Figura 1).

Tabela 1. Concentração (mg. L<sup>-1</sup>) dos carboidratos dissolvidos totais, poliméricos e de monossacarídeos livres registradas no reservatório de Barra Bonita, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004 (VT= variabilidade temporal; VE= variabilidade espacial).

<b>Coletas</b>	<b>Totais (mg. L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Poliméricos (mg. L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Livres (mg. L<sup>-1</sup>)</b>
<b>jun-02</b>	2,19	1,98	0,22
<b>jul-02</b>	0,68	0,65	0,03
<b>ago-02</b>	3,05	3,02	0,03
<b>set-02</b>	3,30	3,08	0,22
<b>out-02</b>	3,98	3,96	0,03
<b>nov-02</b>	2,67	2,67	0,01
<b>dez-02</b>	4,24	4,19	0,06
<b>jan-03</b>	2,24	2,22	0,03
<b>fev-03</b>	1,30	1,30	0,00
<b>mar-03</b>	3,61	3,60	0,02
<b>abr-03</b>	6,58	6,57	0,01
<b>mai-03</b>	0,82	0,81	0,02
<b>jun-03</b>	0,57	0,54	0,05
<b>jul-03</b>	0,22	0,21	0,01
<b>ago-03</b>	1,31	0,17	1,14
<b>set-03</b>	4,86	1,77	3,09
<b>out-03</b>	0,83	0,73	0,11
<b>nov-03</b>	1,40	1,39	0,01
<b>dez-03</b>	1,29	1,20	0,32
<b>jan-04</b>	13,41	10,67	2,74
<b>Média</b>	2,93	2,54	0,41
<b>VT</b>	p<0,05	p<0,05	p<0,05
<b>VE</b>	p>0,05	p>0,05	p>0,05

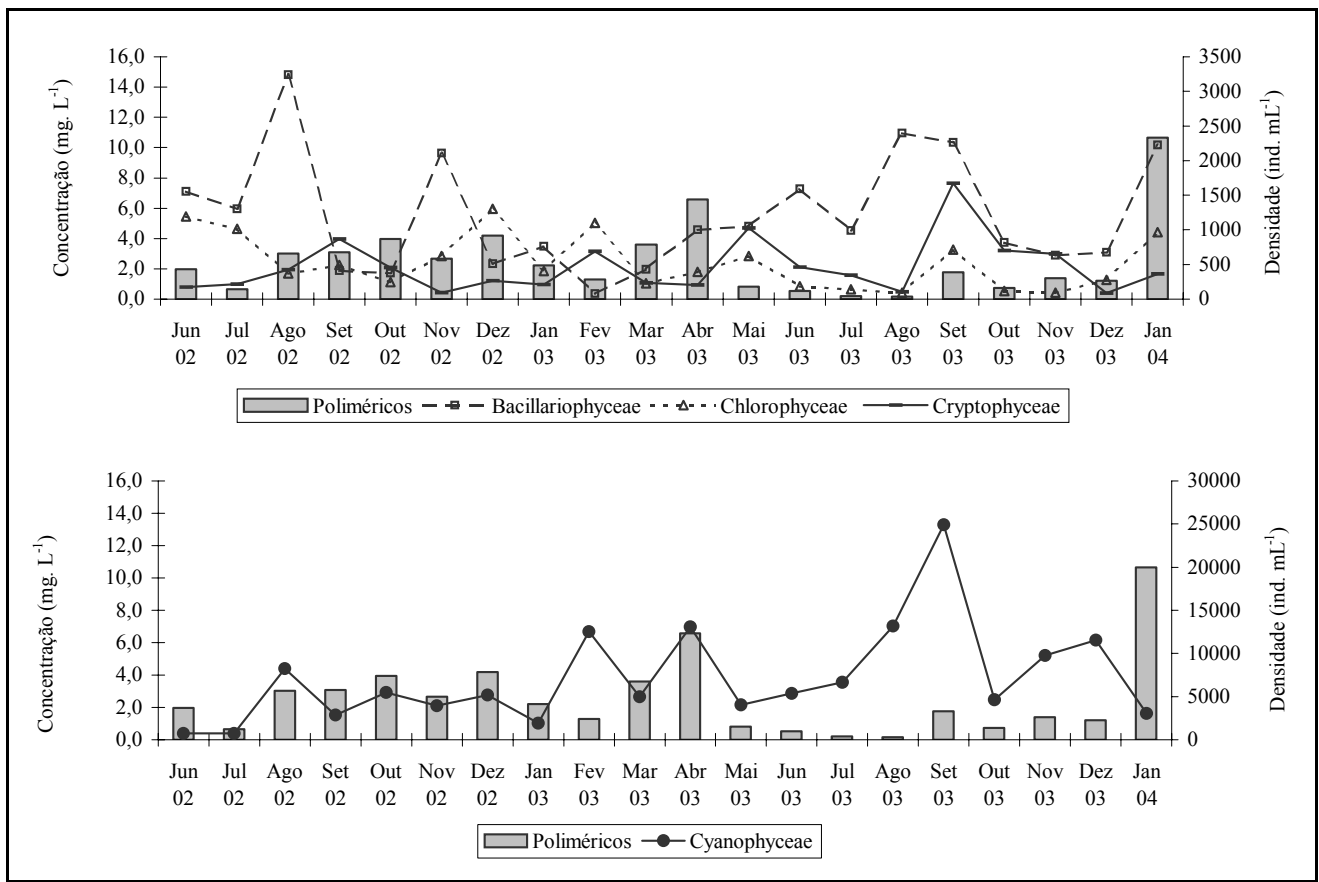


Figura 1. Concentração de carboidratos poliméricos (mg. L<sup>-1</sup>) e densidade (ind.mL<sup>-1</sup>) das classes fitoplanctônicas mais abundantes registradas no reservatório de Barra Bonita durante os meses de junho/02 a janeiro/04.

A classe Cyanophyceae, provavelmente, foi a que mais contribuiu para a concentração total de carboidratos poliméricos, já que abriga a maioria das espécies frequentemente registradas neste reservatório, como *Microcystis* sp, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis protocystis*, *Planktothrix tropicalis*, *Anabaena spiroides*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Pseudanabaena mucicola* e *Sphaerocavum brasiliense*, a maioria delas consideradas grandes produtoras de EPS (Girollo & Vieira, 2002). Em geral, as maiores concentrações destes açúcares, acompanhadas pelas altas densidades das cianofíceas, ocorreram nos meses mais quentes, de maior pluviosidade (agosto/02, outubro/02, dezembro/02, fevereiro/03, abril/03, setembro/03 e janeiro/04) e menor tempo de

residência (78 dias, em média). Nos meses mais secos (junho/02, agosto/02, setembro/02, outubro/02, março/03 e abril/03 e setembro/03), onde o tempo de residência foi de aproximadamente 150 dias, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella menegheniana*, *S. indica* e *Cryptomonas* sp foram as espécies que mais contribuíram em densidade. Porém, em janeiro/04, *A. granulata* e *C. menegheniana* também foram coletadas em grande densidade, provavelmente, em consequência da quantidade de chuvas ocorridas durante este mês.

A estatística descritiva referente à composição monossacarídica dos carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita é apresentada na tabela 2. A análise de variância detectou variabilidade na concentração dos monossacarídeos poliméricos apenas em escala temporal ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Estatística descritiva da composição monossacarídica dos carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004. As concentrações são expressas em ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) (s= desvio padrão; VT= variação temporal; VE= variação espacial; Man/Xil = Manose e Xilose).

	<b>Fucose</b>	<b>Ramnose</b>	<b>Galactose</b>	<b>Glicose</b>	<b>Man/Xil</b>	<b>Arabinose</b>	<b>Frutose</b>	<b>Ribose</b>
<b>Mínimo</b>	0,030	0,007	0,007	0,009	0,016	0,020	0,010	0,010
<b>Máximo</b>	1,000	2,820	1,740	1,200	3,110	1,090	2,700	0,040
<b>Média</b>	0,213	0,520	0,372	0,431	0,679	0,205	0,210	0,008
<b>s</b>	1,117	2,763	2,247	3,578	1,085	1,958	1,265	0,041
<b>VT</b>	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
<b>VE</b>	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$

Os açúcares ramnose (20,28%), glicose (15,65%), galactose (14,31%) e fucose (8,32%) juntos, compreenderam, aproximadamente, 60% da concentração total de monossacarídeos poliméricos no reservatório de Barra Bonita (Figura 2). Em geral, as maiores porcentagens de

galactose e fucose foram registradas durante os meses mais secos, enquanto que a ramnose e a arabinose ocorreram em maior percentagem nos meses mais chuvosos. As concentrações de glicose foram semelhantes durante todo período de estudo.

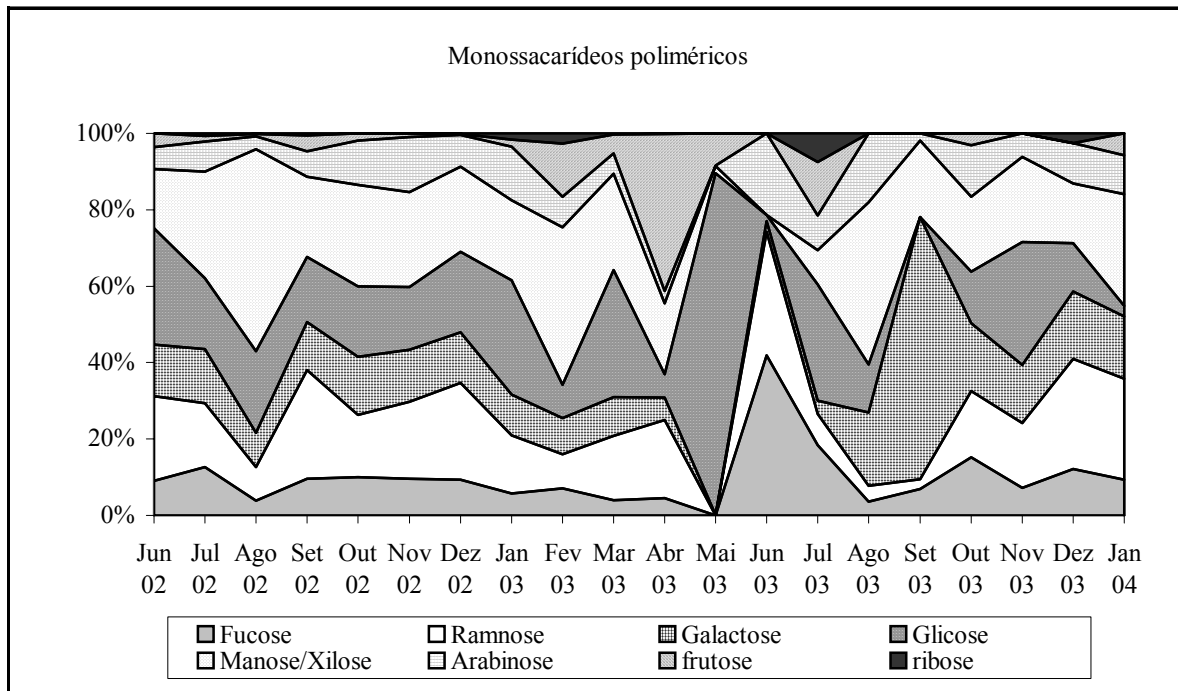


Figura 2. Concentração (%) dos monossacarídeos poliméricos do reservatório de Barra Bonita, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

A concentração média de ramnose foi de  $0,520 \text{ mg.L}^{-1}$ , considerando-se todo período de estudo. As maiores concentrações deste açúcar acompanharam as elevadas densidades de *A. granulata* e *Cryptomonas* sp nos meses mais secos e de células livres de *Microcystis* sp e *M. aeruginosa* na maioria dos meses (Figura 3).

A glicose foi o segundo açúcar mais representativo quantitativamente ( $0,431 \text{ mg.L}^{-1}$ , em média). Em geral, apresentou-se em grandes concentrações na maioria dos meses amostrados, provavelmente por ser um açúcar comum a todos as espécies de algas (Figura 4).

A concentração média de galactose foi de  $0,372 \text{ mg.L}^{-1}$  durante todo período de estudo. As maiores concentrações acompanharam os florescimentos de cianofíceas (células livres de *Microcystis* sp) nos meses mais chuvosos e de diatomáceas (*A. granulata* e *C. menegheniana*) e criptofíceas (*Cryptomonas* sp) nos meses mais secos (Figura 5).

As maiores concentrações de fucose acompanharam as maiores densidades de *Cryptomonas* sp., principalmente durante os meses mais secos, sendo que a concentração média foi de  $0,213 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 6)

Em geral, as maiores concentrações de arabinose (média de  $0,205 \text{ mg.L}^{-1}$ ) foram registradas nos meses de maior pluviosidade, principalmente em 2002, onde as densidades de cianofíceas e diatomáceas apresentaram-se em elevadas (Figura 7).

A ribose foi registrada em pequenas concentrações durante todo período de estudo ( $0,008 \text{ mg.L}^{-1}$ , em média), enquanto que as concentrações de manose e xilose, que foram obtidas juntas, apresentaram os maiores valores em todos os meses.

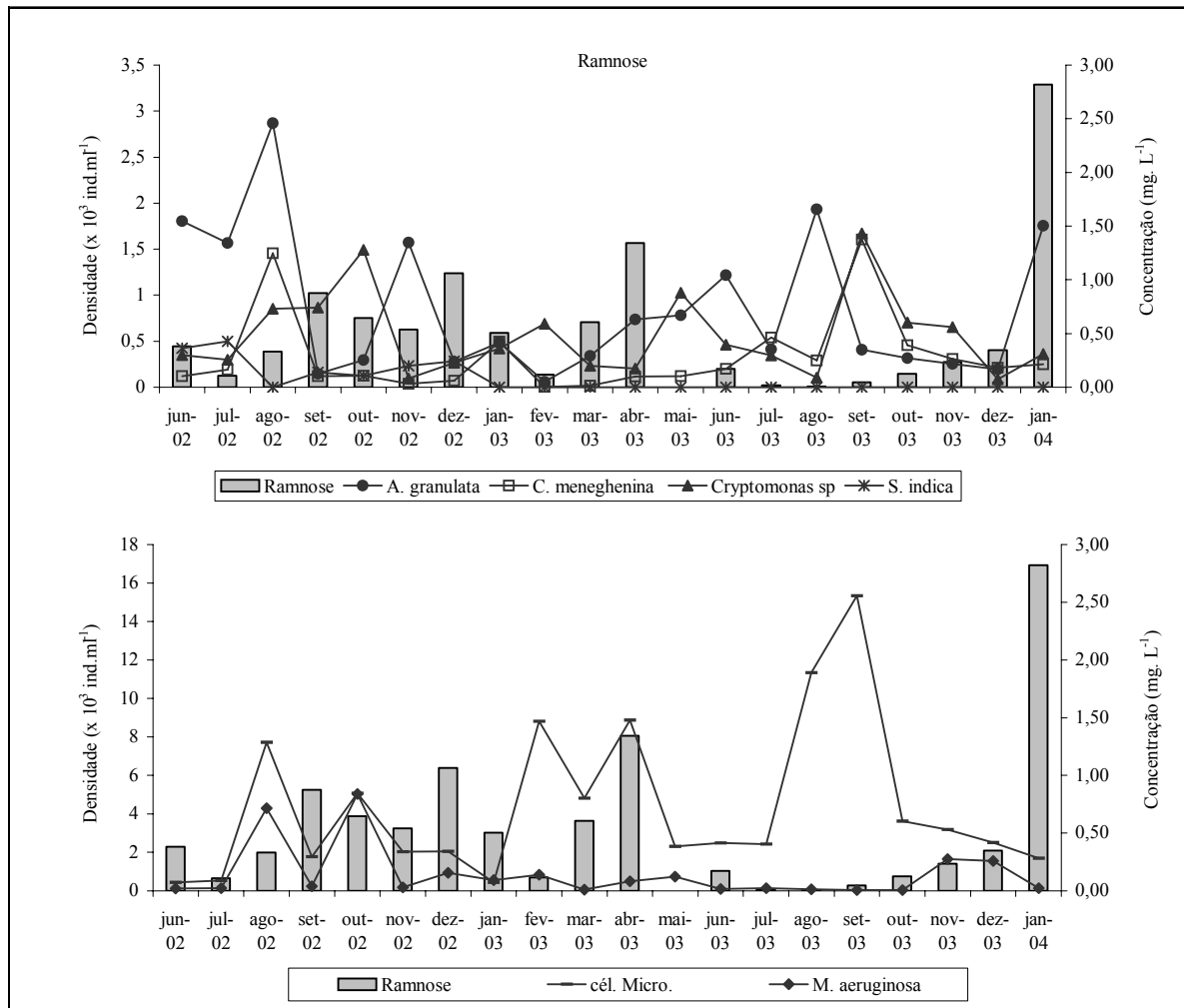


Figura 3. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de ramnose polimérica e densidade ( $\text{ind. mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.



