

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

Instituto de Biociências  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

VARIAÇÃO DA ESTRUTURA E DA BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA  
LAGOA ITAPEVA (LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL)  
EM FUNÇÃO DA HIDRODINÂMICA

*VANESSA BECKER*

Porto Alegre, fevereiro de 2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

Varição da estrutura e da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva  
(Litoral Norte do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica

Vanessa Becker

**Orientador: *Prof. Dr. David da Motta Marques***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Porto Alegre, fevereiro de 2002

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e às seguintes instituições de fomento à Pesquisa: FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Sul), pelos recursos alocados ao projeto “*Comportamento hidrodinâmico da Lagoa Itapeva (Litoral Norte do RS) e seu efeito potencial sobre comunidades planctônicas* (processo nº 97/0291.5), sob a coordenação do Prof. Dr. David da Motta Marques, e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de mestrado.

Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. David da Motta Marques, pela oportunidade, orientação e incentivo.

À Dra. Luciana de Souza Cardoso, pelos inestimáveis auxílios, amizade e confiança.

À comunidade local da Lagoa Itapeva, em particular Antônio C.P. Valim e família (Pousada da Lagoa/Hotel Recreio, Arroio do Sal, RS), Inácio Francisco Gonçalves (Sítio Costa da Lagoa, Torres, RS), Luiz Eduardo Müller e Antônio Santos de Andrade e família (Condomínio Itapeva, Barra dos Quirinos, RS).

À equipe de trabalho abaixo relacionada, pelo esforço e contribuição para a realização desta pesquisa:

Alessandra Einsfeld Ferreira (Bolsista IC/FAPERGS)  
Álvaro Frantz (Hidrotécnico/UFRGS)  
Prof. Dr. André Silveira (Pesquisador /UFRGS)  
Antônio Viamão Bueno (Hidrotécnico/UFRGS)  
Prof. Dr. David da Motta Marques (Coordenador/UFRGS)  
Eduardo Hermann Heck (Estagiário/UFRGS)  
Elisângela Senna (Bolsista AP/CNPq)  
Enio Egon Sosinski Jr. (Mestrando/UFRGS)  
Fernanda Abreu dos Santos (Técnica em Química/PUCRS)  
Gustavo Reich (Bolsista IC/CNPq)  
Jairo Quadro Vallenti Jr. (Estagiário/UFRGS)  
Juliano Romanzini (Estagiário/PUCRS)  
Karen Grzybowski de Oliveira (Bolsista AP/CNPq)  
Nicolás Loaprdo (Mestrando/UFRGS)  
Nicolle Alborno Pesoa (Bolsista IC/FAPERGS)  
Paulo Edson Marques (Hidrotécnico/UFRGS)  
Pedro Varni Silva da Silva (Hidrotécnico/UFRGS)  
Luciana de Souza Cardoso (Doutoranda/UFRGS)  
Luis Gregório Raupp (Hidrotécnico/UFRGS)  
Sandro Evair Barreto Florisbello (Estagiário/UFRGS)  
Tiago Finkler Ferreira (Estagiário/UFRGS)  
Vanessa Gazulha Paulo (Bolsista IC/FAPERGS)  
Vinícius Quadros de Oliveira (Estagiário/UFRGS)

À Vanessa Gazulha Paulo, bolsista de IC, pela dedicação e auxílio no árduo trabalho de medição dos organismos para a estimativa do biovolume.

À Profa. M.Sc. Clarice Prade Carvalho, Diretora do Instituto de Biociências/PUCRS, pelo empréstimo de oculares de maior aumento durante o período de quantificação do fitoplâncton e estimativa do biovolume.

À Biol. M.Sc. Rita M. Valler, técnica do laboratório de limnologia do Instituto de Biociências/PUCRS, pelo apoio e gentileza concedidos para utilizar os microscópios a fim de fotomicrografar as algas estudadas.

Ao Diretor do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica/RS, Eduardo Vélez, por conceder o direito de consultar bibliografias nas bibliotecas da casa bem como utilizar os microscópios do Núcleo de Vegetais Inferiores com o intuito de fotografar os organismos fitoplanctônicos.

Aos pesquisadores que contribuíram com bibliografias, críticas e sugestões que foram de grande valia para a pesquisa, como a Dra. Mônica Montú (FURG), Dr. João Sarkis Yunes, Dra. Lezilda Carvalho Torgan (FZB-RS), Dr. Reinaldo Luiz Bozelli (UFRJ), Dra. Vera L.M. Huzsar (UFRJ) e Dr. Orlando Necchi Jr. (UNESP).

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Ecologia/UFRGS, Noemi Vieira Fagundes e Silvana Barzotto, pelos auxílios prestados.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ecologia/UFRGS, em especial aos amigos Lilian T. Winckler-Sosinski, Linda Naura M. Silva, Ricardo D. Furtado, Daniel Pereira, Cibele Sippel e Taís C.E. Frizzo.

Às minhas amigas, companheiras e incentivadoras, Fernanda de Castro Pasetto, Cristiane Saffi, Adriana Garcia Pias, Elisângela Morais da Rosa, Luciane Oliveira Crossetti e Maria Cecília Rech Possamai.

E finalmente, um agradecimento especial aos meus pais, Carlos e Vera, e às minhas irmãs, Gisele e Taís, pela força, compreensão, carinho e amor que mantiveram comigo neste processo de amadurecimento profissional, e à minha cachorrinha Kika pelo companheirismo e alegria demonstrados na produção deste trabalho.

## RESUMO

As lagoas costeiras em geral exibem reduzidas profundidades máximas, sendo portanto, ambientes altamente vulneráveis às oscilações dos fatores climáticos, em particular o vento. Movimentos da água em zonas pelágicas são fortemente influenciados por mudanças no tempo, as quais promovem mudanças no plâncton. A biomassa é uma importante variável em ecossistemas aquáticos uma vez que representa a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica. O trabalho teve como hipótese principal do trabalho que o vento (principal fator determinante na hidrodinâmica da Lagoa Itapeva), influencia diretamente a biomassa fitoplanctônica. Períodos de ausência de ventos ou ventos fracos provocam uma homogeneidade da comunidade, devido à estabilidade da coluna d'água, propiciando eventos de florações com alta biomassa e baixa diversidade. Outra hipótese formulada é que há variação espaço-temporal da biomassa, da diversidade de espécies e das diferentes frações de tamanho na Lagoa Itapeva, no período estudado. O objetivo do trabalho foi determinar o efeito do vento, principal fator hidrodinâmico da Lagoa Itapeva, sobre a comunidade fitoplanctônica em termos de biomassa, diversidade de espécies e categorias de tamanho. A Lagoa Itapeva é a primeira lagoa do Sistema Lagunar de Tramandaí no sentido N→S. Foram realizadas análises espaciais, formando-se três pontos de amostragem (Norte, Centro e Sul) ao longo do maior eixo longitudinal da lagoa, aliada a uma escala temporal diária (turnos de amostragem: 6h, 10h, 14h e 18h) e sazonal (quatro estações do ano), procurando estabelecer padrões e relações com os fatores hidrodinâmicos (velocidade e direção de vento, e nível d'água). Durante o estudo a Divisão Cyanophyta foi a responsável pelos elevados valores de biomassa observados nos pontos de amostragem. Este fato deve-se principalmente às florações de *Anabaena circinalis* durante as campanhas sazonais. A biomassa foi a variável que melhor se relacionou com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento) pela ação dos ventos de quadrantes predominantes que resultavam num *fetch* efetivo longo. Neste estudo foram apresentados índices de diversidade de espécies calculados através de indivíduos ( $H'$ ind) e de biomassa ( $H'$  biom). Estes índices apresentaram estreitas relações positivas entre si. Os índices também apresentaram relações diretas e significativas com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento). Na Lagoa Itapeva, a contribuição das diferentes categorias de tamanho em função da biomassa (estimada através do biovolume), ressaltou três frações que melhor representaram a comunidade fitoplanctônica: nanoplâncton, micropoplâncton e netoplâncton. A fração netoplanctônica predominou sobre as demais frações de tamanho. A predominância desta fração sobre as outras estudadas deu-se principalmente às espécies de colônias filamentosas

*Aulacoseira granulata*, *Anabaena circinalis* e *A. spiroides*. O comportamento da comunidade fitoplanctônica na Lagoa Itapeva sugere estar de acordo com a Hipótese de Distúrbio Intermediário de Connell (1978). Os distúrbios intensos (provocados pelos forte ventos e *fetch* longo) ou a falta deste (criando um ambiente estável), nos pontos de amostragem, resultaram em florações da cianobactéria *Anabaena circinalis*. Essas florações proveram uma densa biomassa em todo o período da pesquisa, além de promoverem a baixa diversidade através do domínio desta cianobactéria, e provocar sucessões das frações de tamanho do fitoplâncton.