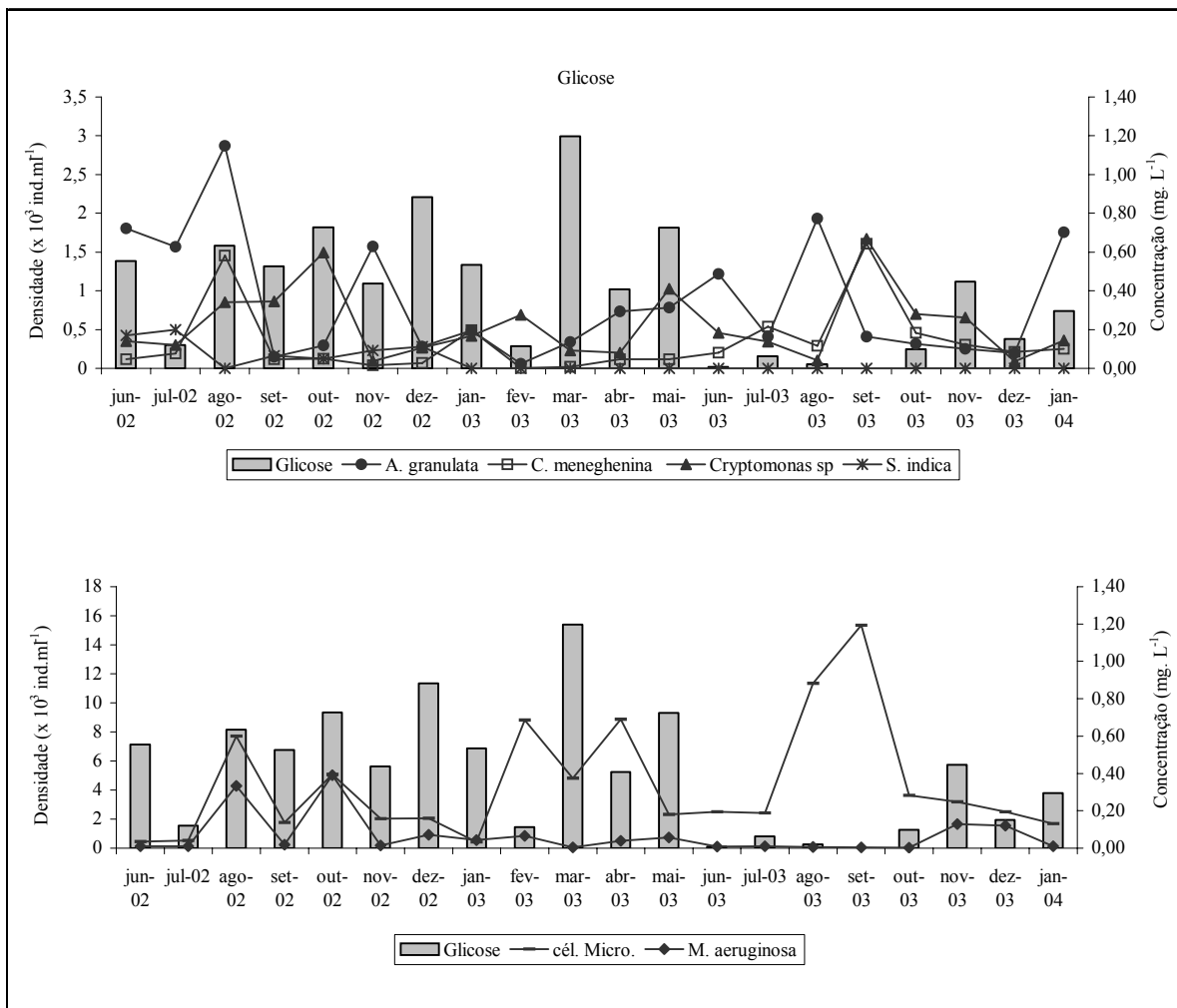


Figura 4. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de glicose polimérica e densidade ( $\text{ind. mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

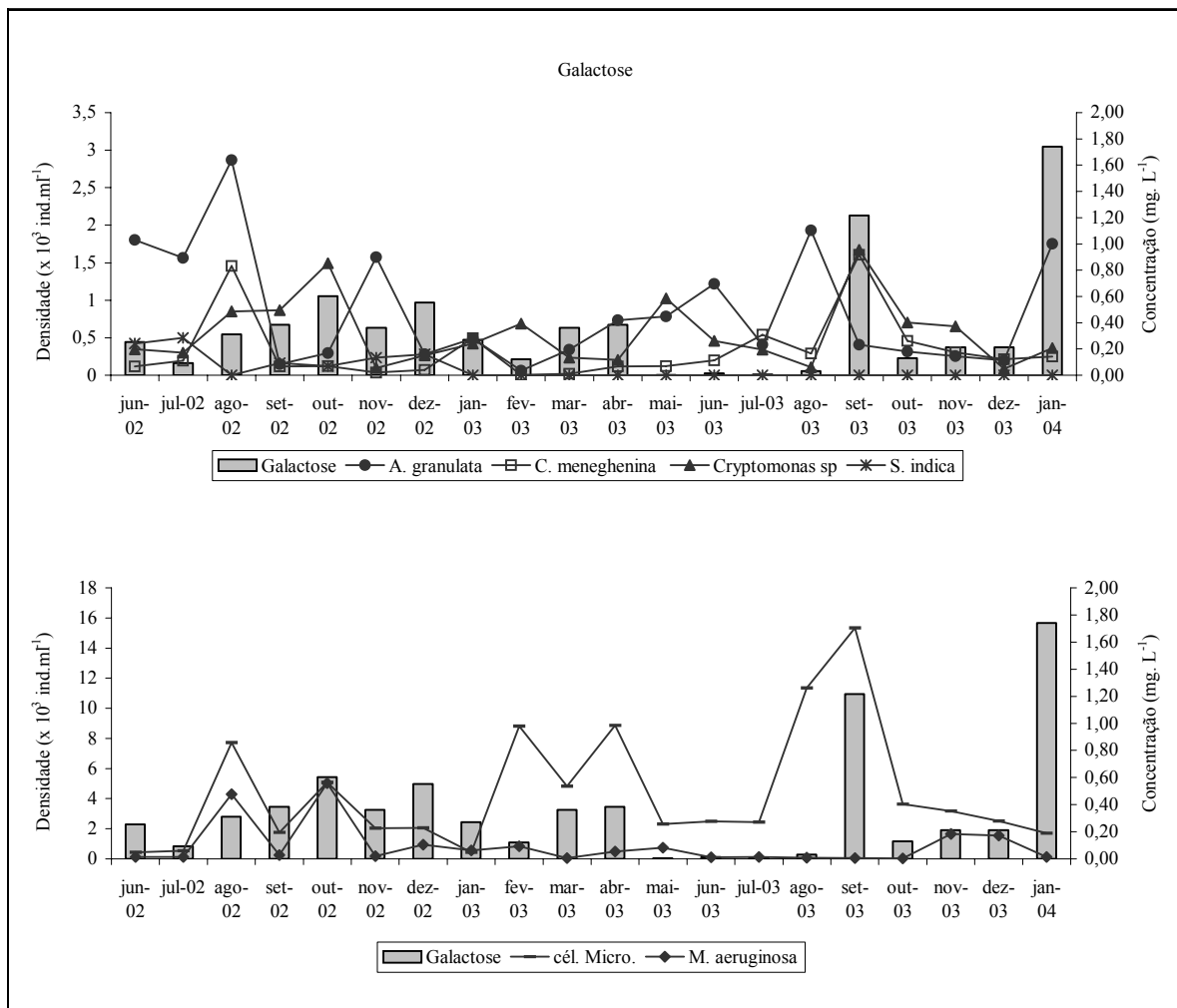


Figura 5. Concentração total (mg. L<sup>-1</sup>) de galactose polimérica e densidade (ind.mL<sup>-1</sup>) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

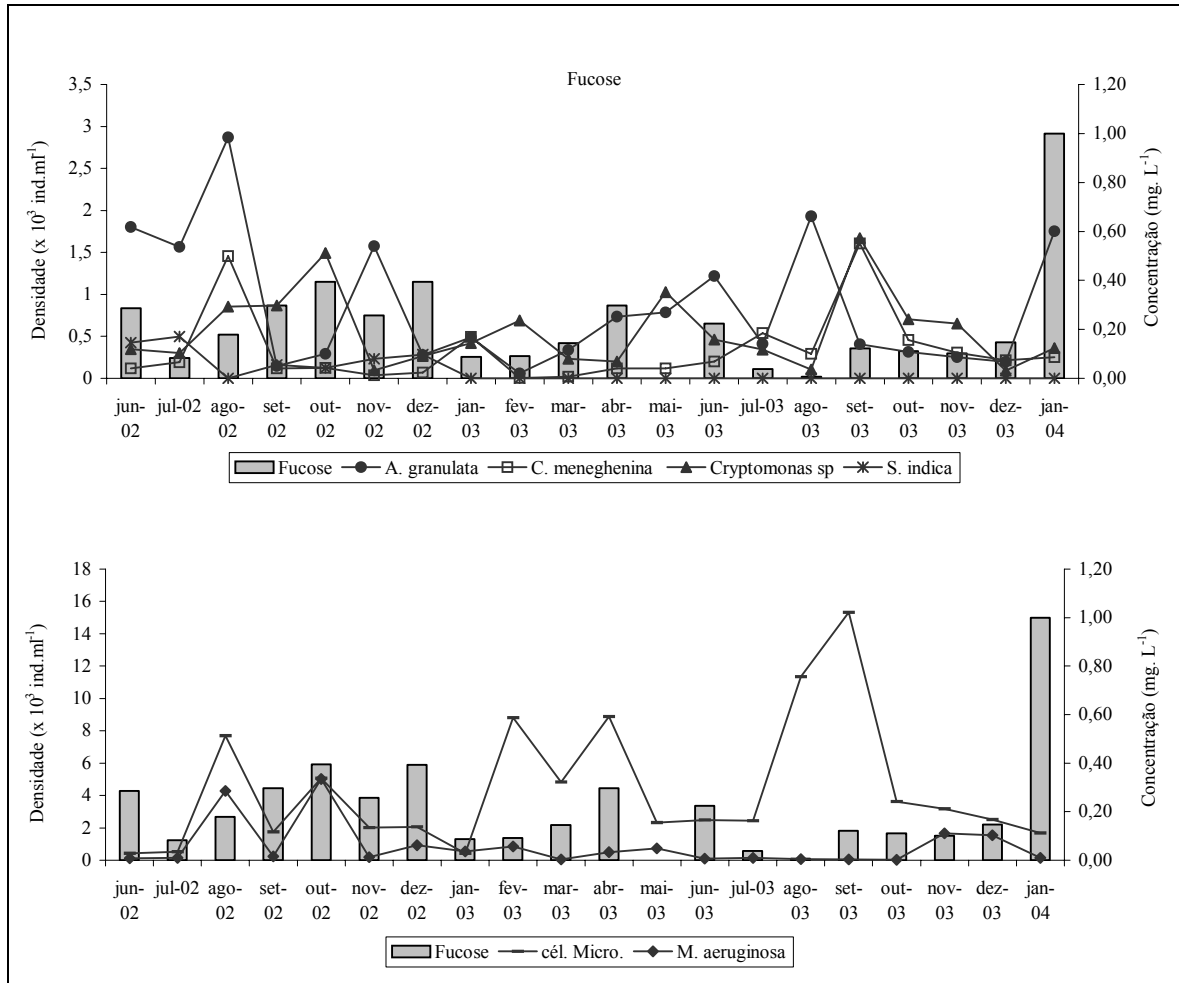


Figura 6. Concentração total (mg. L<sup>-1</sup>) de fucose polimérica e densidade (ind.mL<sup>-1</sup>) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

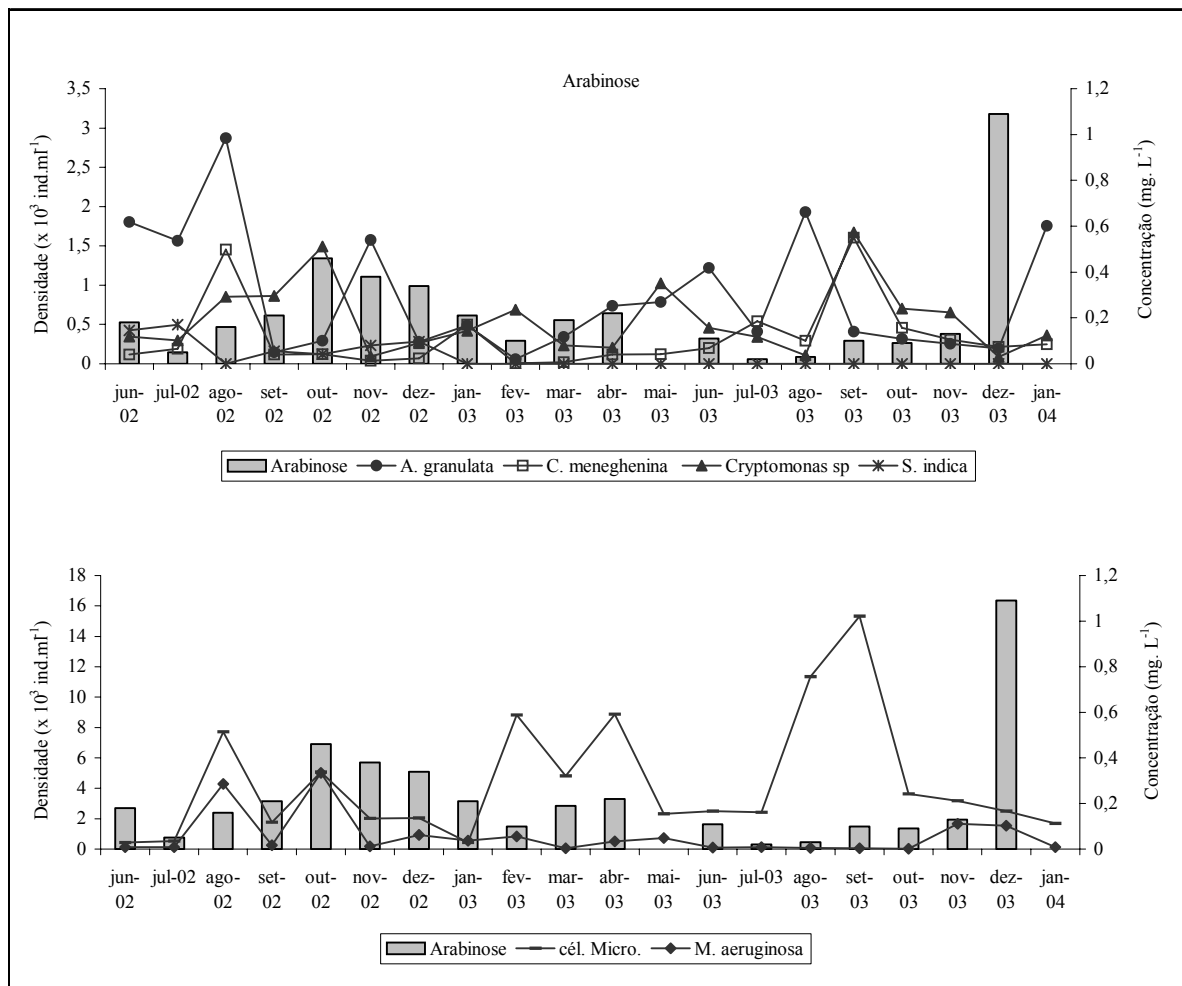


Figura 7. Concentração total ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) de arabinose polimérica e densidade ( $\text{ind. mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes, durante os meses de junho de 2002 a janeiro de 2004.

A concentração de monossacarídeos livres registrada no reservatório foi de, aproximadamente, 10% em relação à concentração total de carboidratos dissolvidos. Os açúcares glicose, frutose e ribose juntos, representaram aproximadamente 97% da concentração total de monossacarídeos livres, enquanto que os demais monossacarídeos (fucose, ramnose, arabinose, galactose e manose/xilose) representaram, juntos, menos de 10% da concentração total de açúcares livres em Barra Bonita. As maiores concentrações de monossacarídeos livres foram registradas nos meses mais secos (exceto em janeiro de 2004), onde o TR foi aproximadamente o dobro do registrado no período chuvoso e foram acompanhadas pelas grandes densidades de células livres de

*Microcystis* sp, *Microcystis aeruginosa*, *Cryptomonas* sp, *C. menegheniana* e *Aulacoseira granulata* (Figura 8).

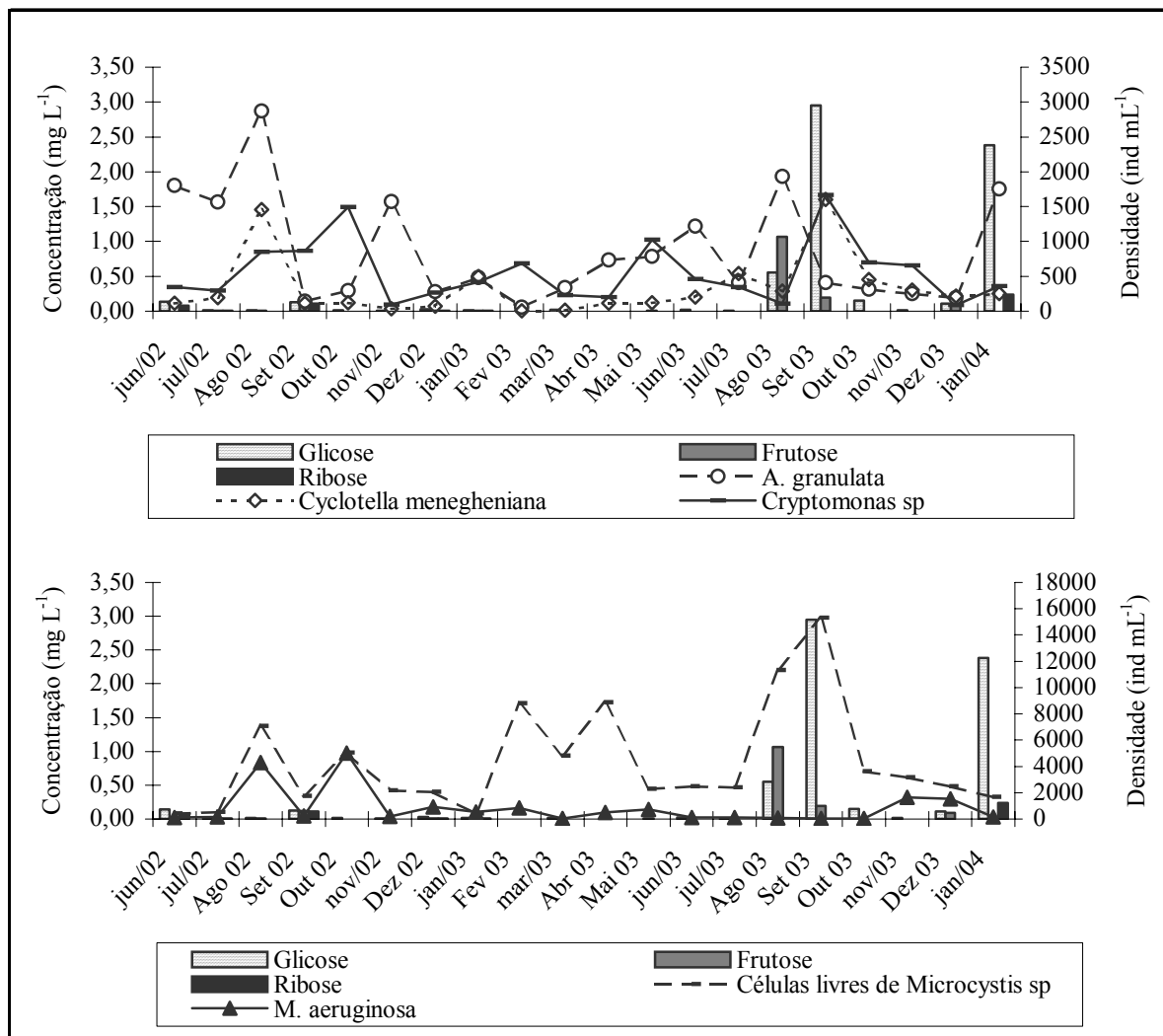


Figura 8. Concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos monossacarídeos livres glicose, frutose e ribose e densidade ( $\text{ind mL}^{-1}$ ) das espécies mais abundantes no reservatório de Barra Bonita durante os meses de junho/02 a janeiro/04.

A análise de correspondência, aplicada sobre as concentrações dos carboidratos poliméricos explicou 70% da variabilidade dos dados. O eixo 1 (38% da variabilidade dos dados), em geral, mostrou a existência da sazonalidade climática em relação à concentração dos carboidratos poliméricos, separando os meses de maior pluviosidade daqueles de menor pluviosidade. Em

relação aos monossacarídeos, a glicose considerado o açúcar mais comum, apresentou-se mais distante em relação aos demais, seguido pela galactose. O eixo 2 (32% da variabilidade dos dados), em geral, separou os açúcares registrados em pequenas concentrações, como a frutose, a ribose e a fucose dos demais (Tabela 3, Figura 9).

Tabela 3 - Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência (CA) sobre a concentração dos carboidratos poliméricos hidrolisáveis durante todo período de coleta.