## ABSTRACT

Coastal lakes in general present small depths, therefore being environments that are highly vulnerable to oscillations of climate factors, particularly dynamic wind action. Water movements in pelagic zones are strongly influenced by changes in weather, which cause changes in plankton. Biomass is an important variable in aquatic ecosystems, since it represents the amount of energy stored at a certain trophic level of the biological community. The assumption on which the study was based of the work that the wind (main determinative factor in the hydrodynamics of the Itapeva Lagoon), influences the fitoplanctônica biomass directly. Weak periods of absence of winds or winds provoke a homogeneity of the community, which had a stability of the column d'água, propitiating events of buddings with high biomass and low diversity. Another formulated hypothesis is that it has variation spatial-temporal of the biomass, the diversity of species and the different fractions of size in the Itapeva Lagoon, in the studied period.

s that wind acts as the main factor to determine the hydrodynamics of Itapeva Lake, directly influencing the plankton community. The general objective was to determine the effect of the wind and hydrodynamics of Itapeva Lake, on the phytoplankton community as regards biomass, species diversity, and size categories. Itapeva Lake is the first lake in the Tramandaí Lagoon System, in the N → S direction. Spatial analyses were performed (three sampling points: North, Center and South), along the greatest longitudinal axis of the lake, together with a daily time scale (sampling shifts: 6h, 10h, 14h and 18h) and seasonal scale (four seasons of the year), making it possible to establish patterns and relationships with the hydrodynamic factors (water level and mean wind velocity e direction). During the study, the Cyanophyta Division accounted for the high biomass values observed at the sampling points. This fact was due, mainly, to the blooms of *Anabaena circinalis* during the seasonal campaigns. Biomass was the variable that best related to the physical factors (water level and mean wind velocity), due to the action of winds from the predominant quadrants that resulted

in an effective long fetch. In this study, indices of species diversity were presented, calculated using individuals ( $H'$ ind) and biomass ( $H'$ biom). These variables presented close positive relationships to each other. The indices also presented direct, significant relationships to the physical factors (water level and mean wind velocity) due to the action of the predominant quadrants of the effective fetch. In Itapeva Lake, the contribution of the different categories of size as a function of biomass by biovolume, emphasized three fractions that best represented the phytoplankton community: nanoplankton, microplankton and netplankton. The netplankton fraction predominated over the other size fractions in the study. The predominance of this over the other fractions studied occurred mainly with filamentous species *Aulacoseira granulata*, *Anabaena circinalis* and *A. spiroides*. It can be said that the study of Itapeva Lake agreed with Connell's Hypothesis of Intermediary Disturbance (1978), since the intense disturbances (provoked by the strong winds and long fetch at the sampling points), or the lack of them (creating a stable environment) resulted in blooms of cyanobacteria *Anabaena circinalis*. These blooms provided a dense biomass throughout the research period, besides promoting small diversity because of the dominance of this cyanobacteria and provoking successions of the fractions of phytoplankton size.

## LISTA DE ABREVIATURAS

|        |                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------|
| Dez/98 | Dezembro de 1998                                                 |
| Mar/99 | Março de 1999                                                    |
| Mai/99 | Maio de 1999                                                     |
| Ago/99 | Agosto de 1999                                                   |
| N      | ponto Norte                                                      |
| C      | ponto Centro                                                     |
| S      | ponto Sul                                                        |
| biom   | biomassa                                                         |
| veloc  | velocidade média de vento                                        |
| nível  | nível d'água                                                     |
| den    | densidade                                                        |
| S      | riqueza                                                          |
| H'ind  | diversidade de espécies de Shannon-Wiener a partir de indivíduos |
| H'biom | diversidade de espécies de Shannon-Wiener a partir de biomassa   |

## INTRODUÇÃO

### **Apresentação**

Este trabalho foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Programa de Pós-Graduação em Ecologia, sob a orientação do prof. Dr. David da Motta Marques.

A pesquisa foi parte integrante do projeto “*Comportamento hidrodinâmico da lagoa Itapeva (Litoral Norte do RS) e seu efeito potencial sobre comunidades planctônicas visando o gerenciamento dos recursos hídricos*”, financiado pela FAPERGS (processo nº 97/0291.5).

A variação da estrutura e da biomassa fitoplanctônica, em função da hidrodinâmica na Lagoa Itapeva, é o tema da presente dissertação. A dissertação é formada por três capítulos, cada um com formato de artigo científico, contendo resumo, *abstract*, introdução, material e métodos, resultados, discussão, conclusões e referências bibliográficas. O capítulo 1 aborda a biomassa fitoplanctônica e suas relações com as variáveis hidrodinâmicas. O capítulo 2 refere-se à diversidade de espécies, abordada através do número de indivíduos e de biomassa, além verificar relações com as variáveis hidrodinâmicas. O capítulo 3 aborda as frações de tamanho, quanto a estrutura e variação, e relações com as variáveis físicas. No final do trabalho elaborou-se Considerações Finais, com o intuito de interligar os capítulos e reforçar as conclusões mais relevantes, visando fornecer elementos usáveis na gestão dos recursos hídricos da região.

### **Lagoas Costeiras**

Lagoas costeiras são ecossistemas que ocorrem ao longo de toda a costa brasileira, sendo que o maior número delas se encontra nos Estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. Pode-se considerar as lagoas costeiras brasileiras como um dos conjuntos de ecossistemas aquáticos continentais mais representativos do país. Estes ambientes se caracterizam por serem sistemas rasos e por sofrerem forte ação dos ventos, fatores estes que, geralmente, levam a promover uma maior homogeneidade da coluna d'água. Embora no Brasil o termo lagoa costeira ou simplesmente lagoa seja amplamente empregado para designar corpos d'água localizados na costa, portanto próximos ao mar, esses ecossistemas podem ser na prática lagunas ou lagos costeiros (Esteves, 1998).

### **Estudo da comunidade fitoplanctônica no Litoral Norte do RS**

No que diz respeito ao estudo do fitoplâncton do litoral norte, trabalhos foram realizados na Lagoa dos Quadros (Patrick, 1944), na Laguna Tramandaí e Lagoa do Armazém

(Callegaro et al., 1981; Rosa & Callegaro, 1988; Rosa & Werner, 1993; Rosa et al., 1994; Werner, 1988 e Kremer & Rosa, 1983), Lagoa das Pombas (Kremer, 1985), Lagoa Emboaba (Vélez, 1990), Lagoa Caconde (Konrath, 1995); lagoas Marcelino-Pinguela (Salomoni, 1997), lagoas Marcelino-Passo (Padilha, 2001) e na Lagoa Itapeva (Cardoso, 2001).

### **Biovolume como medida de biomassa planctônica**

A biomassa é uma importante variável porque mede a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica (Sharma et al., 1998, Gosselain et al, 2000). Esta biomassa planctônica pode ser estimada pela medida de peso seco, pela concentração de componentes químicos celulares (clorofila *a*, carbono e nitrogênio), bem como pelo cálculo de biovolume. O peso seco, a clorofila *a* e o carbono são métodos onde a precisão taxonômica fica debilitada para uma análise em ambientes naturais, uma vez que existe a dificuldade de separar bactérias, algas e outros pequenos organismos da matéria orgânica particulada dos detritos. O mesmo pode ser inferido para os resultados de medição da biomassa zooplanctônica em ambientes naturais. O cálculo do biovolume, por levar em conta as diferentes formas e tamanhos dos organismos, fornece uma avaliação mais precisa (Torgan et al., 1998), e, portanto, será objeto de estudo. Muitos autores têm utilizado a estimativa da biomassa fitoplanctônica, pelo biovolume, através de formas geométricas aproximadas às formas dos indivíduos (Lewis, 1976; Edler, 1979; Bergquist et al., 1985; Makarewicz, 1987; Vanni, 1987; Jeppesen et al., 1990; Ahrens & Peters, 1991; Billington, 1991; Elser, 1992; Carpenter et al. 1993; Cichra et al., 1995; Horn & Horn, 1995; Mathes & Arndt, 1995; Hansen et al., 1997; Holz et al., 1997; Arcifa et al., 1998; Leland & Berkas, 1998; Tadonlélé et al., 1998; Carpentier et al., 1999; Cyr & Curtis, 1999; Hillenbrand et al., 1999; Gosselain & Hamilton, 2000; Köhler & Hoeg, 2000; Lehman, 2000). Trabalhos no Brasil também utilizaram o biovolume (Bergesch & Odebrecht, 1995; Bergesch & Odebrecht, 1997; Huszar e Reynolds, 1997; Torgan, 1997; Domingos & Menezes, 1998 e Torgan et al., 1998). Contudo, não podemos deixar de considerar nesta revisão, artigos que realizaram críticas aos métodos de obtenção de biomassa fitoplanctônica, em especial à determinação do volume de células (Hallegraef, 1977; Clarke et al., 1987). A relação entre clorofila *a* e biovolume do fitoplâncton também tem sido estudada (Felip & Catalan, 2000), bem como a relação célula-carbono e célula-volume de algas, utilizados em estudos de zooplâncton (Rocha & Duncan, 1985).

### **Importância da forma e do tamanho dos organismos**

A forma e o tamanho das células dos organismos planctônicos são fatores freqüentemente envolvidos em discussões da dinâmica do plâncton (Bergquist et al., 1985). O tamanho do corpo afeta nas probabilidades de sobrevivência, na produção reprodutiva e aptidão individual de muitos organismos. Fatores ambientais, incluindo quantidade e qualidade de alimento, temperatura, interações interespecíficas e distúrbios influenciam o tamanho do corpo, e muitos estudos têm centrado os seus foco na identificação e seleção destes parâmetros (Burns & Schallenberg, 1996; Cyr & Curtis, 1999; Twombly & Tisch, 2000; Gilloogy, 2000).

O maior tamanho da célula pode ser, ainda, um mecanismo que ofereça vantagens pela baixa herbivoria do zooplâncton, pois a fração nanoplânctônica sofre mais pressão de pastejamento (Lewis, 1976). Algas maiores compensam a sedimentação pelo aumento na resistência através da forma como, por exemplo, corpo alongado, presença de processos, espinhos, protuberâncias, etc. (Reynolds, 1984b).

O tamanho da célula fitoplanctônica pode influenciar as taxas de nutrientes e assimilação, fotossíntese, respiração e crescimento (Lane & Goldman, 1984). A razão superfície/volume da biomassa influencia a troca de energia (luz e calor) e nutrientes (Lewis, 1976; Malone, 1980; Lane & Goldman, 1984, Reynolds, 1984a).

A diversidade da morfologia do fitoplâncton é realçada por espécies que habitualmente formam cenóbios ou estruturas coloniais. Esses arranjos das células individuais geram novas formas. Assim, as estruturas minimizam a área de contato entre a célula individual, sendo a razão S/V altamente conservada. Na tentativa de estabilizar-se, isto é manter-se em bom estado fisiológico, o fitoplâncton responde à variabilidade ambiental através de diferentes adaptações morfológicas individuais de espécies (formas, tamanhos, organizações estruturais das colônias e pigmentações, relativo a clorofila e pigmentos fotossintéticos acessórios) à variabilidade ambiental (Reynolds, 1984a).

### **Distribuição de Tamanho**

Estudos de distribuição de tamanho em nível de população, comunidades e ecossistemas, são baseados nas diferentes classes de tamanho do corpo dos organismos e nos diferentes níveis taxonômicos (Sprules & Murawar, 1986; Sprules, 1988; Cyr & Pace, 1993). O estudo da distribuição do tamanho de biomassa provém de uma descrição holística do ecossistema visando facilitar comparações no tempo e no espaço. Esta distribuição pode ser utilizada para analisar ecossistemas funcionais, através de relações alométricas entre a massa corpórea e os processos metabólicos, e de correlações entre massa corpórea e as propriedades ecológicas dos organismos pelágicos com a variabilidade sazonal e o nível trófico (Gaedke,

1992b; Gaedke, 1993). Os espectros de tamanho de biomassa são construídos pela alocação de todos os organismos em classes de tamanho de acordo com sua massa corpórea e assim computada a biomassa total por classe de tamanho (Gaedke, 1992a; Gaedke, 1993). Assumindo uma distribuição de biomassa aproximadamente uniforme com o tamanho corporal do indivíduo, implica numa aproximação regular da distribuição da biomassa sobre um contínuo de guildas funcionais que podem ajudar a explorar a estabilidade do ecossistema. Podemos encontrar nichos funcionais juntamente com um gradiente de tamanho, devido à similaridade de diferentes grupos de organismos planctônicos, o qual poderá ser visualizado como um contínuo de guildas funcionais (Gaedke, 1992b). Fatores externos podem influenciar a forma da distribuição de tamanho da biomassa bem como flutuações do ambiente podem ampliar a irregularidade do tamanho do espectro (Gaedke, 1992a).

### **Classes de Tamanho**

As principais ferramentas utilizadas para caracterizar a estrutura da comunidade fitoplanctônica são, além da composição taxonômica, da riqueza e da diversidade de espécies, a classificação dos organismos de acordo com o seu tamanho (Torgan et al., 2000). As classes de tamanho têm sido freqüentemente utilizadas para partição da comunidade algal em função do potencial de influência do tamanho da partícula na dinâmica da cadeia alimentar e também porque espécies dentro das classes de tamanho tendem a responder com comportamentos similares a mudanças ambientais (Lane & Goldman, 1984). O fracionamento das classes de tamanho dos organismos planctônicos é diferenciado por vários autores (Dussart, 1965; Hutchinson, 1967; Rai, 1982 e Lane & Goldman, 1984). Muitos métodos são utilizados para a obtenção destas categorias de tamanho, sendo que o mais estudado é o fracionamento de amostras com redes ou filtros, seguido da análise de concentração de clorofila *a* (Rai, 1982; Ahrens & Peters, 1991; Chisholm, 1992; Frenette et al., 1996; Lonsdale et al., 1996; Froneman & MacQuaid, 1997; Kuipers & Witte, 1999; Cottingham & Schindler, 2000; Lehman, 2000; Patoine et al., 2000). No Brasil estes estudos são representados pelos trabalhos de Watanabe (1981), Bergesch (1990), Bergesch & Odebrecht (1995), Bergesch & Odebrecht (1997), Odebrecht et al. (1998), Roland (1998) e Torgan et al. (2000). Pesquisadores também utilizaram o Diâmetro Esférico Equivalente, o ESD (“Equivalent Sphaerical Diameter”) para determinar as categorias de tamanho (Sprules et al., 1983; Rothhaupt, 1990; Ahrens & Peters, 1991; Nejstgaard et al., 1995; Bouvier et al., 1998). No presente trabalho, em relação às frações de tamanho, optou-se pela determinação da Maior Dimensão Linear Axial (GALD, “Greatest Axial Linear Dimension”), segundo Lewis (1976). Essa medida permite avaliar a composição das diferentes frações de tamanho, ao contrário dos métodos indiretos como a

concentração de clorofila *a*. Outros autores também optaram por este método (Bergquist et al., 1985; Ahrens & Peters, 1991; Carpenter et al., 1993; Reynolds, 1984b; Torgan, 1997, Cottingham & Carpenter, 1998). O programa denominado ALGAMICA (Gosselain & Hamilton, 2000; Gosselain et al., 2000) facilita a determinação do fracionamento pelo GALD. As classes consideradas neste programa são: picoplâncton (0-2,0  $\mu\text{m}$ ), *u*-ultraplâncton (2,1-5,0  $\mu\text{m}$ ), ultraplâncton (5,1-10,0  $\mu\text{m}$ ), nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ ), micropoplâncton (22,1-64,0  $\mu\text{m}$ ) e netoplâncton (>64,1  $\mu\text{m}$ ).

### **Sistemas rasos e perturbados pela ação do vento**

Em sistemas rasos e perturbados, o vento é a principal fonte de energia cinética produzindo movimento de água (Millet, 1989 *apud* Millet & Cecchi, 1992). As lagoas costeiras, em geral, exibem reduzidas profundidades máxima e relativa, sendo, portanto, ambientes altamente vulneráveis às oscilações dos fatores climáticos, em particular à ação dinâmica do vento. Ambientes rasos estão sujeitos a processos de resfriamento e aquecimento e à ação de mistura por ação do vento, os quais estendem-se até o fundo (Panosso et al., 1998).

Vários trabalhos em lagoas rasas (Demers et al., 1987; Padisák et al., 1990; Millet & Cecchi, 1992, Dokulil, 1994; Dokulil & Padisák, 1994; Reynolds, 1994; Berman & Shteinman, 1998) apresentaram ação de ventos constantes, evidenciando um modelo comportamental similar ao da lagoa Itapeva (Cardoso, 2001), a qual propicia uma elevada turbidez no ambiente, provocada pela ressuspensão do sedimento. Elevadas concentrações de turbidez podem limitar a zona fótica para a realização da fotossíntese fitoplanctônica e restringir o crescimento da biomassa. A ressuspensão de nutrientes, promovido pelo vento, aumenta a eficiência do fluxo de energia na cadeia alimentar, disponibilizando a matéria orgânica particulada, acessível somente para os níveis tróficos baixos, como bactérias e decompositores de depósitos, para os níveis tróficos mais altos como filtradores (Demers et al., 1987, Millet & Cecchi, 1992; Jeppesen et al., 1999). A coluna d'água pode em muitos lagos interagir prontamente com a camada superficial do sedimento, especialmente em lagos rasos, a qual é suscetível a mudanças nos campos de luz devido à mistura de fundo. Não é claro que mudanças na biomassa fitoplanctônica sejam associadas com pulsos de liberação de nutrientes do sedimento para as camadas superiores da água, durante eventos de ressuspensão, ou direta inoculação de alga do fundo do lago, ou ainda em ambos fatores (Carrick et al., 1993).

## **Hidrodinâmica**

Estudos têm reconhecido a hidrodinâmica como uma força que rege os ecossistemas aquáticos (Legendre & Demers, 1984). Um importante aspecto da dinâmica populacional de comunidades planctônicas está influenciado pelos eventos meteorológicos e hidráulicos, principalmente de lagos polimíticos, pois através de movimentos migratórios ao longo do dia, promovem um mecanismo de transporte de biomassa e nutrientes pelas diferentes camadas ou compartimentos do ambiente. Trabalhos pioneiros que enfatizam este tema, dinâmica de lagos polimíticos e seu comportamento em 3D (3ª dimensão), recentemente foram apresentados no VIII Congresso Brasileiro de Limnologia, (Saggio & Oliveira-Neto, 2001; Oliveira Neto et al., 2001a; Oliveira Neto et al., 2001b). Cardoso (2001), comprovou a regência da hidrodinâmica sobre a comunidade planctônica da Lagoa Itapeva, sendo o vento o principal fator determinante. As variáveis hidrológicas (nível d'água e velocidade de fluxo), exibiram uma variação espacial e temporal intimamente relacionada com a ação do vento e com a comunidade planctônica.

Em ecossistemas aquáticos, interações entre processos físicos ambientais e biológicos são freqüentemente responsáveis pela estrutura e produção de comunidades pelágicas. Mudanças observadas na estrutura de tamanho do fitoplâncton na camada de mistura superficial estão associadas com mudanças no regime de estratificação e mistura. A hidrodinâmica pode modelar a estrutura da comunidade e produtividade relacionadas ao tamanho (Frenette *et al.* 1996).