	F1	F2
<b>% variância</b>	38,36	31,37
<b>% acumulada</b>	38,36	69,73

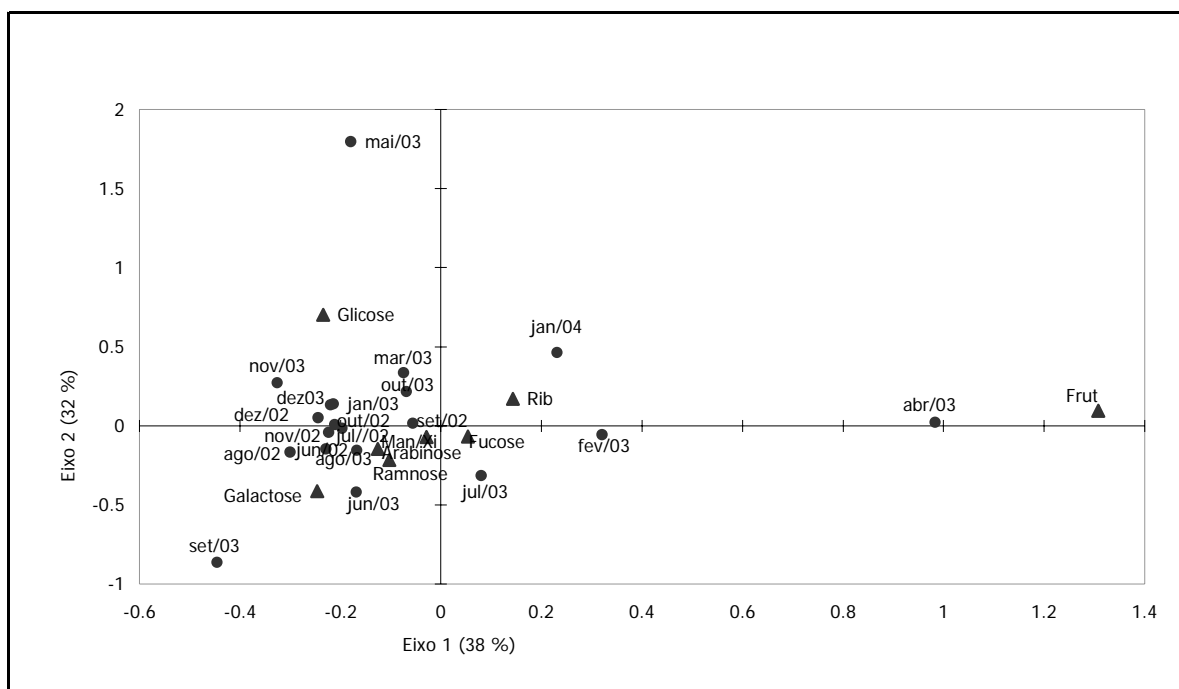


Figura 9. Ordenação da concentração de carboidratos poliméricos hidrolisáveis e das coletas (junho/02 a janeiro/04) pela AC, nos eixo 1 e 2.

A análise de correspondência, aplicada sobre as espécies consideradas abundantes, explicou 53% da variabilidade dos dados. O eixo 1 (40% da variabilidade dos dados) em geral, separou os meses mais secos dos mais chuvosos, mostrando que a sazonalidade climática foi determinada, principalmente, pela quantidade de chuvas ocorridas ao longo do ano. O eixo 2 (13% da variabilidade dos dados), mostrou separação das coletas realizadas no ano de 2002, daquelas realizadas em 2003, portanto, a existência de variabilidade anual em relação à densidade, bem como a distinção entre as espécies consideradas abundantes durante a maioria dos meses amostrados, principalmente, as células livres de *Microcystis* sp e *Aulacoseira granulata*, que foram abundantes praticamente durante todo período de estudo (Tabela 4, Figura 10).

Tabela 4. Fatores e porcentagem total acumulada da variância obtidos na análise de correspondência (CA) sobre as espécies fitoplanctônicas abundantes durante todo período de coleta.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>% variância</b>	39,9	12,6
<b>% acumulada</b>	39,9	52,6

Em ambas análises, pudemos observar a importância da sazonalidade climática representada, principalmente, pela pluviosidade na dinâmica das espécies abundantes e, provavelmente, nas concentrações dos monossacarídeos poliméricos.

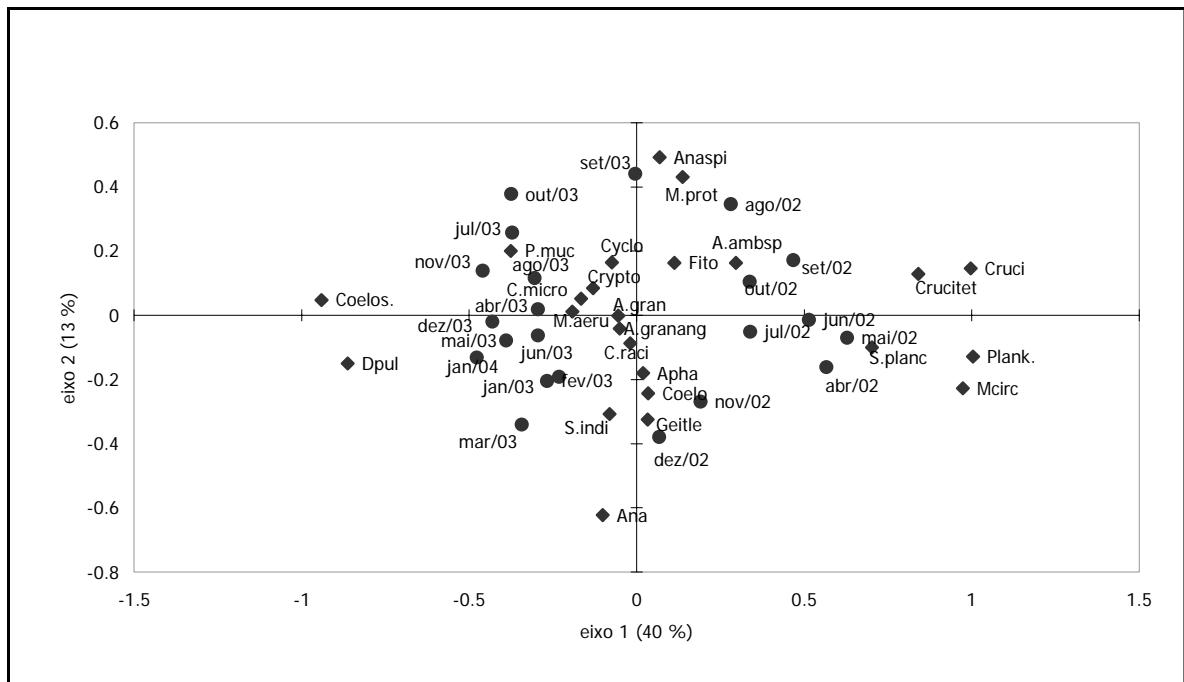


Figura 10. Ordenação das espécies abundantes e das coletas mensais pela CA, nos eixos 1 e 2 (Espécies - (◆); Coletas - (●)).

## Discussão

Os carboidratos, especialmente os polissacarídeos, muitas vezes compreendem de 80% a 90% da liberação extracelular total, porém, a composição e a concentração destes açúcares varia com o estado nutricional do ambiente, com o estado fisiológico do fitoplâncton (Mykkestad, 1995) e com a composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica e dominância de determinadas espécies (Shin et al., 2003).

A comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita, considerado um ambiente eutrofizado (Dellamano-Oliveira et al., em preparação), foi representada, quantitativamente, por poucas espécies (*M. aeruginosa*, células livres de *Microcystis* sp, *P. mucicola*, *A. spiroides*, *A. granulata*, *C. menegheniana*, *Cryptomonas* sp, *D. pulchellum* e *S. indica*), a maioria delas consideradas grandes produtoras de polissacarídeos extracelulares (EPS) (De Phillips & Vicenzini, 1998; Hoagland et al., 1993; Giroldo & Vieira, 2002; Shin et al., 2003). Segundo Tien et al. (2002), o aumento da eutrofização, como vem ocorrendo no reservatório de Barra Bonita nos últimos anos,



tende a aumentar o número de espécies produtoras de mucilagem, como *Microcystis* sp, aumentando assim, a quantidade de polissacarídeos dissolvidos.

Na maioria dos meses amostrados, as maiores concentrações de carboidratos poliméricos ocorreram juntamente com o registro de grandes florescimentos das espécies abundantes que, provavelmente, foram as principais fontes de EPS para o sistema. Soares (1992), em seu estudo na Represa do Broa (SP), considerado um ambiente eutrofizado, encontrou concentrações de monossacarídeos poliméricos e livres próximas às registradas neste estudo. Segundo este autor, as concentrações dos diferentes monossacarídeos ao longo do período de coleta, trouxeram indícios de que a comunidade fitoplanctônica foi o principal contribuinte para a concentração de carboidratos dissolvidos na represa.

Em relação aos monossacarídeos livres, as baixas concentrações registradas sugerem que a produção e o consumo destes açúcares se encontram de maneira balanceada. De acordo com Colombo (em preparação), estes monossacarídeos, provavelmente foram consumidos rapidamente por bactérias, assim que liberados na água.

A relação entre a concentração de carboidratos totais e as altas densidades fitoplanctônicas, principalmente de cianofíceas e diatomáceas também foi observada por Hayakawa (2004) e Satoh et al. (1986), entre as cianofíceas *Aphanothece clathrata* e *Microcystis aeruginosa*, ambos para lagos do Japão. Em relação às diatomáceas, Faganeli et al. (1995) estudaram as variações sazonais dos carboidratos particulados no Golfo de Trieste e encontraram uma correlação significativa entre carboidratos particulados e biomassa fitoplanctônica. Embora a correlação observada por estes autores refira-se a carboidatos particulados, os mesmos observaram a importância do bloom fitoplanctônico, no caso representado pelas diatomáceas, como importante fonte de carboidratos, principalmente polissacarídeos, para o ambiente marinho.

Os blooms fitoplanctônicos são característicos de muitos ecossistemas aquáticos e embora permaneçam por poucas semanas ou dias, acredita-se que o estado fisiológico do fitoplâncton durante o bloom pode ser determinante para a composição do açúcar (monossacarídeo) dos

polissacarídeos liberados (Myklestad, 1995; Meon & Kirchman, 2001; Giroldo & Vieira, 2002). Assim, a composição e a proporção monossacarídica dos carboidratos poliméricos dissolvidos no reservatório de Barra Bonita, foram condicionadas pelas variações na quantidade de chuvas e tempo de residência da água, as quais determinaram a composição qualitativa e quantitativa do fitoplâncton (como mostrado na CA). Segundo Shin et al. (2003), a composição taxonômica do fitoplâncton é, provavelmente, o mais importante parâmetro que determina a composição dos produtos fotossintéticos.

Os monossacarídeos poliméricos mais representativos, quantitativamente, durante todo período de estudo foram: glicose, galactose, ramnose e fucose. Considerando-se os dois períodos amostrados (chuvoso e seco), em geral, nos meses mais secos (entre maio e julho de 2003 principalmente), as concentrações destes monossacarídeos apresentaram-se baixas e foram acompanhadas por uma redução na densidade do fitoplâncton. Nesta época, Colombo (em preparação) também observou uma redução na atividade enzimática total, na concentração de carboidratos totais (que são na maior parte poliméricos) e na densidade bacteriana. Segundo a autora, esta queda poderia ser interpretada como o final de um evento de degradação dos carboidratos liberados pelo fitoplâncton em fevereiro e abril de 2003.

As abundâncias relativas dos monossacarídeos poliméricos (ramnose (20,28%), glicose (15,65%), galactose (14,31%), fucose (8,32%), manose/xilose (24,71%) e arabinose (13,9%)) encontradas neste estudo foram semelhantes às registradas em outros ambientes de água doce. De acordo com Hayakawa (2004), os monossacarídeos poliméricos mais abundantes em lagos mesotróficos e eutróficos são a galactose e a glicose, pois estes açúcares são comuns em exopolímeros de cianofíceas e diatomáceas (Hoagland, 1993; De Philippis & Vicenzini, 1998), que foram as classes mais representativas, quantitativamente, neste estudo. Estes açúcares, juntamente com a ramnose, fucose, arabinose, manose e xilose podem ser todos provenientes da degradação do polissacarídeo liberado por populações fitoplanctônicas (Hedges et al., 1994; Hayakawa, 2004).

A frutose e a ribose, foram registradas em baixas concentrações neste estudo, pois são, na maioria das vezes, provenientes de material intracelular de células em decomposição, tanto de material autóctone quanto alóctone e, provavelmente, foram rapidamente metabolizadas pelas populações bacterianas, assim que liberadas na água. Segundo Wicks et al. (1991), a ribose pode indicar a influência do plâncton (bactéria, fitoplâncton e zooplâncton), já que faz parte da composição das moléculas de RNA.

A glicose, comum nos corpos d'água em geral, além de formar a celulose, forma também o glicogênio, o amido e a crisolaminarina, que são polissacarídeos de reserva, utilizados pelos organismos fitoplanctônicos em momentos de estresse, como no final do bloom, quando o crescimento é limitado.

A ramnose, considerado o monossacarídeo mais comum nos meses mais quentes (39%), onde ocorreram grandes florescimentos de cianofíceas (células livres de *Microcystis* sp e *M. aeruginosa*), seguido pela galactose e glicose, também foi o açúcar mais abundante registrado por Gouvêa et al. (2005) em culturas de *M. aeruginosa* (19,4% de ramnose, 16,3% de galactose e 13,4% de glicose), enquanto que Colombo et al. (2004) registraram maiores porcentagens de arabinose (22%) e de glicose (29%) em amostras de *A. spiroides*, ambas coletadas neste reservatório. Nicolaus et al. (1999), também encontraram grande quantidade de glicose e galactose em amostras de *Anabaena* sp, *Anabaena tortulosa* e *Phormidium* sp. Estes açúcares, juntamente com a manose, também foram registrados em grande quantidade por estes autores, em amostras de *Chroococcus minutus*. Segundo Gloaguen et al. (1995), a ramnose e a manose foram os açúcares mais representativos quantitativamente, em amostras de duas espécies de *Oscillatoria* sp.

As concentrações dos açúcares galactose e fucose, em geral, foram registradas em maiores porcentagens nos meses mais secos, principalmente no ano de 2002, onde as densidades de diatomáceas (*A. granulata* e *C. menegheniana*) e criptofíceas (*Cryptomonas* sp) apresentaram-se elevadas, paralelamente com as cianofíceas. Gouvêa et al. (2005), encontraram maiores proporções de ramnose (18,4%), glicose (15,4%) e fucose (15,5%), em culturas de *A. granulata*, isoladas de

amostras deste mesmo reservatório. Também no reservatório de Barra Bonita, Giroldo et al. (2003) registraram 50% de manose e 18,3% de ramnose para uma espécie de *Thalassiosira* (cultura), seguidos pela xilose. Giroldo & Vieira (2005) também encontraram composição monossacarídica semelhante, em culturas de *Cryptomonas tetrapyrenoidosa*, mas em diferentes proporções, enquanto que Antonio, Bianchini Jr. & Vieira (com. pessoal), registraram grande concentração de ácido galacturônico (47%) e galactose (36%), em amostras de *C. tetrapyrenoidosa*, ambos para o reservatório de Barra Bonita.

Assim, diante dos resultados apresentados, podemos considerar que os polissacarídeos foram os principais carboidratos extracelulares liberados pelo fitoplâncton e que as concentrações destes carboidratos variaram em função da dinâmica das espécies abundantes.

### **Agradecimentos**

À FAPESP, pelo auxílio financeiro, processos número 02/02517-6 e 99/07766-0 e ao CNPQ, processo número 352261/1996-0.

### **Referências Bibliográficas**

- BITTAR, T., B. 2005. *Produção de TEP (Transparente Exopolimer Particles) em culturas de espécies de microalgas isoladas do reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê, SP)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 87p.
- BURNEY, C. M.; DAVIS, P. G.; JOHNSON, M.; SIEBURTH, MCN. J. 1981. Dependence of dissolved carbohydrate concentrations upon small scale nanoplankton and bacterioplankton distributions in the western Sargasso Sea. *Marine Biologie*, 65: 289-296.
- COLOMBO, V.; VIEIRA, A. A. H. & MORAES, G. 2004. Activity of glycosidases from freshwater heterotrophic microorganisms on the degradation of extracellular polysaccharide produced by of *Anabaena spiroides* (Cyanobacteria). *Brasilian Journal of Microbiology*, 35: 110-116.
- COLOMBO, V. *Relações qualitativas e quantitativas das glicosidases com os polissacarídeos de origem algal no reservatório de Barra Bonita* (em preparação).

- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J.; VIEIRA, A.A.H.; SANT'ANNA, C. L.& COLOMBO, V. *Dinâmica da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita (S.P., Brasil)* (em preparação).
- DE PHILIPPS, R; VICENZINI, M. 1998. Exocelular polyssacharides from cyanobacteria and their possible applications. *FEMS, Microbiologie Review*, 22: 151-175.
- DHOPLE, V. M.; BHOSLE, N. B. 1987. Dissolved Carbohydrate in the Central Arabian Sea. *Indian Journal Marine Science*, 16: 43-45.
- FAGANELI, J.; KOVCAC, N.; LESKOVSEK, H; PEZDIC, J. 1995. Sources and fluxes of particulate organic matter in shallow coastal waters characterised by summer macroaggregate formation. *Biogeochemistry*, 29: 71-88.
- FREIRE-NORDI, C. S.; VIEIRA, A. A. H. 1998. Degradability of polyssacharides compounds excreted by *Ankistrodesmus densus* Kors. (Chlorophyceae) in cultures of natural bacterial communities. *Verh. Internat Verein. Limnologie*, 26: 1685-1688.
- FREIRE-NORDI, C. S.; VIEIRA, A. A. H.; NASCIMENTO, O. R. 2005. The metal binding capacity of *Anabaena spiroides* extracellular polysaccharide: an EPR study. *Process Biochemistry*, 40: 2215-2224.
- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H. 2002. An extracellular sulfated fucose rich polisaccharide produced by a tropical strain of *Cryptomonas obovata* (Cryptophyceae) *Journal of Applied Phycology*, 14: 185-191.
- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H.; PAULSEN, B. S. 2003. Relative increase of deoxy sugars during microbial degradation of an extracellular polysaccharide released by a tropical freshwater *Thalassiosira* sp (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 39: 1109-1115.
- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H. 2005. Polymeric and free sugars released by three phytoplanktonic species from a freshwater tropical eutrophic reservoir. *Journal of Plankton Research*, 27 (7): 695-705.

- GLOAGUEN, V.; MORVAN, H.; HOFFMAN, L. 1995. Arch Hydrobiol. Suppl 109 *Algological Studies*, 78, p. 53.
- GOUVÊA, S. P.; VIEIRA, A.A.H.; LOMBARDI, A. T. 2005. Copper and cadmium complexation by high molecular weight materials and of water from a eutrophic reservoir. *Chemosphere*, 60: 1332-1339.
- GREMM, T. J. 1997. Dissolved Carbohydrates in streamwater determined by HPLC and pulse amperometric detection., 42: 385-393.
- GROSSART, H. P.; HIETANEN, S. & PLOUG. H. 2003. Microbial dynamics on diatom aggregates in Øresund, Denmark. *Marine Ecology Progress Series*, 249: 69-78.
- HAYAKAWA, K. 2004. Seasonal variations and dynamics of dissolved carbohydrates in Lake Biwa. *Organical Geochemistry*, 35: 169-179.
- HEDGES, J. L. et al. 1994. Origins and processing of organic matter in the Amazon river as indicated by carbohydrates and amino acids. *Limnology and Oceanography*, 39: 743-761.
- HOAGLAND, K. D.; ROSOWSKI, J. R.; GRETZ, R. & ROEMER, S. C. 1993. Diatom extracellular polymeric substances: function, fine structure, chemistry and physiology. *Journal of Phycology*, 29: 537-566.
- ITTEKOTT, V.; BROCHMANN, U. H.; MICHAELIS, W. & DEGENS, E. T. 1981. *Marine Ecology. Progress Series*, 4: 299-305.
- LOMBARDI, A.T.; VIEIRA, A. A. H. 2000. Copper complexation by Cyanophyta and Chlorophyta exudates. *Phycologia*, 39: 118-125.
- MEON, B.; KIRCHMAN, D. L. 2001. Dynamics and molecular composition of dissolved organic material during experimental phytoplankton blooms. *Marine Chemistry*, 75: 185-199.
- MOPPER, K.; SCHULTZ, C. A.; CHEVOLOT, L. REVUELTA, R.; DAWSON, R. 1992. Determination of sugar in unconcentrated seawater and other waters by liquid chromatography pulse amperometric detection. *Environment Science Technology*, 26: 133-138.