A dinâmica do fitoplâncton nem sempre é linear e organismos podem não reagir imediatamente às mudanças. A intensidade bem como a duração dos eventos ambiental, como vento, podem afetar as algas (Harris, 1986). Neste contexto, comunidades fitoplanctônicas podem ser selecionadas pela rapidez e eficiência de suas respostas biológicas (Millet & Cecchi, 1992).

O nível de turbulência é menos importante na seleção da ficoflora distinta em sistemas cinéticos intensivamente misturados, do que sua extensão espacial ou mesmo sua permanência temporal. Embora algumas algas possam estar circundadas por um meio viscoso, é mesmo improvável que permaneça quase estacionária: enquanto a turbulência persiste, estas estão sempre sujeitas a serem deslocadas ou absorvidas dentro do movimento. Se células fitoplanctônicas afundam, flutuam ou se movimentam em relação às águas adjacentes, suas posições estão constantemente sujeitas a reajustes (Reynolds, 1994).

## **Distúrbio Intermediário versus Diversidade de espécies**

A Hipótese do Distúrbio Intermediário, formulada por Connell (1978) para recifes de corais e florestas tropicais, tem sido recentemente considerada por diversos pesquisadores da ecologia do fitoplâncton (Harris, 1986; Chorus & Schlag, 1993; Descy, 1993; Pádisak, 1993; Reynolds, 1993; Rojo & Alvarez-Cobelas, 1993; Sommer et al., 1993). A hipótese de Connell (*op.cit.*) relaciona baixa diversidade com ausência de distúrbios ou com distúrbios muito intensos, e a alta diversidade com distúrbios de frequências ou intensidade intermediárias. Estes últimos determinam oportunidades repetidas para estabelecimento de populações pioneiras, fora de competição, e de populações competidoras com sucesso, que resistiriam ao distúrbio sem dominar a comunidade. No princípio da exclusão competitiva de Hardin (1960), a diversidade de espécies é suprimida quando o equilíbrio ecológico é atingido (clímax). Assim, distúrbios com intensidade, frequência e duração apropriadas preveniriam a exclusão competitiva e manteriam a diversidade de espécies mais elevada (Reynolds, 1993).

A diversidade é promovida quando algas com rápido crescimento (usualmente de pequeno tamanho) são abundantes. Por outro lado, a diversidade é baixa ou declina em sucessões avançadas onde uma grande biomassa é dominada por uma única espécie de alga e geralmente de tamanho grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ). A diversidade é raramente alta em ambientes fortemente seletivos, tais como sistemas ou lagos caracterizados por extremos de turbidez (Reynolds, 1993).

## **Hipóteses**

A hipótese principal do trabalho é que o vento (principal fator determinante na hidrodinâmica da Lagoa Itapeva), influencia diretamente a biomassa fitoplanctônica. Períodos de ausência de ventos ou ventos fracos provocam uma homogeneidade da comunidade, devido à estabilidade da coluna d'água, propiciando eventos de florações com alta biomassa e baixa diversidade.

A segunda hipótese é que há variação espaço-temporal da biomassa, da diversidade de espécies e das diferentes frações de tamanho na Lagoa Itapeva, no período estudado.

## **Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é determinar o efeito do vento e da hidrodinâmica da Lagoa Itapeva sobre a comunidade fitoplanctônica, analisando esta influência através da biomassa, da diversidade de espécies e das categorias de tamanho.

Objetivos específicos também foram estabelecidos para testar a hipótese:

- Verificar a variação espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva, RS, estabelecendo as relações desta variável com os fatores físicos (velocidade/direção de vento e nível d'água) que atuaram diretamente na lagoa;
- Verificar a variação espaço-temporal da diversidade de espécies (por indivíduos e por biomassa), bem verificar a relação dos fatores físicos (velocidade/direção de vento e nível d'água) com os valores de diversidade do fitoplâncton;
- Caracterizar as frações de tamanho da comunidade fitoplanctônica, correlacionando-as com as variáveis físicas (velocidade/direção de vento e nível d'água) do ambiente.

### **Área de Estudo**

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul está inscrita entre os paralelos 29°12' e 33°48' de latitude sul e os meridianos de 49°40' e 53°30' de longitude oeste, considerando apenas território brasileiro (Schwarzbold & Schäfer, 1984).

Tomazelli & Villwock (1991) analisaram os processos de sedimentação, os padrões morfológicos e de distribuição dos sedimentos, bem como a história evolutiva do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul. Ficaram evidenciados quatro mecanismos principais responsáveis pela evolução do sistema durante o Holoceno: 1) as variações do nível de base que seguiram as flutuações do nível do mar; 2) o progressivo avanço de vegetação marginal aos corpos de água; 3) o aporte de sedimentos clásticos trazidos pelos rios e 4) a migração de dunas eólicas para dentro dos corpos d'água.

O Sistema Lagunar Tramandaí, situado no litoral norte do Estado, corresponde a uma pequena faixa de aproximadamente 1800 km<sup>2</sup> da Planície Costeira. Tem como limite oriental o Oceano Atlântico e limite ocidental as encostas da Serra Geral, que se estendem desde o interior do Município de Torres até poucos quilômetros ao sul da cidade de Osório (Würdig, 1987). Estas lagunas do Sistema Tramandaí correspondem ao mais novo sistema lagunar da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, que evoluiu por segmentação, controlado pelo regime regional de ventos de direção NE, formando um colar de lagoas (Villwock, 1984). O relevante papel do vento, como agente fisiológico, na elaboração da paisagem da Planície Costeira do RS tem sido reconhecido ao longo dos anos, pela maioria dos pesquisadores que estudaram esta região (Tomazelli, 1993). A direção do vento que predomina na região é de origem NE (Schwarzbold & Schäfer, 1984; Tomazelli, 1993) e SW, os quais caracterizam não só a morfologia do sistema lagunar de Tramandaí, mas também influenciam a distribuição espacial e temporal de suas comunidades vegetais e animais (Würdig, 1987). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen (Köppen, 1948 *apud* Würdig, 1987) é, basicamente, subtropical úmido sem estação seca (Cf), com verão quente (Cfa).

Os sistemas lacustres do Estado do Rio Grande do Sul foram classificados por Schwarzbald & Schäfer (1984), baseando-se no regime hidrológico de interligação das lagoas por canais, e pela forma de ligação por barras com o mar. Assim, sete sistemas foram apresentados. O Sistema Tramandaí foi dividido em dois subsistemas: ao norte da desembocadura de Tramandaí, formado pelas Lagoas Itapeva, dos Quadros e o conjunto de lagoas de Osório, e ao sul, a partir da Laguna de Tramandaí, passando por uma seqüência de lagoas em colar, até à lagoa da Porteira. Este sistema está interligado por canais permanentemente abertos ao subsistema norte, que drena a água das escarpas da Serra Geral. O volume de água que escoar por este subsistema impede que os efeitos da maré se façam sentir, através de refluxo de água que atinge apenas pequenos trechos do delta do Rio Tramandaí, na laguna de mesmo nome, não atingindo nenhuma lagoa à montante. O subsistema sul apresenta o trecho a montante fechado durante alguns meses do ano e aberto nos demais, enquanto o trecho final encontra-se sempre aberto, sofrendo os efeitos das marés. O ponto de encontro destes dois subsistemas é a Laguna de Tramandaí.

A Lagoa Itapeva apresenta uma superfície de aproximadamente 95,16 km<sup>2</sup>, volume de 212x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, profundidade média de 2,23 m e máxima de 3,5 m (Schwarzbald & Schäfer, 1984). Conforme dados mais recentes de Lopardo (em preparação), a área total corresponde a 124,75 km<sup>2</sup> e um volume de 245,5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. A bacia hidrográfica onde se encontra a Lagoa tem uma área de 825,6 km<sup>2</sup> e um perímetro de 179,7 km. Os principais tributários da lagoa são o Rio Cardoso e o Rio Três Forquilhas. Este último possui uma área de drenagem de 524 km<sup>2</sup>, com sua nascente localizada na Serra Geral, e sua foz na planície costeira, diretamente na Lagoa Itapeva, tendo resposta rápida aos eventos chuvosos

A Lagoa Itapeva possui substrato de areia e camadas de argila, com uma comunidade de vegetação aquática de margem pouco desenvolvida e dominada por *Scirpus californicus*.

## Referências Bibliográficas

- AHRENS, M.A. & PETERS, R.H., 1991, Patterns and limitations in limnoplankton size spectra. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 1967-1978.
- ARCIFA, M.S., SILVA, L.H.S & SILVA M.H.L., 1998, The planktonic community in a tropical brazilian reservoir: composition, fluctuations and interactions. *Rev. Brasil. Biol.*, 58 (2): 241-254.
- BERGESCH, M. & ODEBRECHT, C., 1995, Estrutura de tamanho do fitoplâncton no estuário da Lagoa dos Patos: Uma comparação entre três métodos de análise. *Atlântica*, 17: 53-62.
- BERGESCH, M. & ODEBRECHT, C., 1997, Análise do fitoplâncton, protozooplâncton e de alguns fatores abióticos no estuário da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 19: 31-50.