- MYKLESTAD, S. M. 1995. Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polyssacharides. *The Science of the total environmental*, 165: 155-164.
- NICOLAUS, B.; PANICO, A.; LAMA, L.; ROMANO, I.; MANCA, M. C.; DE GIULIO, A.; GAMBACORTA, A. 1999. Chemical composition and production of exopolysacharides from representative members of heterocystous and non-heterocystous cyanobacteria. *Phytochemistry*, 52: 639-647.
- NOGUEIRA, P.F.M.; MELÃO, M.G.G.; LOMBARDI, A.T. & VIEIRA, A.A.H. 2005. The effects of *Anabaena spiroides* (Cyanophyceae) exopolysaccharide on copper toxicity *Symocephalus serrulatus* (Cladocera, Daphnidae). *Freshwater Biology* 50: 1560-1567.
- ROSZKOWSKI, W.; BEUTH, J.; KO, H. L.; UHLENBRUCK, G. & PULVERER, G. 1989. Blocking of lecithin-like adhesion molecules on pulmonary cells inhibits lung sarcoma L colonization in BALB/c-mice. *Experientia*, 45: 584-588.
- SATOH, Y.; HAYASHI, H.; NAKAMOTO, N.; OKINO, T. 1986. Regulating factors of the concentration of dissolved carbohydrates in a central water column of lake Suwa, Japan. *Archive für Hydrobiologie*, 105 (3): 299-319.
- SENIOR, W.; CHEVOLOT, L. 1991. Studies of dissolved carbohydrates (or carbohydrate-like substances) in an estuarine environment. *Marine Chemistry*, 32: 19-35.
- SHIN, K. H.; HAMA, T. HANDA, N. 2003. Effect of nutrient conditions on the composition of photosynthetic products in the East China Sea and surrounding waters. *Deep-Sea Research II*, 50: 389-401.
- SOARES, F. S. 1992. *Estudo dos carboidratos dissolvidos livres e combinados na Represa do broa (SP) e sua relação com a comunidade fitoplanctônica*. Tese – Doutorado (PPG-ERN/UFSCar), 127p.
- TIEN, C. J.; KRIVTSOV, V.; LEVADO, E.; SIGEE, D. C.; WHITE, K. N. 2002. Occurrence of cell-associated mucilage and soluble extracellular polysaccharides in Rostherne Mere and their possible significance. *Hydrobiologia*, 485 (1-3): 245-252.

- TRENT, J. D.; SHANKS, A. L. & SILVER, M. W. 1978. In situ and laboratory measurements on macroscopic aggregates in Monterey Bay, California. *Limnology and Oceanography*, 23: 626-635.
- WICKS, R. J.; MORAN, M. A.; PITTMAN, L. J. & HODSON, R. E. 1991. Carbohydrate signatures of aquatic macrophytes and their dissolved degradation products as determined by sensitive high-performance ion chromatography method. *Applied Environmental Microbiology*, 57: 3135-3143.
- ZHOU J; MOPPER, K; PASSOW, U. 1998. The role of surface active carbohydrates in the formation of transparent exopolymer particles by bubble adsorption of seawater. *Limnology and Oceanography*, 43: 1860-1871.



**CAPÍTULO 4****ESTUDO DOS AGREGADOS GELATINOSOS (LAKE SNOW) NO RESERVATÓRIO DE  
BARRA BONITA E SUA RELAÇÃO COM AS ALGAS FITOPLANCTÔNICAS  
ABUNDANTES**

---

ABSTRACT: (Gelatinous aggregates (lake snow) from an eutrophic Brazilian reservoir and their relationships with abundant phytoplanktonic algae). Lake snow and phytoplankton studies were conducted in Barra Bonita Reservoir, in the Tietê River basin, southeastern Brazil. Monthly sampling from April 2002 to January 2004 and two intensive samplings (dry and wet periods) were performed in six depths (0m, 1m, 3m, 5m, 10m and 17m deep), at a sample station localized 3km upstream the reservoir dam. Among the sampled months the highest numbers of aggregates were registered in August 2002 (167 agg.L<sup>-1</sup>) and September 2002 (230 agg.L<sup>-1</sup>). The mean numbers of aggregates registered in the intensive samplings was 38 agg.L<sup>-1</sup> in June 2003 and 68 agg.L<sup>-1</sup> in December 2003. Seasonal occurrence of algal species aggregated to polysaccharidic matrices followed the dynamic of dominant species in the Reservoir. *Aulacoseira granulata* and free cells of *Microcystis* sp. were the most frequent taxa in the aggregates (70%) in the majority of samples. Other species, as *Pseudanabaena mucicola*, *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix tropicalis*, *Cyclotella menegheniana*, *Cryptomonas* sp, *Actinastrum hantzschii*, *Quadrigula lacustris* and *Schroederia indica* were registered in less frequency (10% to 15%). The monosaccharide composition of the gelatinous aggregated polysaccharides was the same registered in dissolved carbohydrates samples, reinforcing the importance of phytoplankton as the major source, chiefly of polysaccharides and of the gelatinous aggregates in the transport of these sugars through the water column. However, studies concerning gelatinous aggregates in freshwater are recent and more investigation are needed to confirm the patterns showed in our results.

Keywords: gelatinous aggregates, phytoplankton, Reservoir.

RESUMO: (Estudo dos agregados gelatinosos (lake snow) no reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes). O estudo dos agregados foi realizado em coletas mensais (abril de 2002 a janeiro de 2004) e intensivas (períodos seco e chuvoso), em seis profundidades na coluna d'água (0m, 1m, 3m, 5m, 10m e 17m), em um ponto fixo do reservatório, localizado 3 km a montante da barragem. Nas coletas mensais, o maior número de agregados foi registrado nos meses de agosto/02 (167 agg.L<sup>-1</sup>) e setembro/02 (230 agg.L<sup>-1</sup>). Durante as coletas intensivas o número de agregados foi, em média, de 38 agg.L<sup>-1</sup> em junho e de 68 agg.L<sup>-1</sup> em dezembro. A ocorrência sazonal das espécies algais agregadas às matrizes polissacarídicas, acompanhou a dinâmica das espécies abundantes no reservatório. *Aulacoseira granulata* e células livres de *Microcystis* sp, foram os táxons mais frequentes nos agregados (70%) na maioria das coletas. Outras espécies, como *Pseudanabena mucicola*, *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix tropicalis*, *Cyclotella menegheniana*, *Cryptomonas* sp, *Actinastrum hantzschii*, *Quadrigula lacustris* e *Schroederia indica*, foram registradas com menor frequência (10% a 15%). A composição monossacarídica dos polissacarídeos dos agregados gelatinosos foi a mesma registrada nas amostras de carboidratos dissolvidos, reforçando a importância do fitoplâncton como principal fonte, principalmente de polissacarídeos e dos agregados gelatinosos no transporte destes açúcares através da coluna d'água. Porém, os estudos envolvendo os agregados gelatinosos em água doce, são recentes e necessitam de maiores investigações.

Palavras chave: agregados gelatinosos, fitoplâncton, reservatório.

## **Introdução**

Os agregados gelatinosos, numerosos nos oceanos, são partículas amorfas, flocosas, de composição e tamanho variáveis (Simon et al., 2002), podendo alcançar dimensões surpreendentes, na escala de metros (Alcoverro et al., 2000). Estas partículas possuem uma matriz gelatinosa formada por polissacarídeos extracelulares de origem algal, mas também de bactérias (Heissenberger et al., 1996) e, possivelmente, de outros organismos. A essa matriz polimérica se agregam células algais vivas e mortas, bactérias, restos de organismos zooplancônicos e outros detritos orgânicos e componentes inorgânicos, incluindo nutrientes (Shanks & Trent, 1979) e até protozoários (Caron et al., 1982).

Na literatura, são conhecidos como “marine snow” nos oceanos e como “lake snow” em água doce. Os primeiros estudos sobre os agregados iniciaram-se com o trabalho de Riley, em 1963, seguido por Silver et al. (1978) e Alldredge (1979). Porém, em 1967, Eppley et al., já observavam o fato de diatomáceas marinhas afundarem mais rapidamente após formarem agregados. A partir do final da década de 80, do século passado, os agregados gelatinosos vêm sendo estudados mais intensamente (Fowler & Knauer, 1986; Alldredge & Silver, 1988). Tem sido demonstrado, que estas partículas abrigam uma rica comunidade de microorganismos (Alldredge & Goltschalk, 1989) a qual leva a uma rápida liberação e reciclagem de matéria orgânica e inorgânica (Smith et al., 1992; Simon et al., 2002).

A maioria dos estudos envolvendo os agregados gelatinosos refere-se ao ambiente marinho, portanto, o papel destas partículas em ambientes lacustres ainda é pouco documentado (Grossart & Simon, 1993; Ortolano, 2005). Recentemente, os agregados gelatinosos têm sido estudados em lagos (Grossart & Simon, 1993) e os resultados indicam que o papel dessas partículas no ecossistema lântico é semelhante ao do ecossistema marinho. Segundo Grossart & Simon (1997), nos lagos, por causa da sucessão fitoplancônica e da interação com o zooplâncton (Somer et al., 1986), o controle e a formação dos agregados varia durante as diferentes estações. Portanto, a ocorrência sazonal e a formação dessas partículas devem ser estudadas juntamente com a dinâmica

do fitoplâncton, do zooplâncton, dos polissacarídeos coloidais disponíveis e da formação da TEP (Transparent Exopolymer Particles).

Alguns mecanismos básicos na formação de agregados gelatinosos são descritos na literatura, como turbulência, taxas diferentes de afundamento e concentração de matéria particulada (Mc Cave 1984, Jackson 1990). Entretanto, uma outra categoria de partículas, as TEP, compostas basicamente por polissacarídeos, são freqüentes na sua formação (Passow et al., 2001). As TEP, por sua vez, são formadas a partir da coagulação de polissacarídeos coloidais livres na água, causada pelo colapso de bolhas e/ou por choque entre colóides com diferentes velocidades em um gradiente de cisalhamento, processo que tem sido chamado de "formação abiótica" (Mopper et al., 1995; Zhou et al., 1998). No entanto, essas partículas podem também ter origem biótica, a partir de cápsulas de polissacarídeos produzidas por microalgas (Bittar, 2005).

Em relação aos agregados gelatinosos, os mecanismos básicos para sua formação são o choque de células com células ou com outras partículas como TEP; os choques TEP/TEP com posterior agregação de células. Segundo Kiørboe & Hansen (1993), o choque entre diatomáceas marinhas recobertas por polissacarídeos com alto poder adesivo também pode iniciar a formação de agregados, neste caso, ricos em diatomáceas.

Após sua formação, os agregados gelatinosos vão aumentando de tamanho, através da agregação contínua de partículas sólidas e de material polimérico, como colóides e TEP e, conseqüentemente, as taxas de afundamento destas partículas também aumentam, acelerando a remoção de material particulado da coluna d'água e diminuindo sua concentração (Eppley et al., 1967; Wassmann, 1983). Assim, um dos importantes papéis dos agregados em ambientes marinhos e, provavelmente, em lagos ou reservatórios com grande profundidade, é o transporte de matéria para o sedimento.

No reservatório de Barra Bonita, onde são freqüentes os florescimentos de cianofíceas, principalmente, *Microcystis aeruginosa*, a quantidade de TEP e, provavelmente, de agregados formados é grande, como já constatado por Bittar (2005) e Vieira (com. pessoal). Contudo, neste

reservatório, também ocorrem florescimentos sazonais de *Aulacoseira granulata* e de *Cryptomonas* sp., cujos polissacarídeos, apesar de terem sido pouco estudados com relação à formação de TEP e agregados gelatinosos, são ricos em grupos fucosil e ramnosil hidrofóbicos, de grande poder adesivo (Girollo & Vieira, 2002, 2005; Ortolano, 2005).

Assim, acredita-se que a formação e a quantidade de agregados gelatinosos no reservatório de Barra Bonita, seja favorecida pela constante mistura da coluna d'água e esteja relacionada com a ocorrência das espécies fitoplanctônicas abundantes.

### **Metodologia (Ver Capítulo 1)**

### **Resultados**

Considerando-se todo período de estudo, o maior número de agregados foi registrado nas amostras coletadas durante o ano de 2002, principalmente, nos meses de agosto ( $167 \text{ agg.L}^{-1}$ ) e setembro ( $230 \text{ agg.L}^{-1}$ ) (Tabela 1). Durante as coletas intensivas (junho/03 e dezembro/03), a quantidade de agregados foi, em média, de  $38 \text{ agg.L}^{-1}$  em junho e de  $68 \text{ agg.L}^{-1}$  em dezembro (Tabela 2).

A análise de variância comprovou a existência de variabilidade interanual ( $p < 0,05$ ), bem como a distinção entre os dois períodos estudados, ou seja, a diferenciação sazonal no número de agregados formados, tanto nas coletas mensais, quanto nas intensivas ( $p < 0,05$ ).

Tabela 1. Número de agregados registrados durante as coletas mensais (VT = variabilidade temporal; VE = variabilidade espacial).

<b>Coletas Mensais</b>	<b>Agregados L<sup>-1</sup></b>
Abril 02	43
Maio 02	103
Junho 02	60
Julho 02	37
Agosto 02	167
Setembro 02	230
Outubro 02	67
Novembro 02	57
Dezembro 02	43
Janeiro 03	37
Fevereiro 03	33
Março 03	13
Abril 03	27
Maio 03	97
Junho 03	30
Julho 03	30
Agosto 03	63
Setembro 03	57
Outubro 03	30
Novembro 03	57
Dezembro 03	83
Janeiro 04	50
VE	p<0,05
VT	p<0,05

Tabela 2. Número de agregados registrados durante as coletas intensivas (VT = variabilidade temporal).

Coletas intensivas	Agregados L <sup>-1</sup>
02/jun	44
03/jun	36
04/jun	46
05/jun	34
06/jun	40
08/dez	62
09/dez	28
10/dez	68
11/dez	33
12/dez	83
VT	p<0,05

Em geral, nos meses mais secos, onde foram registradas grandes densidades de *A. granulata*, de colônias de *Microcystis aeruginosa* e células livres de *Microcystis* sp, o número de agregados formados foi maior (Figura 1). Neste período, a vazão foi menor e o tempo de residência da água foi, aproximadamente, o dobro do registrado no período chuvoso (150 dias). O número de agregados registrados neste estudo, em geral, foi maior do que o encontrado por Grossart & Simon (1993) no pré-alpino e mesotrófico Lago Constance. Porém, nos oceanos, o número destas partículas pode variar de apenas algumas por metro cúbico em regiões pelágicas oligotróficas (Alldredge & Youngbluth, 1985) até milhares por metro cúbico (Shanks & Trent, 1980).

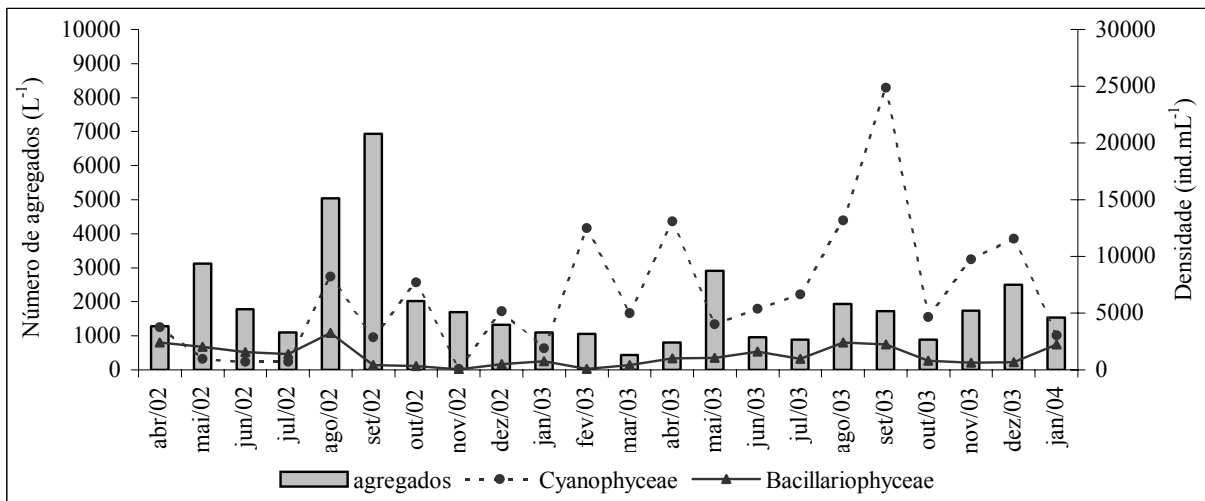


Figura 1. Número de agregados gelatinosos ( $L^{-1}$ ) e densidade total ( $ind.mL^{-1}$ ) das classes Cyanophyceae e Bacillariophyceae, durante todo período de estudo.

Considerando-se o perfil vertical, nas coletas mensais, o maior número de agregados foi registrado nas camadas mais profundas, como seria de se esperar, devido ao afundamento destas partículas (Figura 2). O teste de Kruskal-Wallis confirmou a existência de variabilidade espacial vertical no número de agregados ( $p < 0,05$ ) nas coletas mensais, como apresentado na tabela 1.

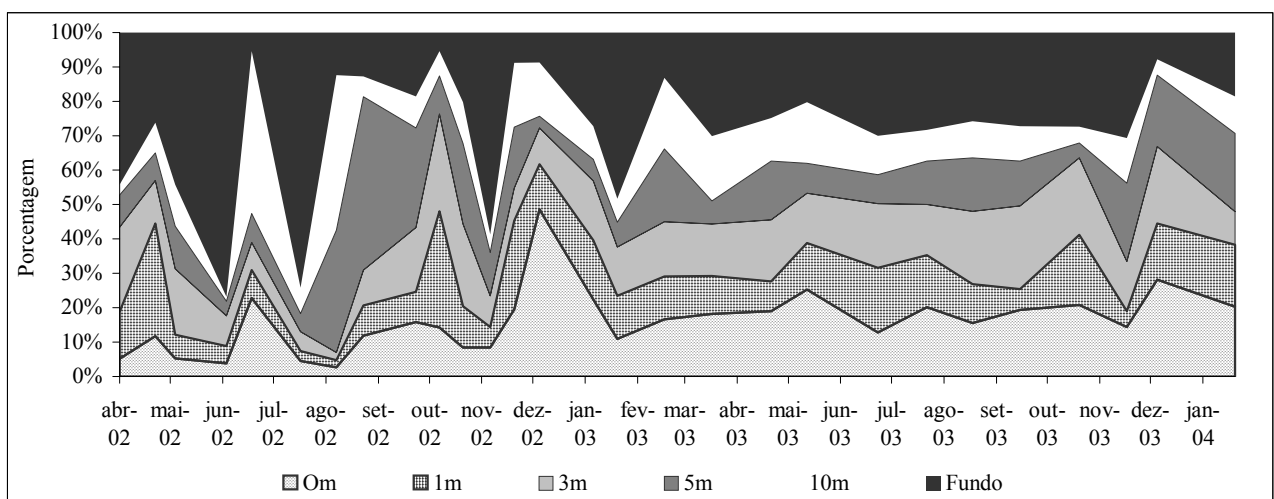


Figura 2. Porcentagem de agregados gelatinosos registrados durante as coletas mensais, nas seis profundidades amostradas.