- BERGESCH, M., 1990, Variações de biomassa e composição do fitoplâncton na área estuarina rasa da Lagoa dos Patos e suas relações com fatores de influência. Dissertação de Mestrado, FURG, Rio Grande, 84p.
- BERGQUIST, A.M., CARPENTER, S.R. & LATINO, J.C., 1985, Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblages. *Limnol. Oceanogr.*, 30 (5): 1037-1045.
- BERMAN, T. & SHTEINMAN, B., 1998, Phytoplankton development and turbulent mixing in Lake Kinneret (1992-1996). *Journal of Plankton Research*, 20 (4): 709-726.
- BILLINGTON, N., 1991, A comparison of three methods of measuring phytoplankton biomass on a daily and seasonal basis. *Hydrobiologia*, 226: 1-15.
- BOUVIER, T., BECQUEVORT, S. & LANCELOT, C., 1998, Biomass and feeding activity of phagotrophic mixotrophs in the northwestern Black Sea during the summer 1995. *Hydrobiologia*, 363: 289-301.
- BURNS, C.W. & SCHALLENBERG, M., 1996, Relative impacts of copepods, cladocerans and nutrients on the microbial food web of a mesotrophic lake. *Journal of Plankton Research*, 18(5): 683-714.
- CALLEGARO, V.L.M., ROSA, Z.M. & WERNER, V.R., 1981, Comunidades fitoplanctônicas das Lagoas Tramandaí e Armazém, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér.Botânica*, (28): 3-16.
- CARDOSO, L.S., 2001, *Variações da estrutura planctônica da Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica*. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.
- CARPENTER, S.R., MORRICE, J.A., ELSER, J.J., AMAND, A.L. St. & MACKEY, N.A., 1993, Phytoplankton community dynamics. In: S.R. Carpenter & J.F. Kitchell (eds.), *The trophic cascade in lakes*. Cambridge University Press, Cambridge, p.189-209.
- CARPENTIER, C.J., KETELAARS, H.A.M., WAGENVOORT, A.J. & PIKAAR-SCHOONEN, K.(C.) P.R., 1999, Rapid and versatile routine measurements of plankton biovolumes with BACCHUS. *Journal of Plankton Research*, 21 (10): 1877-1889.
- CARRICK, H.J., ALDRIDGE, F.J. & SCHELSKE, C.L., 1993, Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnol. Oceanogr.*, 38 (6): 1179-1192.
- CHISHOLM, S.W., 1992, Phytoplankton size. In: Falkowski, P.G. & Woodhead, A.D. (eds.). *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, p. 213-237.
- CHORUS, I. & SCHLAG, G., 1993, Importance of intermediate disturbances for the species composition and diversity of phytoplankton in two very different Berlin lakes. *Hydrobiologia*, 249: 67-92.
- CICHRA, M.F., BADYLAK, S., HENDERSON, N., RUETER, B.H. & PHILIPS, E.J., 1995, Phytoplankton community structure in the open water zone of a shallow subtropical lake (Lake Okeechobee, Florida, USA). *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.*, 45: 157-175.
- CLARKE, R.T., MARKER, A.F.H. & ROTHER, J.A., 1987, The estimation of the mean and variance of algal cell volume from critical measurements. *Freshwater Biology*, 17: 117-128.
- CONNELL, J.H., 1978, Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199 (24): 1302-1310.

- COTTINGHAM, K.L. & CARPENTER, S.R., 1998, Population, community, and ecosystem variates as ecological indicators: phytoplankton responses to whole-lake enrichment. *Ecological Applications*, 8(2): 508-530.
- COTTINGHAM, K.L. & SCHINDLER, D.E., 2000, Effects of grazer community structure on phytoplankton response to nutrient pulses. *Ecology*, 81 (1): 183-200.
- CYR, H. & CURTIS, J.M., 1999, Zooplankton community size structure and taxonomic composition affects size-selective grazing in natural communities. *Oecologia*, 118: 306-315.
- CYR, H. & PACE, M.L., 1993, Allometric Theory: Extrapolations from individuals to communities. *Ecology*, 74(4): 1234-1245.
- DEMERS, S., THERRIault, J-C., BOURGET, E. & BAH, A., 1987, Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: wind influence. *Limnol.Oceanogr.*, 32 (2): 327-339.
- DESCY, J-P., 1993, Ecology of phytoplankton of ht River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity. *Hydrobiologia*, 249: 111-116.
- DOKULIL M.T. & PÁDISAK, J., 1994, Long-term compositional response of phytoplankton in a shallow, turbid environment, Neusiedlersee (Austria/Hungria). *Hydrobiologia*, 275/276: 125-137.
- DOKULIL M.T., 1994, Environmental control of phytoplankton productivity in turbulent turbid systems. *Hydrobiologia*, 289: 65-74
- DOMINGOS, P. & MENEZES, M., 1998, Taxonomic remarks on planktonic phytoflagellates in a hypertrophic tropical lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, 369/370: 297-313.
- DUSSART, B.H., 1965, Les différentes catégories de plancton. *Hydrobiologia*, 26 (1/2): 72-74.
- EDLER, L., 1979, *Recomendation for Marine Biological Studies in the Baltic Sea: Phytoplankton and chlorophyll*. (Unesco Working group 11) 38p.
- ELSER, J.J., 1992, Phytoplankton dynamics and the role of grazers in Castle Lake, California. *Ecology*, 73 (3): 887-902.
- ESTEVEs, F.A., 1998, *Fundamentos de limnologia*. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro, 602p.
- FELIP, M. & CATALAN, J., 2000, The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima. *Journal of Plankton Reserach*, 22 (1): 91-105.
- FRENETTE, J.J., VINCENT, W.F., LEGENDRE, L. & NAGATA, T., 1996, Size-dependent changes in phytoplankton C and N uptake in the dynamic mixed layer of lake Biwa. *Freshwater Biology*, 36(2): 221-236.
- FRONEMAN, P.W. & McQUAID, C.D., 1997, Preliminary investigation of the ecological role of microzooplankton in the Kariega Estuary, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45: 689-695.
- GAEDKE, U., 1992a, The size distribution of plankton biomass in a large lake and its seasonal variability. *Limnol. Oceanogr.*, 37(6): 1202-1220.
- GAEDKE, U., 1992b, Identifying ecosystem properties: a case study using plankton biomass size distribution. *Ecological Modelling*, 63: 277-298.
- GAEDKE, U., 1993, Ecosystem analysis based on biomass size distributions: A case study of a plankton community in a large lake. *Limnol. Oceanogr.*, 38(1): 112-127.

- GILLOOLY, J., 2000, Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. *Journal of Plankton Research*, 22(2): 241-251.
- GOSSELAIN, V. & HAMILTON, P.B., 2000, Algamica: revisions to a key-based computerized counting program for free-living, attached, and benthic algae. *Hydrobiologia*, 438: 139-142.
- GOSSELAIN, V., HAMILTON, P.B. & DESCY, J., 2000, Estimating phytoplankton carbon from microscopic counts: an application for riverine systems. *Hydrobiologia*, 438: 75-90.
- HALLEGRAEFF, G.M., 1977, A comparison of different methods used for the quantitative evaluation of biomass of freshwater phytoplankton. *Hydrobiologia*, 55 (2): 145-165.
- HANSEN, P.J., BJØRNSSEN, P.K. & HANSEN, B.W., 1997, Zooplankton grazing and growth: scaling within the 2-2,000- $\mu\text{m}$  body size range. *Limnol. Oceanogr.* 42 (4): 687-704.
- HARDIN, G., 1960, The competitive exclusion principle. *Science* 131: 1292-1297.
- HARRIS, G.P., 1986, *Phytoplankton Ecology – Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London, 384p.
- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C-D., KIRSCHTEL, D., POLLINGHER, U. & ZOHARY, T., 1999, Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.*, 35: 403-424.
- HOLZ, J.C., HOAGLAND, K.D., SPAWN, R.L., POPP, A. & ANDERSEN, J.L., 1997, Phytoplankton community response to reservoir aging, 1968-92. *Hydrobiologia*, 346: 183-192.
- HORN, W. & HORN, H., 1995, Interralationships between crustacean zooplankton and phytoplankton: results from 15 years of field observations at the mesotrophic Saldenbach Reservoir (Germany). *Hydrobiologia*, 307: 231-238.
- HUSZAR, V.L.M. & REYNOLDS, C.S., 1997, Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, 346: 169-181.
- HUTCHINSON, G.E., 1967, *A treatise of limnology.2. Introduction to lake biology and the limnoplankton*. John Wiley & Sons. Inc, New York, 1115p.
- JEPPESEN, E., JENSEN, J.P., SØNDERGAARD, M. & LAURIDSEN, T. 1999. Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia*, 408/409: 217-231.
- JEPPESEN, E., SØNDERGAARD, M., SORTKJÆR, O., MORTENSEN, E. & KRISTENSEN, P., 1990, Interactions between phytoplankton, zooplankton and fish in a shallow, hypertrophic lake: a study of phytoplankton collapses in Lake Søbygård, Denmark. *Hydrobiologia*, 191: 149-164.
- KÖHLER, J. & HOEG, S., 2000, Phytoplankton selection in a river-lake system during two decades of changing nutrient supply. *Hydrobiologia*, 424: 13-24.
- KONRATH, J., 1995, *Flutuação temporal da taxa de fixação de carbono particulado, estrutura do fitoplâncton e fatores ambientais em um lagoa costeira eutrófica (Lagoa Caconde, Osório, RS)*. Dissertação de mestrado, PPG Ecologia/UFRGS, Porto Alegre, 146 p.
- KREMER, L.M. & ROSA, Z.M., 1983, Dinoflagelados do microplâncton de Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér. Botânica*, (30): 3-35.