Nas coletas intensivas, em junho, a distribuição espacial vertical no número de agregados apresentou-se homogênea entre as seis profundidades amostradas ( $p>0,05$ ), provavelmente devido à ação dos ventos ocorridos neste período, que favoreceram a mistura da coluna d'água, possibilitando a distribuição dos agregados em todas as camadas da coluna d'água. Em dezembro, houve variação espacial vertical significativa ( $p<0,05$ ), visto que, em geral, o maior número de agregados foi registrado nas camadas mais profundas, assim como nas coletas mensais (Tabela 2; Figura 3). Aldredge & Silver (1988) e Grossart & Simon (1993) também demonstraram que as taxas de afundamento estiveram positivamente relacionadas ao tamanho do agregado.

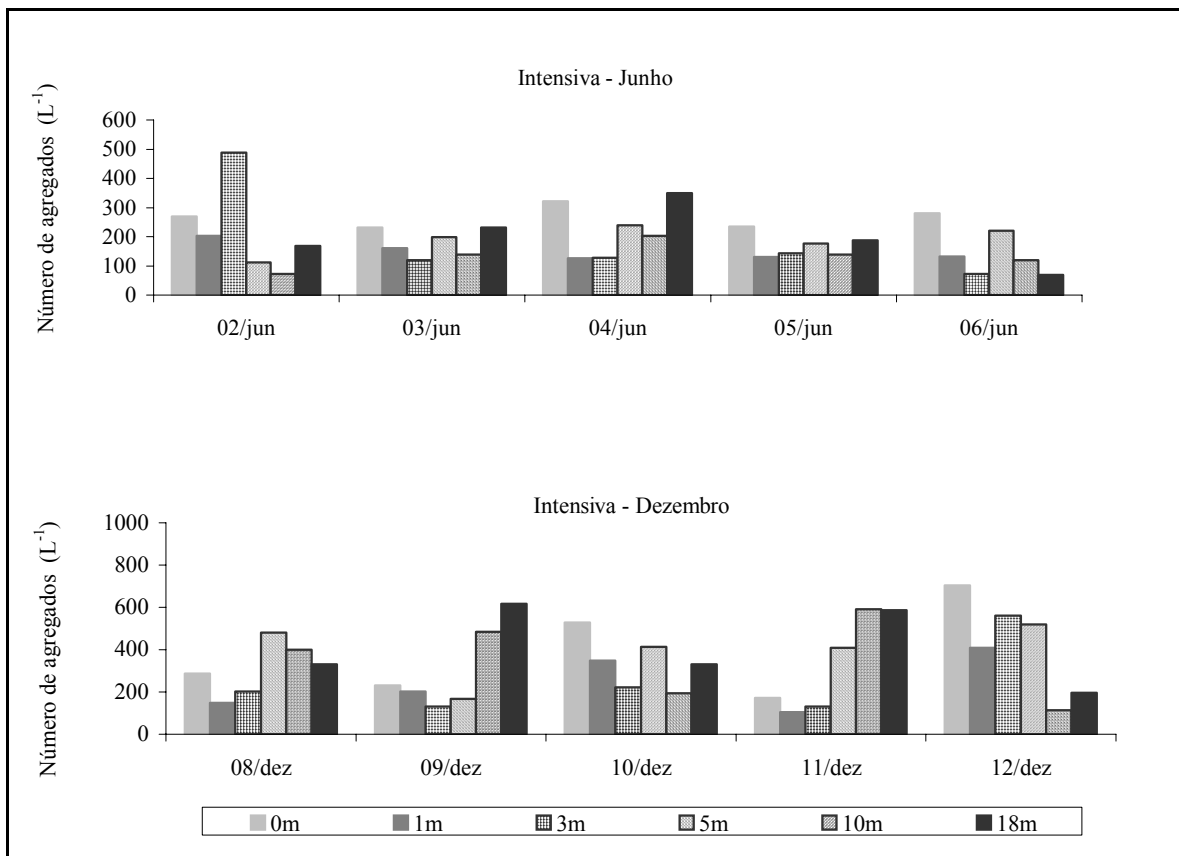


Figura 3. Número de agregados gelatinosos ( $L^{-1}$ ), registrados durante as coletas intensivas de junho e dezembro de 2003, nas seis profundidades amostradas.

Em relação ao tamanho, os agregados encontrados em Barra Bonita foram menores do que os registrados no ambiente marinho, provavelmente como consequência das condições que

envolveram sua formação. Nos ambientes marinhos, foram encontrados agregados de dimensões surpreendentes, como alguns metros de largura por vários centímetros de espessura (Passow et al., 1994; Alcoverro et al., 2000). A tabela 3 mostra a estatística descritiva referente ao tamanho dos agregados. As medidas menores que  $75\mu\text{m}$  são devido ao registro dos agregados nas amostras do estudo quantitativo do fitoplâncton, que não foram filtradas.

Tabela 3. Valores mínimos, máximos e médios do tamanho dos agregados e a área ( $\mu\text{m}^2$ ) destas partículas, encontrados no reservatório de Barra Bonita, durante o período de estudo (C= comprimento; L= largura e D= diâmetro).

<b>Agregados</b>	<b>C</b>	<b>L</b>	<b>D</b>	<b>Área</b>
<b>Mínimo</b>	12,5 $\mu\text{m}$	12,5 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	156,25 $\mu\text{m}^2$
<b>Máximo</b>	290 $\mu\text{m}$	275 $\mu\text{m}$	265 $\mu\text{m}$	79750 $\mu\text{m}^2$
<b>Média</b>	92,35 $\mu\text{m}$	96,1 $\mu\text{m}$	88,40 $\mu\text{m}$	8243,12 $\mu\text{m}^2$

A relação entre o número de agregados formados e os florescimentos de *M. aeruginosa* (células livres) e de *A. granulata*, pôde ser observada em alguns meses (Figura 4). Porém, a relação entre densidade das espécies e número de agregados nem sempre foi observada, provavelmente, devido à periodicidade das coletas e o registro dos blooms.

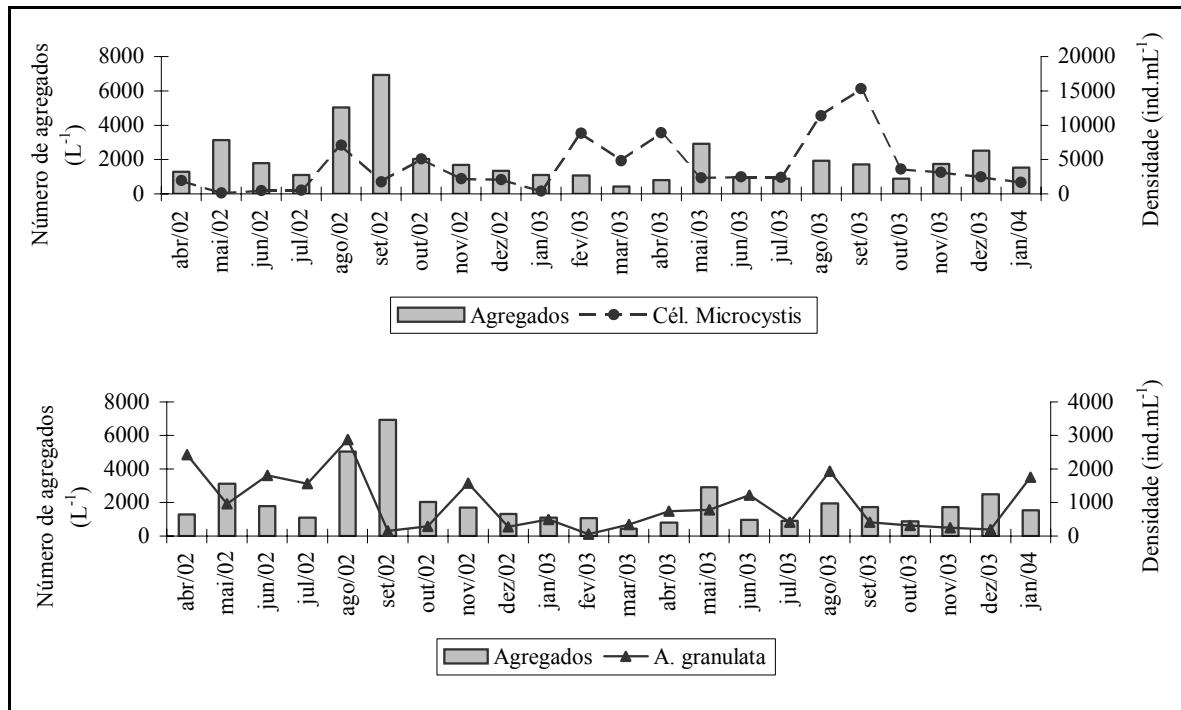


Figura 4. Densidade (ind.mL<sup>-1</sup>) de células livres de *Microcystis* sp e de *A. granulata* e número de agregados gelatinosos (L<sup>-1</sup>) formados, durante os meses de abril/02 a janeiro/04.

O aspecto geral e a composição de alguns agregados gelatinosos são apresentados nas figuras 5 a 8. As espécies algais agregadas às matrizes polissacarídicas, ocorreram em função da dinâmica das espécies abundantes no reservatório, tanto nas coletas mensais, quanto nas intensivas (junho e dezembro/03). A classe Cyanophyceae, cujas espécies foram freqüentemente registradas neste reservatório, foi representada, principalmente, pelos seguintes táxons: *Anabaena spiroides*, células livres de *Microcystis* sp, *Microcystis aeruginosa*, *Sphaerocavum brasiliense*, *Planktothrix tropicalis* e *Pseudanabaena mucicola*, enquanto que *Aulacoseira granulata* e *Cyclotella meneghiniana*, foram os principais representantes da classe Bacillariophyceae. Algumas clorofíceas, como *Actinastrum hantzschii*, *Quadrigula lacustris* e *Schroederia indica*, estiveram presentes nos agregados, em algumas amostras. Também foram encontradas nos agregados gelatinosos, partículas não identificadas (orgânicas e inorgânicas), fragmentos de zooplâncton e alguns fitoflagelados não identificados.

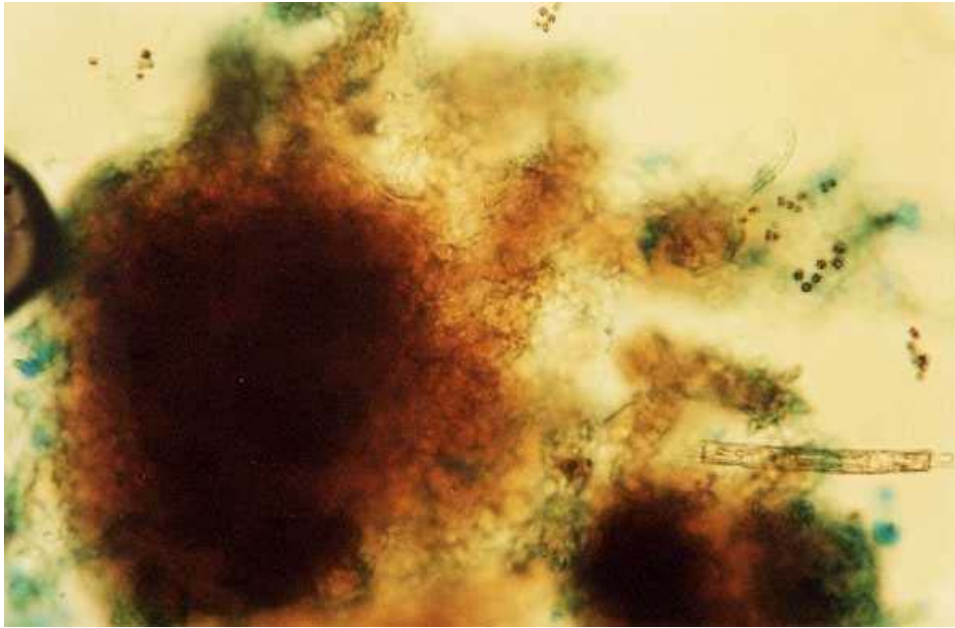


Figura 5. Aspecto geral do agregado gelatinoso com células de *Microcystis* sp e filamento de *A. granulata* (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

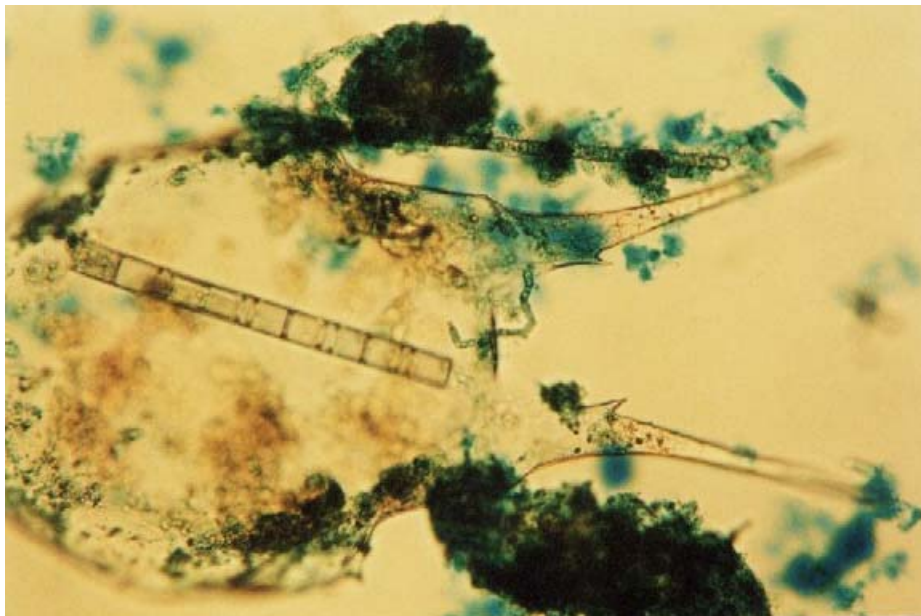


Figura 6. Aspecto geral do agregado gelatinoso com filamento de *Planktothrix tropicalis*, filamento de *A. granulata* e zooplâncton (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

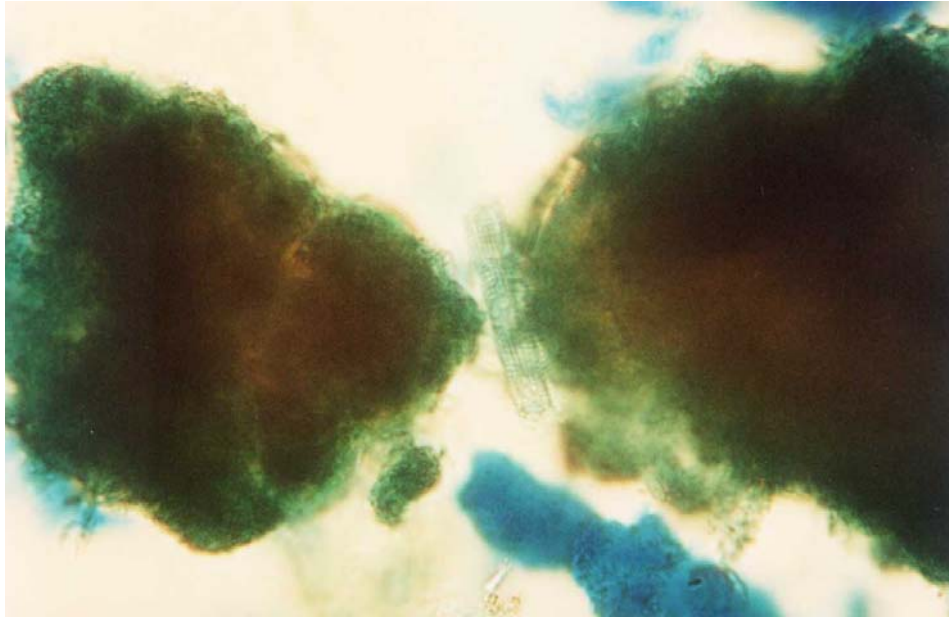


Figura 7. Aspecto geral do agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata* e partículas não identificadas (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

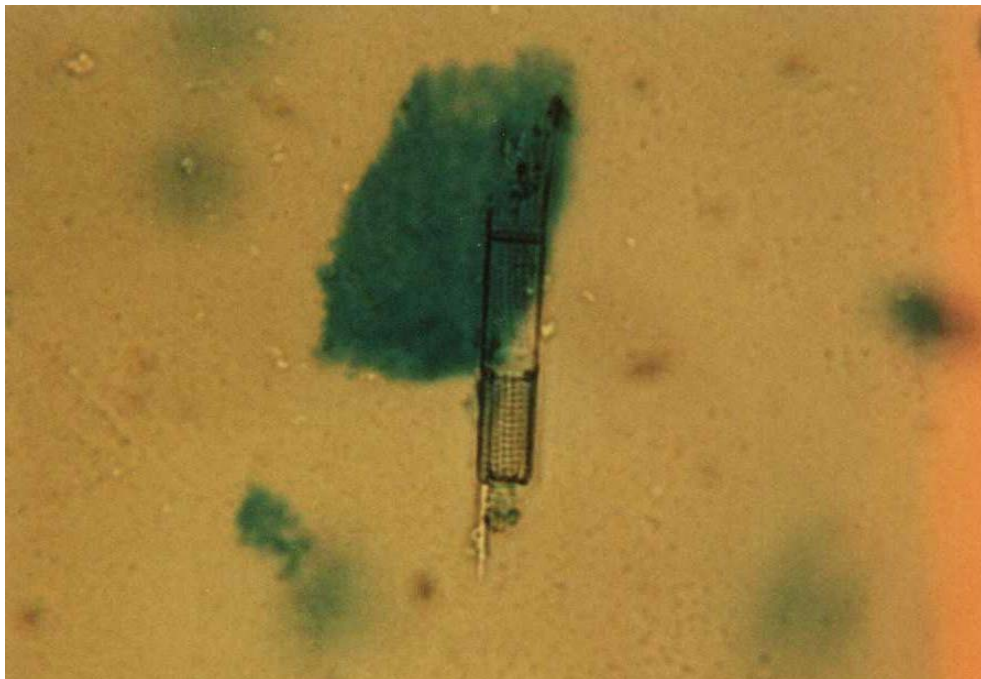


Figura 8. Agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata* (Aumento 400X; coloração com Alcian Blue).

A ocorrência sazonal das algas nos agregados acompanhou a dinâmica das espécies abundantes. Assim, as cianofíceas foram mais frequentes nos agregados registrados até os 3 metros de profundidade, enquanto que as diatomáceas ocorreram com maior frequência nos agregados que ocuparam as camadas mais profundas da coluna d'água. *Aulacoseira granulata* foi a espécie mais frequente, tanto nas coletas mensais, quanto nas intensivas, provavelmente, devido à sua capacidade em agregar-se com outras células e/ou partículas, em consequência da característica hidrofóbica de seu polissacarídeos, bem como pela sua morfologia celular (Figuras 9 e 10). Esta espécie, juntamente com as células livres de *Microcystis* sp, foram os táxons mais frequentes (aproximadamente 70% de ocorrência) na maioria das coletas mensais. Outras espécies, como *Pseudanabena mucicola*, *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix tropicalis*, *Cyclotella menegheniana*, *Cryptomonas* sp, *Actinastrum hantzschii*, *Quadrigula lacustris* e *Schroederia indica*, foram registradas nos agregados com menor frequência (aproximadamente 10% a 15%).

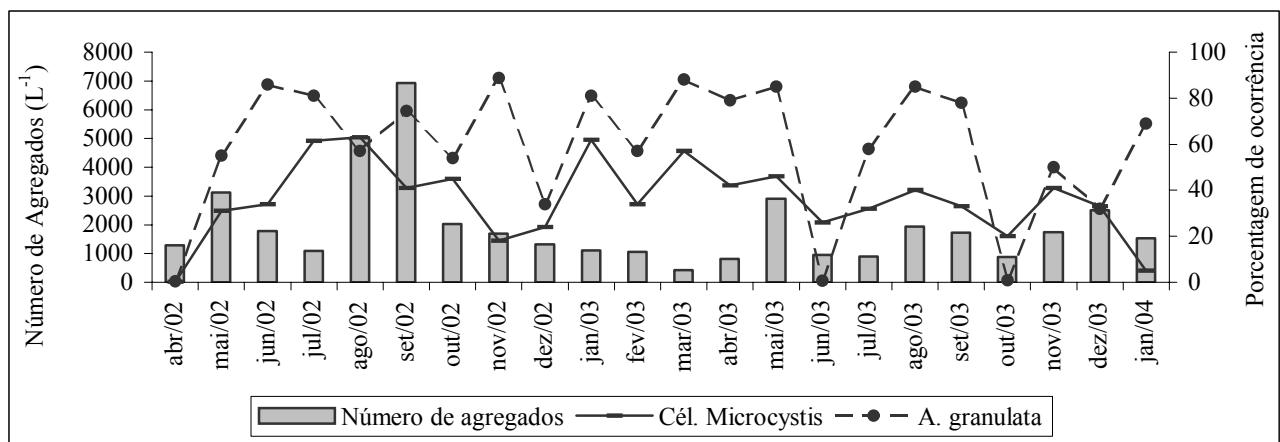


Figura 9. Número de agregados gelatinosos (L<sup>-1</sup>) e porcentagem de ocorrência de *A. granulata* e células livres de *Microcystis* sp nos agregados, durante os meses de abril/02 a janeiro/04.

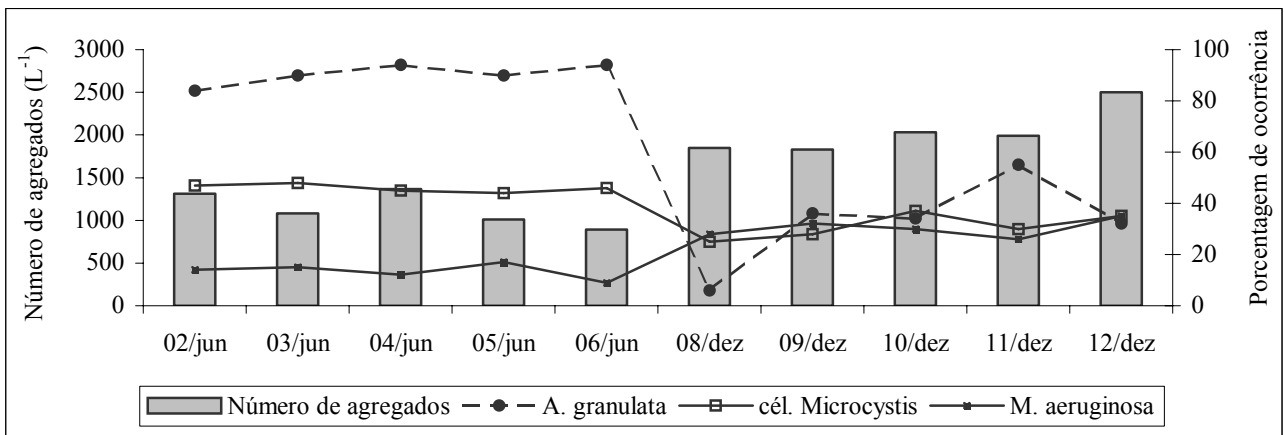


Figura 10. Número de agregados gelatinosos (L<sup>-1</sup>) e porcentagem de ocorrência de *A. granulata*, células livres de *Microcystis* sp e *M. aeruginosa* nos agregados, durante as coletas intensivas de junho e dezembro/03.

A composição monossacarídica dos polissacarídeos dos agregados gelatinosos foi a mesma registrada nas amostras de carboidratos dissolvidos coletadas no reservatório (ver capítulo 3), reforçando a importância do fitoplâncton como principal fonte, principalmente de polissacarídeos e dos agregados gelatinosos no transporte destes açúcares através da coluna d'água. Considerando-se os doze meses amostrados (Agosto de 2003 a Janeiro de 2004 e Julho a dezembro de 2004), os açúcares glicose (18%), xilose (14,7%) e arabinose (12%) juntos representaram, aproximadamente, 45% da concentração total de monossacarídeos, seguidos pela manose (11%), galactose (8,6%), ramnose (8,1%) e fucose (6,6%). Os ácidos galacturônico e glicurônico representaram 9,3% e 11,7%, respectivamente (Figura 11).

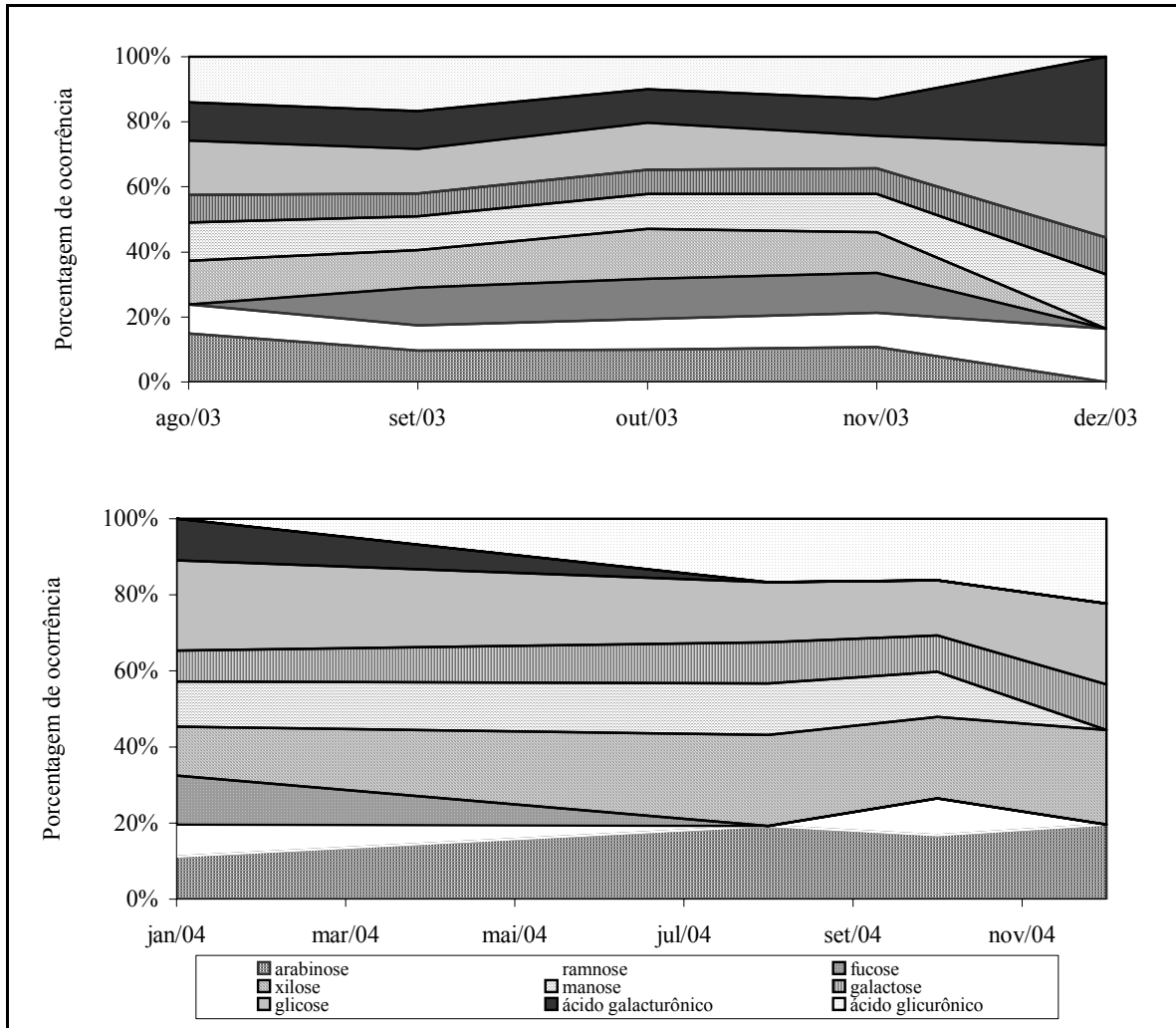


Figura 11. Porcentagem de ocorrência dos monossacarídeos registrados nos polissacarídeos dos agregados gelatinosos, durante o período de estudo.

A figura 12 mostra as concentrações dos monossacarídeos componentes dos polissacarídeos dos agregados.

As concentrações de arabinose e ramnose variaram entre 3,17 a 4,33  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$  e 2,39 a 3,74  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ , respectivamente. A fucose, a xilose e a manose apresentaram as maiores concentrações em outubro/03 (4,92  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ , 6,13  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$  e 4,30  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ , respectivamente). As concentrações de galactose variaram entre 1,99 e 2,94  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ , sendo em média de 1,75  $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ . As maiores concentrações de glicose foram registradas nos meses de outubro de 2003 e janeiro de 2004 (5,78 e



6,73 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ , respectivamente). As concentrações de ácido galacturônico e ácido glicurônico foram, em média, de 1,88 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$  e 2,38 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ , respectivamente.

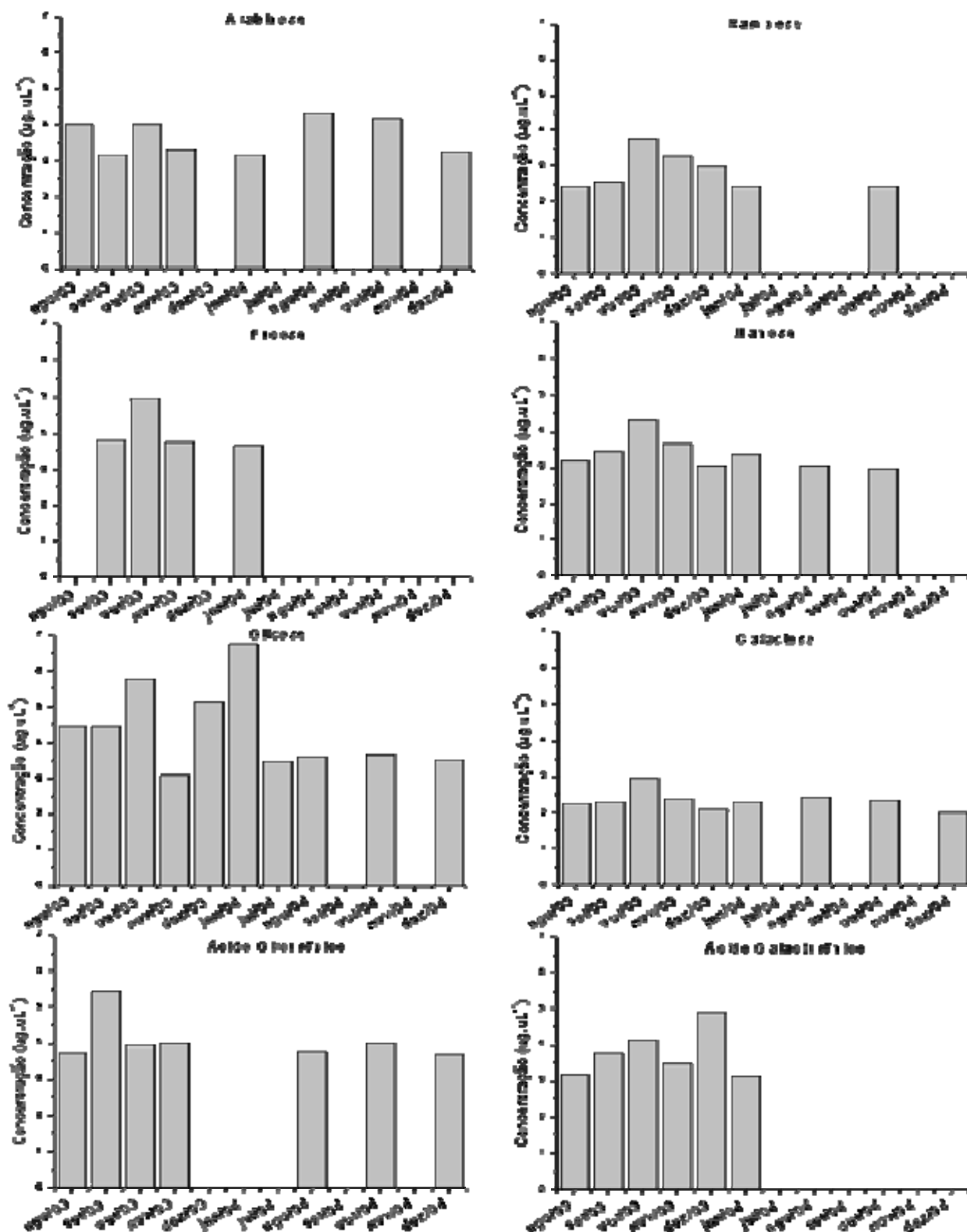


Figura 12. Concentração ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) dos monossacarídeos componentes dos polissacarídeos dos agregados gelatinosos.

## Discussão

Segundo alguns autores, entre eles Grossart & Simon (1998) e Ortolano (2005), a taxa de cisalhamento e a velocidade do vento, influem diretamente no processo de agregação, já que determinam o padrão de movimento, a velocidade das partículas em suspensão e, portanto, as colisões entre elas no ambiente aquático natural. Embora não existam dados sobre a velocidade do vento e taxa de cisalhamento durante o período de estudo, sabe-se que o reservatório de Barra Bonita apresenta um regime polimítico de circulação, em função da direção dos ventos Leste e Sudeste coincidir com o eixo longitudinal do reservatório. Esta movimentação, provavelmente foi suficiente para gerar uma taxa de cisalhamento ( $G, s^{-1}$  = onde as partículas movem-se em diferentes velocidades) e proporcionar colisões entre as partículas em suspensão, contribuindo para a formação dos agregados gelatinosos.

De acordo com Ortolano (2005), as taxas de cisalhamento em que houve a formação de agregados em seus experimentos, utilizando culturas de *A. granulata* e *Thalassiosira cf. duostra*, isoladas deste reservatório, foram próximas às encontradas nos ambientes naturais. Segundo este autor, altas taxas de cisalhamento podem reduzir a formação de agregados, provavelmente, devido à quebra destas partículas ou então pelo fato de as células se chocarem a velocidades muito altas, a ponto de não permanecem aderidas após o choque. Grossart & Simon (1998), também encontraram correlação positiva entre o aumento da velocidade do vento (velocidade máxima atingida entre 15 e 20  $m.s^{-1}$ ) e a formação de agregados gelatinosos no lago Constance, considerado mesorófico. Essas velocidades segundo Jackson (1990) podem gerar taxas de cisalhamento próximas a  $3s^{-1}$  a 2 metros de profundidade. Porém, os possíveis efeitos do vento e do cisalhamento na formação dos agregados gelatinosos, bem como os resultados obtidos neste estudo e também por Ortolano (2005) no reservatório de Barra Bonita, poderão ser utilizados em estudos futuros de hidrodinâmica e sua influência no comportamento das partículas em suspensão neste sistema.

A ocorrência sazonal e a formação dos agregados gelatinosos no reservatório de Barra Bonita, acompanharam a dinâmica das espécies fitoplanctônicas abundantes representadas,

principalmente, por filamentos de *Aulacoseira granulata*, por colônias de *Microcystis aeruginosa* e células livres de *Microcystis* sp. A importância das cianofíceas e diatomáceas para a formação dos agregados gelatinosos é bastante discutida em literatura, principalmente, para o ambiente marinho (Tien et al., 2002; Kovac et al., 2005). Segundo Tien et al (2002), o aumento da eutrofização, processo que vem ocorrendo no reservatório de Barra Bonita nos últimos anos, tende a aumentar o número de espécies produtoras de mucilagem, como *Microcystis* spp e *Anabaena* spp, que são grandes produtoras de exopolissacarídeos (De Phillips & Vicenzini, 1998; Girollo & Vieira, 2002; Shin et al., 2003; Dellamano-Oliveira et al., em preparação), considerados os precursores das TEP e dos agregados gelatinosos (Aldredge et al., 1993; Bittar, 2005). Além disso, a morfologia celular de *A. granulata* e a característica hidrofóbica dos polissacarídeos produzidos por ambas espécies (*Aulacoseira granulata* e *Microcystis aeruginosa*), podem ter contribuído para a formação dos agregados, principalmente, nos meses mais secos, onde o TR foi maior. Segundo Vieira (com. pessoal), o EPS de *A. granulata* é extremamente reativo, devido ao fato de ser rico em ramnose e fucose, açúcares metilados e, portanto, hidrofóbicos, aumentando o efeito de adesão.

Girollo & Vieira (2005) caracterizaram os polissacarídeos coloidais produzidos por *A. granulata*, através da análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa e obtiveram que dos 27,1% das unidades terminais destes polissacarídeos, 56,7% foram representados pelos açúcares metilados fucose e ramnose, reconhecidos por suas propriedades hidrofóbicas, devido à presença de um grupo metil no carbono 6. Além disso, os autores ainda descreveram que 17,8 % das unidades terminais destes polissacarídeos são compostas por ácido glicurônico, molécula reconhecidamente reativa devido à presença do radical ácido carboxílico (Decho, 1990). Também, Gouvêa et al (2005) registraram grande concentração de ramnose (19,4%), seguida por galactose (16,3%) e glicose (13,4%), em culturas de *M. aeruginosa* isoladas deste reservatório. Polímeros hidrofóbicos são conhecidos por serem moléculas importantes na adesão e colonização de muitas espécies de bactérias e cianofíceas (Fattom & Shilo, 1984). Wustman et al. (1997) descreveram os polissacarídeos como os principais elementos constituintes

de compostos produzidos para a adesão de diatomáceas. Estes autores sugerem ainda que polímeros ricos em fucose em posições terminais desempenham papéis importantes na adesão desses organismos. Além disso, Passow (2002) também descreveu a hidrofobicidade como um aspecto importante para a formação de TEP e agregados. Por outro lado, polímeros que apresentam radicais ácidos têm sido descritos por formarem pontes catiônicas com metais em suspensão, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , conferindo uma estrutura coloidal fibrilar a estes polissacarídeos e, por conseqüência, aumentando seu potencial de agregação por captura de partículas (Leppard, 1995; Passow, 2002).

Considerando-se que a composição das espécies fitoplanctônicas aderidas às matrizes polissacarídicas dos agregados gelatinosos seja dependente da sua concentração na água circundante, neste estudo, as colônias de *M. aeruginosa*, as células livres de *Microcystis* sp e os filamentos de *A. granulata*, foram as espécies mais freqüentes nestas partículas. Alldredge & Gotschalk (1990) e Kovac et al. (2005), também verificaram que logo após um florescimento de diatomáceas, no mar, os agregados formados eram ricos em diatomáceas, enquanto que uma região com muitos detritos em suspensão os agregados produzidos foram ricos em detritos.