- KREMER, L.M., 1985, *Produção primária do fitoplâncton na Lagoa das Pombas, Tramandaí, Rio Grande do Sul*. Dissertação de mestrado, PPG Ecologia/UFRGS, Porto Alegre, 149 p.
- KUIPERS, B.R. & WITTE, H.J., 1999, Grazing impact of microzooplankton on different size classes of algae in the North Sea in early spring and mid-summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 180: 93-104.
- LANE, J.L. & GOLDMAN, C.R., 1984, Size-fractionation of natural phytoplankton communities in nutrient bioassay studies. *Hydrobiologia*, 118: 219-223.
- LEGENDRE, L. & DEMERS, S., 1984, Towards dynamic biological oceanography and limnology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 2-19.
- LEHMAN, P.W., 2000, Phytoplankton biomass, cell diameter, and species composition in the low salinity zone of northern San Francisco Bay Estuary. *Estuaries*, 23 (2): 216-230.
- LELAND, H.V. & BERKAS, W.R., 1998, Temporal variation in plankton assemblages and physicochemistry of Devils Lake, North Dakota. *Hydrobiologia*, 377: 57-71.
- LEWIS, W.M., 1976, Surface/Volume Ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, 192: 885-887.
- LONSDALE, D.J., COSPER, E.M. & DOALL, M., 1996, Effects of zooplankton grazing on phytoplankton size-structure and biomass in the Lower Hudson River Estuary. *Estuaries*, 19 (4): 874-889.
- LOPARDO, N., (em preparação), *Estudo hidrodinâmico e correlações com variáveis ambientais na Lagoa Itapeva no Litoral Norte do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, IPH/UFRGS, Porto Alegre.
- MAKAREWICZ, J.C., 1987, Phytoplankton composition, abundance, and distribution: nearshore Lake Ontario and Oswego River and Harbor. *J. Great Lakes Res.* 13 (1): 56-64.
- MALONE, T.C., 1980, Algal Size, pp. 433-463. In: I. Morris (ed.), *The physiological ecology of phytoplankton*. Black Sci.Publ., Oxford.
- MATHES, J. & ARNDT, H., 1995, Annual cycle of protozooplankton (ciliates, flagellates and sarcodines) in relation to phyto-and metazooplankton in Lake Neumühler See (Mecklenburg, Germany). *Arch. Hydrobiol.* 134 (3): 337-358.
- MILLET, B. & CECCHI, P., 1992, Wind-induced hydrodynamic control of the phytoplankton biomass in a lagoon ecosystem. *Limnol.Oceanogr.*, 37 (1):140-146.
- NEJSTGAARD, J.C., BAMSTEDT, U., BAGØIEN, E. & SOLBERG, P.T., 1995, Algal constraints on copepod grazing. Growth state, toxicity, cell size, and season as regulating factors. *ICES J. mar. Sci.*, 52: 347-357.
- ODEBRECHT, C., MÖLLER, O.O. & NIENCHESKI, L.F., 1988, Biomassa e categorias de tamanho do fitoplâncton total na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil verão de 1986). *Acta limnol. Bras.* 2: 367-386.
- OLIVEIRA-NETO, DOS SANTOS, A. & SAGGIO, A., 2001a, Dinâmica de lagos polimíticos: respostas rápidas da comunidade planctônica a um evento extremo. In: *VIII Congresso Brasileiro de Limnologia*, João Pessoa, resumo p.52.
- OLIVEIRA-NETO, SAGGIO, A., DOS SANTOS, A., SEIBITZ, T.M. & SILVA, J.P.B., 2001b, Dinâmica de lagos polimíticos: variação diária da estrutura térmica e sucessão de comunidades planctônicas. In: *VIII Congresso Brasileiro de Limnologia*, João Pessoa, resumo p.51.

- PADILHA, R. dos S., 2001, *Tipologia de lagoas costeiras do litoral norte do Rio Grande do Sul, com ênfase na comunidade fitoplanctônica*. Dissertação de mestrado, PPG ecologia/UFRGS, Porto Alegre, 104p.
- PADISÁK, J., 1993, The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity, and equitability of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 249: 135-156.
- PADISÁK, J., TOTH, L.G. & RAJCZY, M., 1990, Stir-up effect wind on a more-or-less stratified shallow lake phytoplankton community, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia*, 191: 249-254.
- PANOSSO, R. de F., ATTAYDE, J.L. & MUEHE, D., 1998, Morfometria das Lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus: implicações para seu funcionamento e manejo. In: F. de A. Esteves (ed.), *Ecologia das lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*, NUPEM/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 91-108.
- PATOINE, A., PINEL-ALLOUL, B., PREPAS, E.E & CARIGNAN, R., 2000, Do logging and forest fires influence zooplankton biomass in Canadian Boreal Shield lakes? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 (Suppl. 2): 155-164.
- PATRICK, R., 1944, Estudo limnológico e biológico das lagoas da região litorânea sul-riograndense. II. Some new diatoms from the Lagoa dos Quadros. *Boletim do Museu Nacional do Rio de Janeiro*, Nova série Botânica, (2): 1-6.
- RAI, H., 1982, Primary production of various size fractions of natural phytoplankton communities in a North German lake. *Arch. Hydrobiol.*, 95 (1/4): 395-412.
- REYNOLDS, C.S., 1984a, Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology* (14): 111-142.
- REYNOLDS, C.S., 1984b, *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 384p.
- REYNOLDS, C.S., 1993, Scales of disturbance and their role in plankton ecology. *Hydrobiologia*, 249: 157-171.
- REYNOLDS, C.S., 1994, The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia*, 289: 9-21.
- ROCHA, O. & DUNCAN, A., 1985, The relationship between cell carbon and cell volume in freshwater algal species used in zooplanktonic studies. *Journal of Plankton Research*, 7 (2): 279-294.
- ROJO, C. & ALVAREZ-COBELAS, M., 1993, Hypertrophic phytoplankton and the Intermediate Disturbance Hypothesis. *Hydrobiologia*, 249: 43-57.
- ROLAND, F., 1998, Produção fitoplanctônica em diferentes classes de tamanho nas lagoas Imboassica e Cabiúnas In: F. de A. Esteves (ed.), *Ecologia das lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*, NUPEM/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 159-175.
- ROSA, Z.M. & CALLEGARO V.L., 1988, Diatomáceas da Lagoa de Tramadaí e da Lagoa do Armazém, Rio Grande do Sul, Brasil: I – Gênero *Navicula* Bory. *Iheringia*, Sér. Botânica, (37): 17-32.
- ROSA, Z.M. & WERNER, V.R., 1993, Diatomáceas da Lagoa de Tramadaí e da Lagoa do Armazém, Rio Grande do Sul, Brasil: II – Gêneros *Gyrosigma* Hassall, *Pleurosigma* W.Smith e *Mastogloia* Thwaites. *Iheringia*, Sér. Botânica, (43): 67-87.

- ROSA, Z.M.; WERNER, V.R. & DACROCE, L., 1994, Diatomáceas da Lagoa de Tramadaí e da Lagoa do Armazém, Rio Grande do Sul, Brasil: III– Ordem Centrales. *Iheringia*, Sér. Botânica, (45): 29-55.
- ROTHHAUPT, K.O., 1990, Differences in particle size-dependent feeding efficiencies of closely related rotifer species. *Limnol. Oceanogr.* 35 (1): 16-23.
- SAGGIO, A. & OLIVEIRA-NETO, A.L., 2001, Dinâmica de lagoa polimíticas: comportamento hidrodinâmico 3D. In: *VIII Congresso Brasileiro de Limnologia*, João Pessoa, resumo p.51.
- SALOMONI, S.E., 1997, *Aspectos da limnologia e poluição das lagoas costeiras Marcelino, Peixoto e Pinguela (Osório, RS): Uma abordagem baseada no fitoplâncton*. Dissertação de mestrado, PPG ecologia/UFRGS, Porto Alegre, 141p.
- SCHWARZBOLD, A. & SCHÄFER, A., 1984, Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul - Brasil. *Amazoniana*, 9 (1): 87-104.
- SHARMA, R.V., EDWARDS, R.T. & BECKETT, R., 1998, Analysis of bacteria in aquatic environments using sedimentation field-flow fractionation: (I) biomass determination. *Wat. Res.* 32 (5): 1497-1507.
- SOMMER, U., PADISÁK, J., REYNOLDS, C.S. & JUHÁSZ-NAGY, P., 1993, Hutchinson's heritage: the diversity-disturbance relationship in phytoplankton. *Hydrobiologia*, 249: 1-7.
- SPRULES, W.G. & MUNAWAR, M., 1986, Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity, size, and perturbation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 1789-1794.
- SPRULES, W.G., 1988, Effects of trophic interactions on the shape of pelagic size spectra. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23: 234-240.
- SPRULES, W.G., CASSELMAN, J.M. & SHUTER, B.J., 1983, Size distribution of pelagic particles in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 1761-1769.
- TADONLÉKÉ, R.D., JUGNIA, L.B., SIME-NGANDO, T., ZÉBAZÉ, S. & NOLA, M., 1998, Short-term vertical distribution of phytoplankton populations in a shallow tropical lake (Lake Municipal, Yaoundé, Cameroon). *Arch. Hydrobiol.*, 143 (4): 469-485.
- TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A., 1991, Geologia do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 18 (1): 13-24.
- TOMAZELLI, L.J., 1993, O regime de ventos e a taxa e migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 20 (1): 18-26.
- TORGAN, L. C., 1997, *Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um ciclo anual*. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 284p.
- TORGAN, L.C., BECKER V. & RODRIGUES, S.C., 1998, Volume celular de espécies fitoplanctônicas da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências*, 6 (1): 183-186.
- TORGAN, T., ODEBRECHT, C. & NIENCHESKI, L.F.H., 2000, Variação espacial da estrutura de tamanho do fitoplâncton na Laguna dos Patos, sul do Brasil. *Atlântica*, 22: 95-111.
- TWOMBLY, S. & TISCH, N., 2000, Body size regulation in copepod crustaceans. *Oecologia*, 122: 318-326.
- VANNI, M.J., 1987, Effects of nutrients and zooplankton size on the structure of a phytoplankton community. *Ecology*, 68(3): 624-635.