As cianofíceas ocorreram com maior freqüência nos agregados registrados até os 3 metros de profundidade, enquanto que as diatomáceas foram mais freqüentes nas camadas mais profundas da coluna d'água. Esta distribuição já seria esperada, pois as cianofíceas possuem mecanismos de flutuação, como a presença de aerótopos, que são ausentes nas diatomáceas, as quais podem apresentar maiores taxas de afundamento por apresentarem uma carapaça de sílica. Além disso, agregados com maior proporção de TEP e de cianofíceas podem ter suas taxas de afundamento reduzidas, enquanto que agregados formados por partículas inorgânicas e principalmente de células de diatomáceas, neste caso, de *A. granulata*, tornam-se mais pesados e afundam mais rapidamente (Beaulieu, 2003). De acordo com Grossart & Simon (1993), o tamanho do agregado poderia aumentar sua taxa de afundamento, dependendo do tipo de partículas que foram adicionadas à eles. Segundo estes autores, partículas inorgânicas, carcaças de copépodos e principalmente diatomáceas, são reconhecidas por aumentar as taxas de afundamento dos agregados formados em ambientes

naturais, justificando o maior número de agregados formados por *A. granulata* no fundo do reservatório.

Em relação à composição monossacarídica das matrizes polissacarídicas dos agregados, assim como observado no estudo sobre os carboidratos dissolvidos, novamente a glicose foi o açúcar mais comum, seguido pela xilose e arabinose. Estes açúcares, juntamente com a galactose, ramnose, fucose e manose podem ser todos pertencentes a polissacarídeos liberados por populações fitoplanctônicas (Hedges et al., 1994; Hayakawa, 2004), enquanto que a ribose é, na maioria das vezes, proveniente de material intracelular de células em decomposição, tanto de material autóctone quanto alóctone, ou de bactérias aderidas aos agregados. Kovac et al. (2005), estudando agregados gelatinosos no mar Adriático, identificou que a matriz orgânica dos agregados foi quimicamente composta por quatro constituintes estruturais, entre eles os polissacarídeos. Estes polissacarídeos, geralmente, formam um retículo, muitas vezes presente em partículas de agregados marinhos, como observado por Giani em 2002, com o uso de microscopia eletrônica (Giani 2002).

A natureza heterogênea dos agregados gelatinosos, com relação aos organismos, partículas e estruturas não identificadas, apontam para a importância destas partículas no transporte e reciclagem de matéria orgânica para o sedimento e na liberação de compostos orgânicos, tornando-se importante fonte de nutrição, principalmente para bactérias.

Portanto, neste estudo pudemos verificar a importância da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita sobre a provável formação de agregados gelatinosos e sua função neste ambiente. Porém, como comentado anteriormente, os estudos envolvendo os agregados gelatinosos em água doce, são recentes e necessitam de maiores investigações.

### **Agradecimentos**

À FAPESP, pelo auxílio financeiro, processos número 02/02517-6 e 99/07766-0 e ao CNPQ, processo número 352261/1996-0.

## Referências Bibliográficas

- ALCOVERRO, T.; CONTRE, E.; MAZZELLA, L. 2000. Production of mucilage by the Adriatic epipelagic diatom *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) under nutrient limitation. *Journal of Phycology*, 36: 1087-1095.
- ALLDREDGE, A. L. 1979. The chemical composition of macroscopic aggregates in the neritic seas. *Limnology and Oceanography*, 24: 855-866.
- ALLDREDGE, A. L.; GOLTSCHALK, C. C. 1989. Direct observations of the mass flocculation of diatom blooms: Characteristics, settling velocities and formation of diatom aggregates. *Deep-Sea Research*, 36: 159-171.
- \_\_\_\_\_. 1990. The relative contribution of marine snow of different origins to biological processes in coastal waters. *Continental Shelf Research*, 10: 41-58.
- ALLDREDGE, A. L.; PASSOW, U.; LOGAN, B. E. 1993. The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. *Deep-Sea Research*, 1 (40): 1131-1140.
- ALLDREDGE, A. L.; SILVER, M. 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Progress Oceanography*, 20: 41-82.
- BEAULIEU, S. E. 2003. Resuspension of phytodetritus from the sea floor: a laboratory flume study. *Limnology and Oceanography*, 48(3): 1235-1244.
- BITTAR, T., B. 2005. *Produção de TEP (Transparente Exopolimer Particles) em culturas de espécies de microalgas isoladas do reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê, SP)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 87p.
- CARON, D. A.; DAVIS, P. G.; MADIN, L. P.; SIEBURTH JMCN. 1982. Heterotrophic bacteria and bacterivorous protozoa in oceanic macroaggregates. *Science*, 218: 795-797.
- DECHO, A.W. 1990. Microbial exopolymer secretions in ocean environments: Their role(s) in food web and marine processes. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 28: 73-153.

- DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J.; VIEIRA, A.A.H. & COLOMBO, V. *Carboidratos poliméricos do reservatório de Barra Bonita e sua relação com as algas fitoplanctônicas abundantes* (em preparação).
- DE PHILIPPS, R.; VICENZINI, M. 1998. Exocellular polyssacharides from cyanobacteria and their possible applications. *FEMS, Microbiology Review*, 22: 151-175.
- EPPLEY, R.W., HOLMES, R.W. & STRICKLAND, J.D.H. 1967. Sinking rates of marine phytoplankton measured with a fluorometer. *Journal of experimental Marine Biology Ecology*, 1: 191-208.
- FATTOM, S. R.; SHILO, M. 1984. Hydrophobicity as an adhesion mechanism of benthic cyanobacteria. *Applied Environmental Microbiology*, 47: 135-143.
- FOWLER, S. W.; KNAUER, G. A. 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. *Progress Oceanography*, 16: 147-194.
- GIANI, M. 2002. Distribuzione e variazioni temporali della sostanza organica nell'Adriatico settentrionale. *Arch. Oceanography and Limnology*, 23: 29-41.
- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H. 2002. An extracellular sulfated fucose rich polysaccharide produced by a tropical strain of *Cryptomonas obovata* (Cryptophyceae) *Journal of Applied Phycology*, 14: 185-191.
- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H. 2005. Polymeric and free sugars released by three phytoplanktonic species from a freshwater tropical eutrophic reservoir. *Journal of Plankton Research*, 27 (7): 695-705.
- GOUVÊA, S. P.; VIEIRA, A.A.H.; LOMBARDI, A. T. 2005. Copper and cadmium complexation by high molecular weight materials and of water from a eutrophic reservoir. *Chemosphere*, 60: 1332-1339.

- GROSSART, H. P.; SIMON, M. 1993. Limnetic macroscopic organic aggregates (lake snow): Occurrence, characteristics and microbial dynamics in lake Constance. *Limnology and Oceanography*, 38 (3): 532-546.
- GROSSART, H. P.; SIMON, M.; LOGAN. 1997. Formation of macroscopic organic aggregates (lake snow) in a large lake: the significance of transparent exopolymer particles, phytoplankton and zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 42: 1651-1659.
- GROSSART, H. P.; SIMON, M. 1998. Bacterial colonization and microbial decomposition of limnetic organic aggregates (lake snow). *Aquatic Microbiology Ecology*, 15: 127-140.
- HAYAKAWA, K. 2004. Seasonal variations and dynamics of dissolved carbohydrates in Lake Biwa. *Organical Geochemistry*, 35: 169-179.
- HEDGES, J. L. et al. 1994. Origins and processing of organic matter in the Amazon river as indicated by carbohydrates and amino acids. *Limnology and Oceanography*, 39: 743-761.
- HEISSENBERGER, A., LEPPARD, G.G. & HERDL, G.J. 1996. Ultrastructure of marine snow. II. Microbiological considerations. *Marine Ecology and Progress Series*, 135: 299-308.
- JACKSON, G. A. 1990. A model of formation of marine algal flocks by physical coagulation processes. *Deep-Sea research I*, 37: 1197-1211.
- KIØRBOE, T.; HANSEN, J. L. S. 1993. Phytoplankton aggregate formation: observations of patterns and mechanisms of cell sticking and the significance of exopolymer material. *Journal of Plankton Research*, 15: 993-1018.
- KOVAC, N.; MOZETIC, P; TRICHET, J. & DÉFARGE, C. 2005. Phytoplankton composition and organic matter organization of mucous aggregates by means of light and cryo-scanning electron microscopy. *Marine Biology*, 147: 261-271.
- LEPPARD, G. G. 1995. The characterization of algal and microbial mucilages and their aggregates in aquatic ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 165: 103-131.



- MOPPER, K., ZHOU, J., SRI RAMANA, K., PASSOW, U., DAM, H.G. & DRAPEAU, D.T. 1995. The role of surface-active carbohydrates in the flocculation of a diatom bloom in a mesocosm. *Deep-Sea Research II*, 42: 47-73.
- ORTOLANO, P. I. 2005. *Produção de agregados gelatinosos em culturas de microalgas de um reservatório eutrófico (Rio Tietê/SP)* – Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 74p.
- PASSOW, U. 2000. Formation of transparent exopolymer particles, TEP, from dissolved precursor material. *Marine Ecology Progress Series*, 192: 1-11.
- PASSOW, U. 2002. Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. *Progress Oceanography*, 55: 287-333.
- PASSOW, U. ; ALLDREDGE, A. L.; LOGAN, B. E. 1994. The role of particulate carbohydrate exudates in the flocculation of diatom blooms. *Deep-Sea Research*, 41: 335-337.
- PASSOW, U.; SHIPE, R. F.; MURRAY, A.; PAK, D. K.; BRZEZINSKI, M. A.; ALLDREDGE, A. L. 2001. The origin of transparent exopolymer particles (TEP) and their role in the sedimentation of particulate matter. *Continental Shel. Research*, 21: 327-346.
- RILEY, G.A. 1963. Organic aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization. *Limnology and Oceanography*, 8: 372-381.
- SHANKS, A. L.; TRENT, D. 1979. Marine snow : Microscale nutrient patches. *Limnology and Oceanography*, 24: 850-854.
- SHIN, K. H.; HAMA, T. HANDA, N. 2003. Effect of nutrient conditions on the composition of photosynthetic products in the East China Sea and surrounding waters. *Deep-Sea Research II*, 50: 389-401.
- SILVER, M.W., SHANKS, A.L. & TRENT, J.D. 1978. Marine snow: microplankton habitat and source of small-scale patchiness in pelagic populations. *Science N.Y.*, 201: 371-373.
- SIMON, M., GROSSART, H. P., SCHWEITZER, B. AND PLOUG, H. 2002. Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystems. *Aquatic Microbiol Ecology*, 28: 175-211.

- SMITH, R. C. et al. 1992. Ozone depletion: Ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters. *Science*, 225: 952-959.
- SOMMER, U. 1988. *Growth and survival strategies of planktonic diatoms*. In: SANDGREN, C. D. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 227-260.
- TIEN, C.J.; KRIVTSOV, V.; LEVADO, E.; SIGEE, D.C.& WHITE, K.N. 2002. Occurrence of cell-associated mucilage and soluble extracellular polysaccharides in Rosterne Mere and their possible significance. *Hydrobiologia*, 485: 245-252.
- WASSMANN, P. 1983. Sedimentation of organic and inorganic particulate material in Lindaspollene, a stratified land-locked fjord in western Norway. *Marine Ecology Progress Series*, 13: 237-248.
- ZHOU J; MOPPER, K; PASSOW, U. 1998. The role of surface active carbohydrates in the formation of transparent exopolymer particles by bubble adsorption of seawater. *Limnology and Oceanography*, 43: 1860-1871.

## Conclusões

- O reservatório de Barra Bonita pode ser considerado um ambiente eutrofizado e polimítico;
- A distribuição vertical das variáveis limnológicas bióticas e abióticas apresentou-se homogênea na maioria dos meses amostrados, apresentando variabilidade apenas em escala temporal (sazonal e anual);
- A análise qualitativa da comunidade fitoplanctônica totalizou 139 táxons distribuídos em 9 classes: Chlorophyceae (44), Bacillariophyceae (40), Cyanophyceae (28), Conjugatophyceae (10), Euglenophyceae (8), Xanthophyceae (5), Chrysophyceae (2), Dinophyceae (1) e Cryptophyceae (1);
- No estudo quantitativo das populações fitoplanctônicas, os maiores valores de densidade numérica ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ), riqueza e diversidade ( $\text{bits. ind}^{-1}$ ), foram registrados durante o período seco;
- Os táxons *Microcystis aeruginosa*, células livres de *Microcystis* sp, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella menegheniana* e *Cryptomonas* sp foram os mais abundantes, quantitativamente, durante todo período de estudo;
- A dinâmica da comunidade fitoplanctônica neste reservatório seguiu as premissas da hipótese do distúrbio intermediário, onde as condições de equilíbrio (estabilidade da coluna d'água, radiação solar e Tempo de residência) favoreceram a ocorrência das cianofíceas, enquanto os distúrbios (pluviosidade, vento, vazão e TR), permitiram o aumento na diversidade e coexistência de espécies R – estrategistas (diatomáceas) e S – estrategistas (cianofíceas);
- Cerca de 90% dos carboidratos livres no reservatório de Barra Bonita foram constituídos por carboidratos poliméricos hidrolisáveis (oligossacarídeos ou polissacarídeos);
- As concentrações de carboidratos poliméricos acompanharam a dinâmica das espécies abundantes, principalmente *Microcystis aeruginosa* e *Aulacoseira granulata*;
- A composição dos agregados gelatinosos em Barra Bonita ocorreu, devido à dinâmica das espécies fitoplanctônicas abundantes no reservatório;

- A composição monossacarídica do polissacarídeo dos agregados gelatinosos foi a mesma registrada nas amostras de carboidratos dissolvidos;
- A natureza heterogênea dos agregados gelatinosos, com relação aos organismos, partículas e estruturas não identificadas, aponta para a importância destas partículas no transporte e reciclagem de matéria orgânica para o sedimento, tornando-se importante fonte de nutrição para os organismos heterotróficos;
- Este estudo mostrou a importância da comunidade fitoplanctônica como importante fonte de polissacarídeos extracelulares e na formação dos agregados gelatinosos no reservatório de Barra Bonita.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Lista geral dos táxons registrados no estudo qualitativo das populações.

---

### Cyanophyceae

*Anabaena circinalis* Rabenhorst ex Bornet et Flahault  
*Anabaena* sp  
*Anabaena spiroides* Klebahn  
*Anabaenopsis* sp  
*Aphanizomenon tropicalis* Horeká & Komárek  
*Aphanocapsa elachista* West & West  
*Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) Cronberg & Komárek  
*Aphanocapsa koordesii* Strom  
*Aphanothece clathrata* West. & West  
*Coelosphaerium evidente-marginatum* Azevedo & Sant'Anna  
*Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann  
*Chroococcus minor* (Kützing) Nägeli  
*Coelomorion pusillum* (Van Goor) Komárek  
*Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolozynska) Seenayya et Suba Raju  
*Geitlerinema unigranulatum* Anagnostidis & Komárek  
*Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing  
*Merismopedia tenuissima* Lemmermann  
*Microcystis aeruginosa* (Kützing)  
*Microcystis panniformis* Komárek et al.  
*Microcystis protocystis* Crow  
*Oscillatoria* sp  
*Phomidium* sp.1  
*Phormidium* sp.2  
*Planktothrix tropicalis* Komárek  
*Pseudanabaena mucicola* (Huber-Pestalozzi & NaumannSchwabe  
*Pseudanabaena* sp  
*Sphaerocavum brasiliense* Azevedo & Sant'Anna  
*Synechocystis aquatilis* Sauvageau

### Bacillariophyceae

*Achnanthydium microcephalum* (Kützing) Rab.  
*Actinocyclus normanii* (Greg.) Hust. var. *normanii* f. *subsalsa* (Juhl. – Dannf.) Hust.  
*Amphora ovalis* (Kützing) Kützing  
*Anomooneis vitrea* (Grunow) Ross  
*Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen  
*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen var. *angustissima* (O. Müller) Simonsen  
*Aulacoseira muzzanensis* (Meister) Krammer  
*Capartogramma crucicula* (Grunow) Ross  
*Cyclotella meneghiniana* Kützing  
*Cymbella naviculiformis* Auersw.  
*Diademsis confervaceae* Kützing  
*Discostella stelligera* (Cl. et Grunow) Houk et Klee comb. nov.  
*Encyonema minutum* (Hilse ex Rab.) D.G. Mann  
*Encyonema turgidum* (Hilse ex Rab.) D.G. Mann  
*Eunotia camelus* Ehrenberg  
*Eunotia faba* Ehrenberg  
*Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot  
*Fragilaria pinnata* Ehrenberg  
*Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) D. Toni  
*Gomphonema gracile* (Ehrenberg) Van Heurck  
*Navicula clementis* Grunow  
*Navicula cryptocephala* Kützing  
*Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot  
*Navicula laevissima* Kützing  
*Nitzschia amphibia* Grunow  
*Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith  
*Nitzschia paleaceae* Grunow  
*Pinnularia braunii* (Grunow) Cleve  
*Pinnularia maior* (Kützing) Rabenhorst  
*Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cleve  
*Placoneis placentula* (Ehrenberg) Heinzerl  
*Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch.) Ehrenberg  
*Surirella guatemalensis* Ehrenberg  
*Surirella linearis* W. Smith  
*Synedra acus* Kützing  
*Synedra goulardii* Brébisson  
*Thalassiosira duostra* Piennar, sp. nov.  
*Tryblionella levidensis* W. Smith

### Chlorophyceae

*Actinastrum hantzschii* Lagerheim var. *hantzschii* Öfvers.  
*Ankistrodesmus bibraianus* (Reinsch) Korsikov  
*Ankistrodesmus gracilis* (Reinsch) Korsikov

---

### Botriococcus braunii Kützing

*Botriococcus terribiles* Komárek & Marvan  
*Chlamydomonas globosa* Snow  
*Coelastrum astroideum* De Notaris  
*Coelastrum psedomicroporum* Korsikov  
*Coelastrum reticulatum* (Dangeard) Senn  
*Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) West & West  
*Crucigeniella rectangularis* (Nägeli) Komárek  
*Dictyosphaerium pulchellum* Wood Smithson  
*Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz var. *fallax* Komárek.  
*Eutetramorus fottii* (Hind.) Komárek  
*Gloeocystis* cf. *vesiculosa* Nägeli  
*Golenkinia radiata* Chodat  
*Kirchneriella contorta* (Schmidle) Bohlin  
*Kirchneriella contorta* (Schmidle) Bohlin var. *gracilima*  
*Kirchneriella diana* (Bohl.) Comas  
*Kirchneriella obesa* (West) Schmidle var. *obesa*  
*Micractinium bornhemienense* (Conrad) Korsikov  
*Micractinium* cf. *appendiculatum* Korshikov  
*Micractinium pusillum* Fresenius  
*Monoraphidium arcuatum* (Korskov) Hindak.  
*Monoraphidium tortile* (West & West) Komarková-Legnerová  
*Nephrocytium agardhianum* Nägeli  
*Oocystis* sp  
*Pediatrum duplex* Meyen var. *duplex* f. *duplex*  
*Pediatrum simplex* Meyen  
*Pediatrum tetras* (Ehrenberg) Ralfs  
*Quadrigula lacustris* (Chodat) G. M. Smith  
*Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat. var. *acuminatus* f. *acuminatus*  
*Scenedesmus arcuatus* Lemmermann var. *plastydiscus* Smith  
*Scenedesmus bicaudatus* (Hansgirg) Chodat  
*Scenedesmus dimorphus* (Turpin) Kützing  
*Scenedesmus eornis* (Ehrenberg) Chodat  
*Scenedesmus obtusus* Meyen  
*Scenedesmus opoliensis* var. *mononensis* (Ehrenberg) Chodat  
*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson var. *quadricauda*  
*Scenedesmus smithii* Teiling  
*Schroederia indica* Philipose  
*Sphaerocystis planctonica* (Korshikov) Bourrelly  
*Tetraëdron incus* (Teiling) G. M. Smith  
*Tetrastrum* cf. *hortobagyi* (Teiling) G. M. Smith