- VÉLEZ, E., 1990, *Variação sazonal da produção primária, biomassa e composição do fitoplâncton da Lagoa Emboaba, Osório, RS*. Monografia de bacharelado, Inst. Biociências/UFRGS, Porto Alegre, 121p.
- VILLWOCK, J.A., 1984, Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, southern Brazil. A synthesis. *Pesquisas*, (16): 5-49.
- WATANABE, T., 1981, *Flutuação sazonal e distribuição espacial do nano e microfitoplâncton na represa do Lobo ("Broa"), São Carlos, SP*. Dissertação de mestrado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 158p.
- WERNER, V.R., 1988, Cianofíceas planctônicas da Lagoa de Tramandaí e da Lagoa do Armazém, Rio grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (37): 33-70.
- WÜRDIG, N.L., 1987, Alguns dados físicos e químicos do sistema lagunar de Tramandaí, RGS. *Pesquisas*, 20: 49-74.

## CAPÍTULO 1

### VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS HIDRODINÂMICAS NA LAGOA ITAPEVA, RS

#### RESUMO

A biomassa é uma importante variável em ecossistemas aquáticos, uma vez que esta representa a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica. Movimentos da água em zonas pelágicas são fortemente influenciados por mudanças meteorológicas, as quais promovem mudanças no plâncton. Este trabalho teve como objetivo principal verificar a variação espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva, RS, no período de dezembro de 1998 a agosto de 1999, e estabelecer relações desta biomassa com os fatores físicos que atuaram diretamente na lagoa. A Lagoa Itapeva (a primeira lagoa do sistema no sentido N→S) forma por si só a maior área de drenagem e captação de água no Sistema Lagunar de Tramandaí, com uma área total de 124,75 km<sup>2</sup> e um volume de 245,5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Foram escolhidos três pontos de amostragem (Ponto Norte, Ponto Centro e Ponto Sul) ao longo do eixo longitudinal da lagoa. As amostragens foram realizadas durante dois dias não consecutivos, em quatro turnos (6h, 10h, 14h e 18h) durante quatro campanhas sazonais. A coleta do material foi realizada através de garrafa horizontal de Van Dorn. A biomassa foi estimada através do biovolume. A Lagoa Itapeva apresentou uma biomassa muito elevada, oscilando de 12mg.L<sup>-1</sup> a 51 mg.L<sup>-1</sup> (valores médios nas campanhas). A Divisão Cyanophyta foi a responsável pelos elevados valores de biomassa observados nos pontos de amostragem. Este fato esteve relacionado principalmente à espécie *Anabaena circinalis*, que apresentou florações temporárias nas épocas de coleta, sendo a maior delas no outono, onde abrangeu toda a lagoa. Neste período, esta microalga apresentou quase que a totalidade da biomassa, registrando as médias mais altas nos pontos de amostragem. A biomassa foi a variável que melhor se relacionou com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento) pela ação dos quadrantes predominantes de direção de vento, que resultavam num *fetch* efetivo. Com isso, foi possível efetuar equações de regressão a fim de estimar a biomassa através destas variáveis físicas. De acordo com as análises estatísticas realizadas (Kolmogorov-Smirnov, regressão linear simples, correlação, análise de variância, análise de grupos/*cluster*) constatou-se que a relação causa-efeito do vento sobre a biomassa fitoplanctônica da Lagoa Itapeva pode ser indireta, removendo nutrientes da coluna d'água e até mesmo da camada superficial do sedimento. Os distúrbios intensos (provocados pelos

fortes ventos e *fetch* intenso nos pontos de amostragem) ou a falta deste (criando um ambiente estável) resultaram em florações de *Anabaena circinalis*, as quais proveram densa biomassa em todo o período da pesquisa.

## ABSTRACT

Biomass is a major variable in aquatic systems, since it represents the amount of energy stocked at a certain trophic level of the biological community. Water movements in pelagic zones are strongly influenced by weather (meteorological) changes, which promote changes in plankton. The main goal of this study was to look at the spatial-temporal variation of phytoplankton biomass in Itapeva Lake, RS, Brazil, during the period from December 1998 to August 1999, and to establish relations between this biomass and the physical factors acting directly on the Lake. Itapeva Lake (the first Lake in the system from North to South) in itself forms the largest water drainage and uptake area in the Tramandaí System, with a total area of 124.75 km<sup>2</sup>, and a volume of 245.5x10 m<sup>3</sup>. Three sampling points were chosen (North Point, Center Point and South Point) following the longitudinal axis of the Lake. Sampling was performed on two non-consecutive days, in four shifts (6h, 10h, 14h and 18h), during four seasonal campaigns. Material was collected with a horizontal Van Dorn bottle. The biomass was estimated by biovolume. The Itapeva Lake presented a high biomass, oscillating of 12mg.L<sup>-1</sup> the 51 mg.L<sup>-1</sup> (average values in the campaigns). The Cyanophyta Division was responsible for the high biomass values observed at the sampling points. This fact was related mainly to species *Anabaena circinalis*, which had temporary blooms at sampling times, the largest of them in autumn covering the whole Lake. During this period, the microalgae presented almost all of the biomass, recording the highest averages at the sampling points. The biomass was the variable that was most closely related to the dominant quadrants that resulting in effective fetch. Thus, it was possible to perform regression equations to estimate biomass using these physical variables. According to statistical analyses (Kolmogorov-Smirnov, simple linear regression, correlation, analysis of variance, groups/cluster) performed in this study we found that the cause-effect relationship of wind on the phytoplankton biomass on Itapeva Lake may be indirect, removing nutrients from the water column and even from the superficial sediment layer. The intense disturbances (provoked by the strong winds and intense fetch at the sampling points) or the lack of them (creating a stable environment), resulted in *Anabaena circinalis* blooms which provided a dense biomass throughout the research period.

## INTRODUÇÃO

A biomassa é uma importante variável em ecossistemas aquáticos, uma vez que esta representa a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica (Sharma et al., 1998, Gosselain et al., 2000). A biomassa fitoplanctônica pode ser estimada pela medida de peso seco, pela concentração de componentes químicos celulares (clorofila *a*, carbono e nitrogênio), bem como pelo cálculo do biovolume (Torgan et al., 1998). O cálculo do biovolume, por levar em conta as diferentes formas e tamanhos dos organismos, fornece uma informação taxonômica que os outros métodos não conseguem revelar. Por esta razão, o biovolume tem sido abordado em vários trabalhos (Edler, 1979; Bergquist et al., 1985; Makarewicz, 1987; Jeppesen et al., 1990; Billington, 1991; Carpenter et al. 1993; Mathes & Arndt, 1995; Arcifa et al., 1998; Carpentier et al., 1999; Cyr & Curtis, 1999 e Hillenbrand et al., 1999), inclusive no Brasil (Bergesch & Odebrecht, 1995; Bergesch & Odebrecht, 1997; Huszar e Reynolds, 1997; Torgan, 1997; Domingos & Menezes, 1998 e Torgan et al., 1998).

Análises detalhadas de populações fitoplanctônicas requerem uma estimativa de número de células e volume de cada espécie. O número de células muitas vezes não representa a verdadeira biomassa, pois há uma variação considerável no tamanho e na forma das células entre as espécies de algas. Este problema pode ser resolvido quando se efetua a multiplicação do número de células de cada espécie com a média do volume celular (= biovolume). O volume celular é estimado através de formas geométricas correspondentes ou simples combinações destas (Wetzel & Likens, 2000). Trabalhos foram realizados (Edler, 1979; Hillenbrand et al., 1999; Wetzel & Likens, 2000), a fim de discutir e apresentar propostas para espécies providas de formas complexas, como dinoflagelados e desmídias.

As dimensões das células de cada espécie podem variar muito de estação do ano para estação, ou de ambiente para ambiente. Assim, o volume celular se torna importante para cada alga, visando à caracterização de cada amostra (Wetzel & Likens, 2000).

Fazer uma estimativa da biomassa através do biovolume exhibe fatores positivos, tais como oferecer uma alta resolução taxonômica e ser um método barato e de fácil aplicação (Hillenbrand et al., 1999). Além disso, os produtos podem gerar subsídios para cálculos de carbono na comunidade.

Estudos têm reconhecido a hidrodinâmica como uma força que rege os ecossistemas aquáticos (Legendre & Demers, 1984). Movimentos da água em zonas pelágicas são fortemente influenciados por mudanças no tempo (meteorológicas), as quais promovem mudanças no plâncton. A boa compreensão das condições físicas do ambiente pode levar a um melhor entendimento da comunidade planctônica (Reynolds, 1994a). As lagoas costeiras

em geral exibem reduzidas profundidades máxima e relativa, sendo, portanto, ambientes altamente vulneráveis às oscilações dos fatores climáticos, em particular à ação dinâmica do vento (Panosso et al., 1998).

Embora a alga possa estar circundada por um meio viscoso, é mesmo improvável permanecer quase estacionária: enquanto a turbulência persiste, estas estão sempre sujeitas a serem deslocadas ou absorvidas dentro do movimento. Se as células afundam, flutuam ou se movimentam em relação às águas adjacentes, sua posição está constantemente sujeita ao reajuste (Reynolds, 1994b).