### Euglenophyceae

*Lepocinclis* sp  
*Phacus curvicauda* Swirenko  
*Phacus longicauda* (Ehrenberg) Dujardin  
*Trachelomonas armata* (Ehrenberg) Stein var. *armata* f. *armata*  
*Trachelomonas hispida* (Perty) Stein emend. Deflandre var. *hispida*  
*Trachelomonas hispida* var. *crenulatocollis* Mask  
*Trachelomonas oblonga* Lemmermann var. *punctata* Lemmermann  
*Trachelomonas volvocina* Ehrenberg var. *volvocina*

### Chrysophyceae

*Dinobryon bavaricum* Imhof

*Mallomonas* sp

### Xanthophyceae

*Istmochloron lobulatum* (Naegeli) Skuja  
*Pseudostaurastrum gracile* (Reinsch) Chodat  
*Pseudostaurastrum limneticum* (Borge) Chodat  
*Tetraplektron acuminatum* (Pascher) Fott  
*Tetraplektron torsum* (Skuja) Dedusenko Scegoleva

### Dinophyceae

*Peridinium* sp

### Cryptophyceae

*Cryptomonas* sp

### Conjugatophyceae

*Closterium* sp

*Micrasterias arcuata* Bailey

*Staurastrum leptocladum* Nordsted var. *leptocladum* f. *leptocladum*

*Staurastrum* sp.1

*Staurastrum* sp.2

*Staurastrum* sp.3

*Staurastrum* sp.4

*Staurastrum* sp.5

*Staurastrum* sp.6

*Staurastrum* sp.7

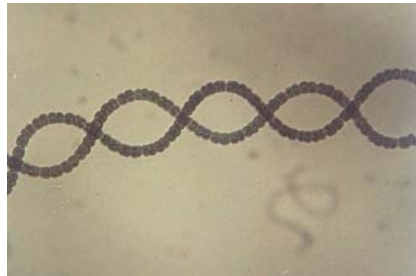
---

**Anexo 2.** Fotos ilustrativas de algumas algas e agregados gelatinosos registrados neste estudo.

**Classe Cyanophyceae**



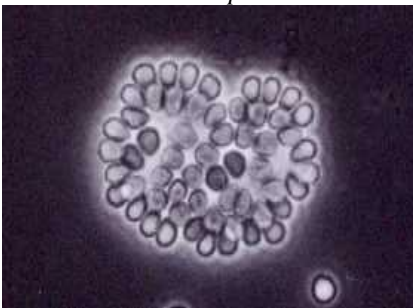
*Anabaena spiroides*



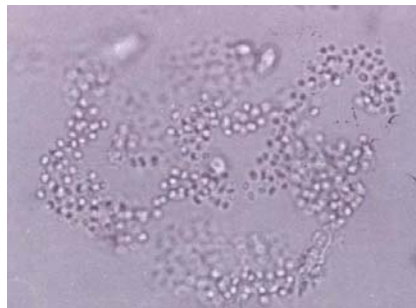
*Anabaena circinalis*



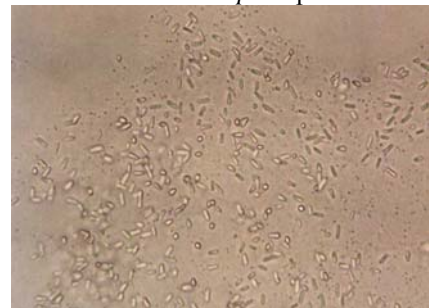
*Anabaenopsis* sp



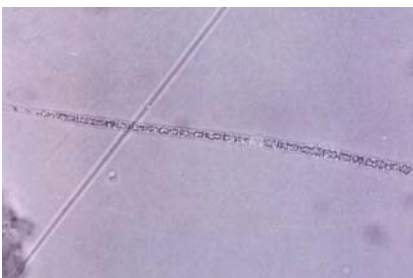
*Coelomoron pusillum*



*Aphanocapsa holsatica*



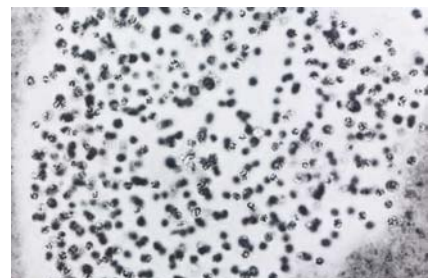
*Aphanothece clathrata*



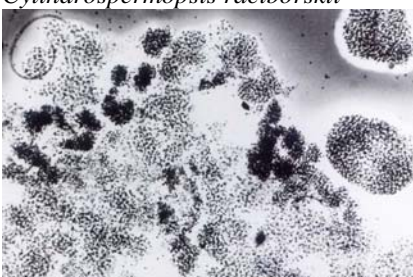
*Cylindrospermopsis raciborskii*



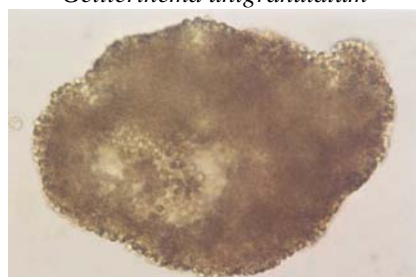
*Geitlerinema unigranulatum*



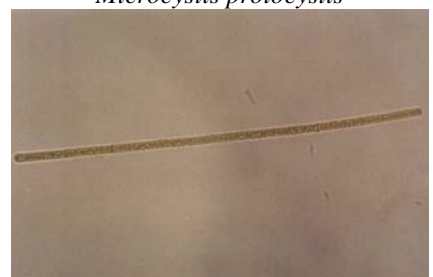
*Microcystis protocystis*



*Microcystis aeruginosa*

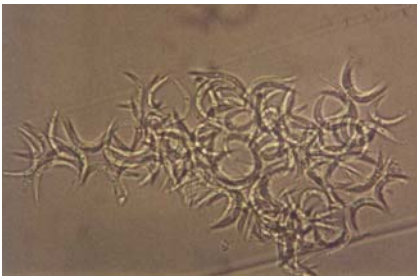


*Sphaerocavum brasiliense*

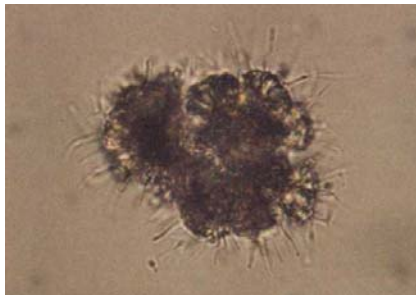


*Planktothrix tropicalis*

## Classe Chlorophyceae



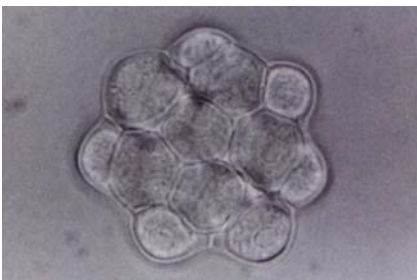
*Ankistrodesmus gracile*



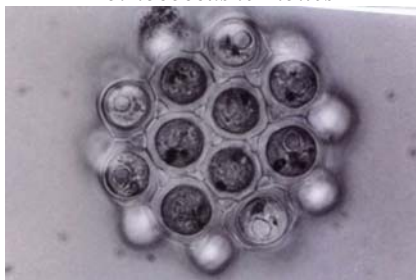
*Botriococcus terribiles*



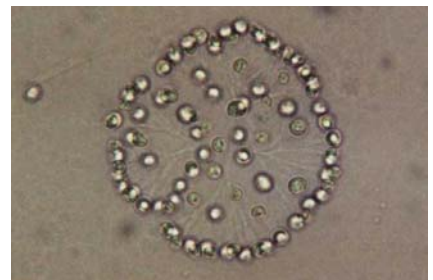
*Chlamydomonas globosa*



*Coelastrum astroideum*



*Coelastrum pseudomicroporum*



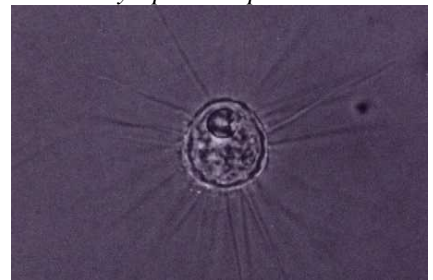
*Dictyosphaerim pulchellum*



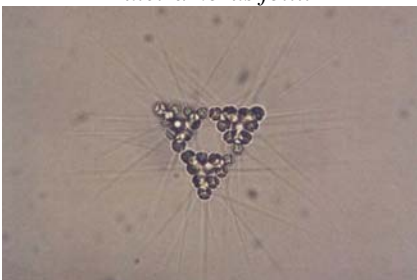
*Eutetramorus fottii*



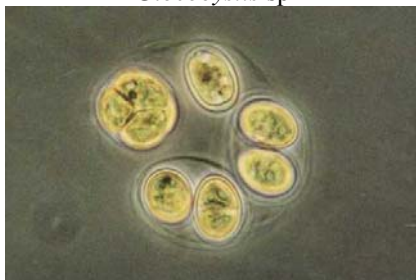
*Gloeocystis* sp



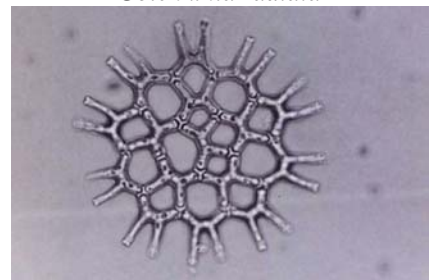
*Golenkinia radiata*



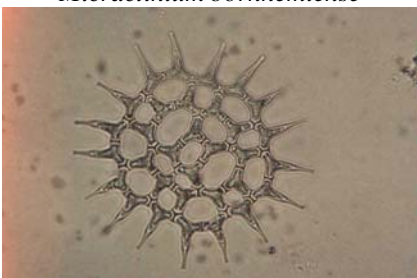
*Micractinium bornhemiense*



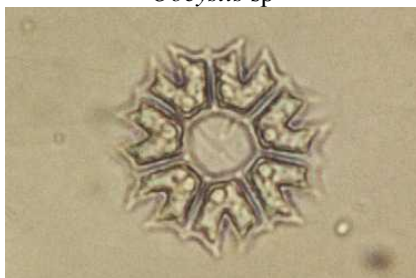
*Oocystis* sp



*Pediastrum duplex*



*Pediastrum simplex*



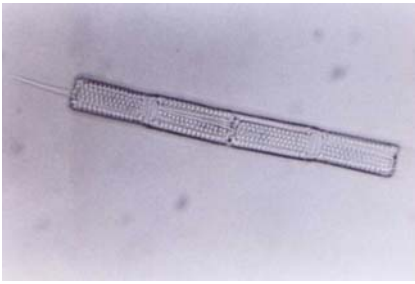
*Pediastrum tetras*



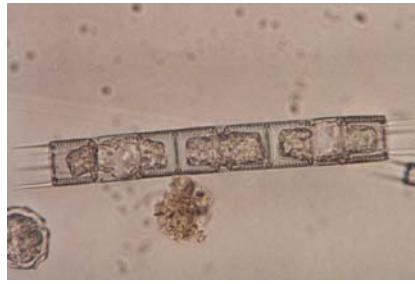
*Scenedesmus acuminatus*



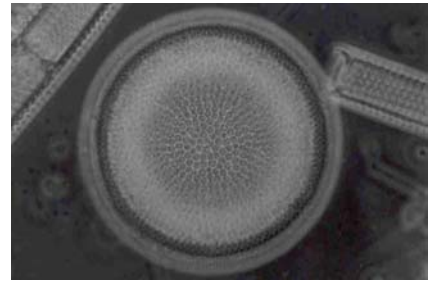
### Classe Bacillariophyceae



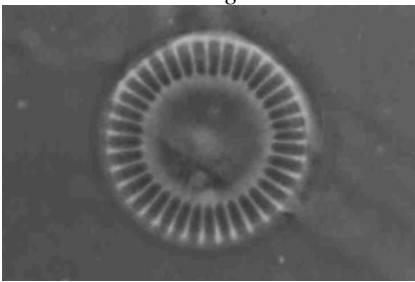
*Aulacoseira granulata*



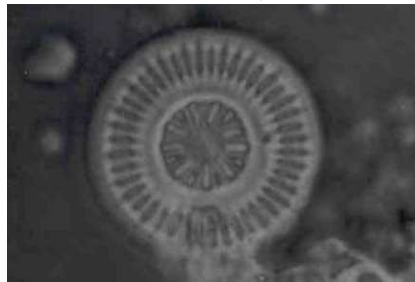
*Aulacoseira muzanensis*



*Actinocyclus normani* v. *subsalsa*



*Cyclotella menegheniana*



*Discostella* sp



*Rizosolenia* sp

### Classe Euglenophyceae



*Lepocinlis* sp



*Phacus curvicauda*



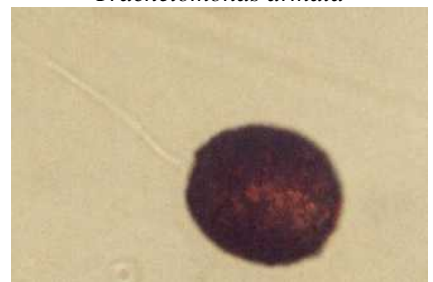
*Trachelomonas armata*



*Trachelomonas volvocina*



*Trachelomonas hispida*



*Trachelomonas oblonga*

### Classe Xanthophyceae



*Isthmochloron lobulatum*



*Tetraplektron acuminatum*



*Tetraplektron torsum*

### Classe Conjugatophyceae



*Closterium* sp



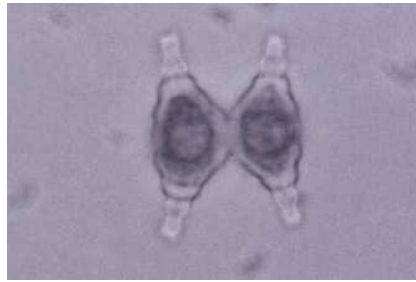
*Micrasterias arcuata*



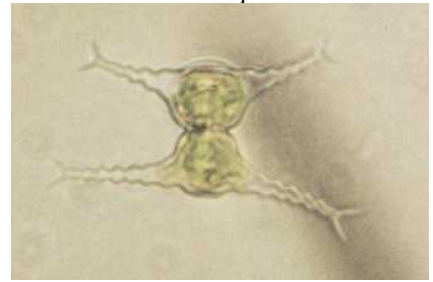
*Staurastrum leptocladum*



*Staurastrum* sp.1



*Staurastrum* sp.2



*Staurastrum* sp.3



*Staurastrum* sp.4

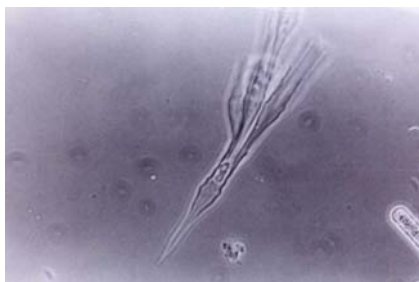


*Staurastrum* sp.5



*Staurastrum* sp.6

### Classe Chrysophyceae

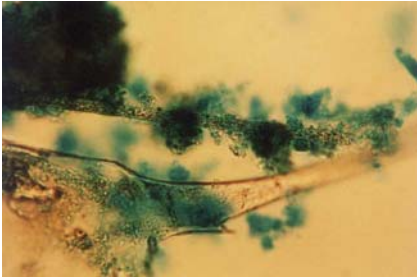


*Dinobryon bavaricum*

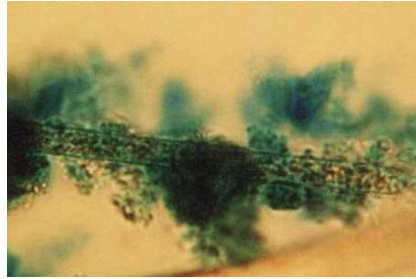


*Mallomonas* sp

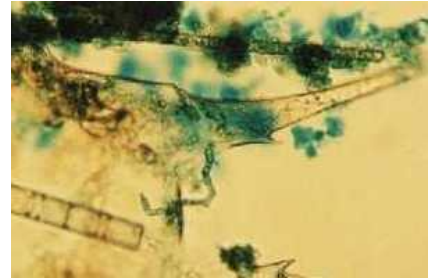
## Agregados gelatinosos



Agregado gelatinoso com fragmento de zooplâncton e filamento de *Planktothrix tropicalis*



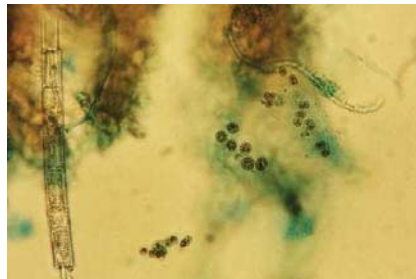
Agregado gelatinoso com filamento de *Planktothrix tropicalis*



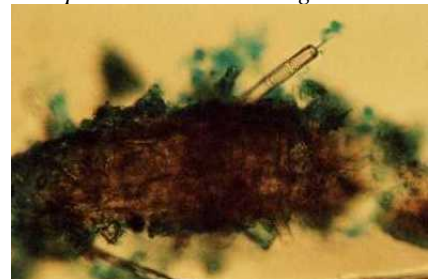
Agregado gelatinoso com fragmento de zooplâncton, filamento de *P. tropicalis* e *Aulacoseira granulata*



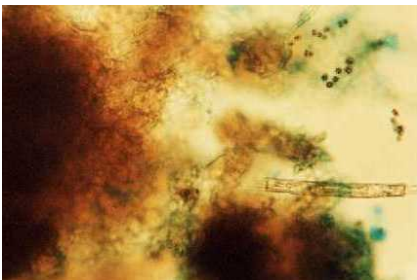
Agregado gelatinoso com células de *Microcystis* sp



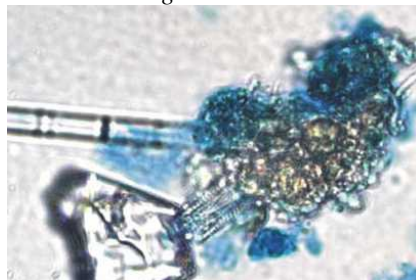
Agregado gelatinoso com células de *Microcystis* sp e filamento de *A. granulata*



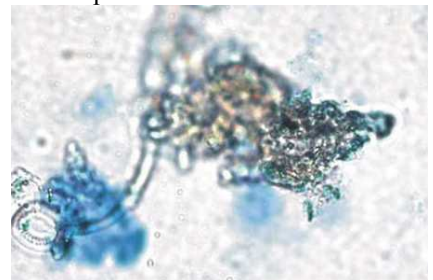
Agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata*, células de *Microcystis* sp e partícula não identificada



Agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata*, partícula não identificada e células de *Microcystis* sp



Agregado gelatinoso com filamento de *A. granulata*, partícula não identificada



Agregado gelatinoso com *Cyclotella menegheniana* e partícula não identificada.