Este trabalho teve como objetivo de verificar a variação espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva, em campanhas sazonais, no período de dezembro de 1998 a agosto de 1999, e estabelecer relações desta biomassa com os fatores físicos (velocidade e direção de vento, nível d'água) que atuam diretamente na lagoa.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A Lagoa Itapeva, situada no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul (a primeira lagoa do sistema no sentido N→S) forma por si só a maior área de drenagem e captação de água no Sistema Lagunar de Tramandaí. A lagoa apresenta um formato alongado com uma profundidade máxima de 3,5 m e profundidade média de 2,23 m. (Schwarzbold & Schäfer, 1984). A área total da lagoa corresponde a 124,75 km<sup>2</sup> e um volume de 245,5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Lopardo, em preparação).

Foram escolhidos três locais de amostragem, ao longo da Lagoa Itapeva (Fig.1.1), alinhados de acordo com o eixo longitudinal e direção predominante de ventos na região (NE-SW): Ponto Norte (0615690E – 6747815N), Ponto Centro (0603350E – 6732254N) e Ponto Sul (0597474E – 6725967N). Em cada um destes pontos foi instalada uma torre que continha os seguintes equipamentos: linígrafo (datalogger IPH), régua linimétrica e estação meteorológica (DAVIS, Weather Wizard III, Weather Link). A régua linimétrica foi nivelada em relação a RN do IBGE (referência de nível) situado no entroncamento de Curumim-Terra de Areia na interpraia (RS-389).



Figura 1.1. Mapa de localização da área de estudo com os pontos de amostragem (Norte, Centro e Sul) na Lagoa Itapeva, situada no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. (modificado do Guia Praia 4 rodas, 1997)

O trabalho constou de quatro campanhas, abrangendo as quatro estações do ano, efetuadas nas seguintes datas:

⇒ 14 a 20 de dezembro de 1998- primavera (Dez/98)

⇒ 01 a 07 de março de 1999 – verão (Mar/99)

⇒ 20 a 26 de maio de 1999 – outono (Mai/99)

⇒ 13 a 19 de agosto de 1999 – inverno (Ago/99)

Os dados da estação meteorológica (temperatura do ar, °C; velocidade, m.s<sup>-1</sup>; direção de vento) e linígrafo (nível d'água, m), foram registrados nos sete dias consecutivos das campanhas sazonais, em intervalos curtos de tempo (30 e 15 minutos) (Cardoso, 2001). Os dados utilizados foram da torre amostral do ponto Centro.

Cardoso (2001) realizou o cálculo do *fetch* efetivo ( $L_f$  em km) e a altura da onda produzida no sistema, para cada ponto de amostragem na Lagoa Itapeva. Estes dados foram utilizados neste estudo a fim de verificar a interferência do *fetch* na variação espaço-temporal da biomassa.

A coleta de fitoplâncton teve uma frequência amostral de quatro vezes ao longo do dia (6h, 10h, 14h, 18h), durante dois dias com 24h de intervalo entre os dias de amostragens.

A coleta foi realizada na superfície da água, utilizando uma garrafa horizontal de Van Dorn de 2 L (Wetzel & Likens, 2000). Após o material foi fixado com Lugol (Sournia, 1978) e conservado em vidro âmbar.

A análise quantitativa foi realizada através de câmara de Sedwick-Rafter (APHA, 1992), em microscópio óptico Zeiss Jenaval, com oculares de 16x, sendo considerados o número de indivíduos e/ou células dos organismos com cromoplastos. Inicialmente as amostras foram concentradas de acordo com a quantidade de partículas em suspensão (quanto mais partículas em suspensão menos concentrada a amostra).

A análise de densidade (indivíduos.mL<sup>-1</sup> e células.mL<sup>-1</sup>) foi estimada utilizando a seguinte fórmula (APHA, 1992):

$$N^{\circ}.\text{mL}^{-1} = \frac{(C \times 1000)}{(A \times D \times F)} \quad (\text{unidade registrada: Ind.mL}^{-1} \text{ ou c\u00e9ls.mL}^{-1})$$

Onde:

C= número de organismos (e/ou células) contados;

A= área do campo (mm<sup>2</sup>);

D= profundidade do campo (mm);

F= número de campos contados.

Considerando-se o tempo que é consumido em cada quantificação e o número de amostras coletadas, adotou-se uma eficiência mínima de 80%. A eficiência é a probabilidade

que um número necessário de indivíduos seja contado. A eficiência máxima em contagem significa que a probabilidade de uma nova espécie a ser encontrada é mínima (Pappas & Stoermer, 1996).

A eficiência foi estimada utilizando a seguinte fórmula (Pappas & Stoermer, 1996):

$$\text{Eficiência (\%)} = 1 - \left[ \frac{\text{número de espécies}}{\text{número de indivíduos}} \right] \times 100$$

A análise qualitativa do material foi também realizada ao microscópio óptico Zeiss Jenaval, com oculares de 16x, identificando, em nível específico sempre que possível. Para as diatomáceas foi realizada a preparação de lâminas permanentes (Ferrario et al., 1995), tendo sido montadas com Entellan (Índice de refração 1,49-1,50) após a oxidação do material. Para essa oxidação empregou-se a técnica de Simonsen (1974).

A abundância e dominância das espécies foram estabelecidas segundo os critérios propostos por Lobo & Leighton (1986), em que as espécies abundantes foram aquelas que ocorreram acima do valor médio obtido, dividindo-se a densidade total pelo número de espécies da amostra; e as espécies dominantes aquelas que estiveram presentes em densidades superiores a 50% da densidade total das espécies da amostra.

Fotomicrografias foram realizadas para o registro e auxílio na identificação, a partir de lâminas semipermanentes (montadas com glicerina líquida) ou permanentes, através de câmara Zeiss, em microscópios Zeiss, modelos Axioplan e Axioscop.

A identificação do fitoplâncton foi efetuada com base nas seguintes bibliografias:

Para **Cyanophyta**, as obras de Geitler (1932); Desikachary (1959); Campos & Senna (1988); Komárek & Kling (1991), Komárková-Legnerová & Cronberg (1992), Torgan (1997). Para **Chlorophyta**, os trabalhos de Komárek & Fott (1983) e Franceschini (1992). Para **Bacillariophyta**, Torgan & Aguiar (1978); Germain (1981); Torgan (1985); Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991), Callegaro et al.(1993), Costa (1995); Torgan (1997). Para **Cryptophyta**, as obras de Huber-Pestalozzi (1968) e Torgan (1997). Para as **Euglenophyta**, a obra de Bourrelly (1970), para **Crysochyta**, Bourrelly (1968) e para **Dinophyta**, a obra de Schiller (1937).

A nomenclatura das diatomáceas foi atualizada conforme Torgan et al. (1999).

O biovolume ( $\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ ) assumiu a unidade de peso úmido sendo expresso em massa, onde  $1\text{mm}^3 \text{L}^{-1} = 1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (Wetzel & Likens, 2000). Assim, a biomassa foi estimada multiplicando-se as densidades de cada espécie pelo volume médio de suas células ou colônias (quando estas apresentavam ausência de espaços intercelulares) considerando, sempre que possível, as dimensões médias de cerca de 20 indivíduos, para cada amostra

(Torgan, 1997). Os volumes celulares foram calculados com base nas formas geométricas apresentadas por Edler (1979), Hillenbrand et al. (1999) e Wetzel & Likens (2000).

Inicialmente os dados foram testado para verificação de distribuição normal através do teste de distribuição normal de *Kolmogorov-Smirnov* (Zar, 1974), seguido pela análise de variância (ANOVA “one way”), aplicando o teste de *Tukey*, procurando verificar a diferença significativa entre os fatores (estação do ano, ponto, dia e hora de amostragem, e as Divisões Cyanophyta e Bacillariophyta -divisões de maior expressão em densidade e biomassa neste estudo). A análise procurou verificar a existência ou não de variabilidade espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica. Também se efetuou análise descritiva e de correlação de Pearson, em uma  $p < 0,05$ .

Para a determinação do efeito potencial dos fatores físicos (velocidade de vento e nível d'água) sobre a biomassa algal efetuaram-se análises de regressão linear simples (Zar, 1974). Esta análise permitiu verificar a relação funcional de uma variável para a outra, o quanto os fatores físicos afetam a biomassa algal na Lagoa Itapeva.

Análises de agrupamento (Cluster) foram efetuadas através do software PC-ORD<sup>®</sup>-versão 4.0 (McCune & Mefford, 1999), utilizando distância euclidiana, através de ligação completa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Variação Espaço-Temporal da Biomassa Fitoplanctônica

As contribuições relativa das divisões taxonômicas para a biomassa total do fitoplâncton estão apresentadas na Fig. 1.2. As contribuições de cada uma das divisões foram diferenciadas nos dois dias de coleta de cada campanha sazonal.

A Divisão Cyanophyta teve a maior contribuição de biomassa em todas as estações do ano estudadas, principalmente devido à presença de *Anabaena circinalis* Rabenhorst ex Bonet & Flahault, que apresentou florações nas épocas de amostragem, sendo a maior delas no outono, onde abrangeu os três pontos de amostragem na lagoa. Além disso, espécies de cianobactérias, como *Anabaena spiroides*, *Aphanocapsa delicatissima*, *Cyanodiction imperfectum* e *Planktolyngbya limnetica*, colaboraram bastante para a biomassa, devido a sua presença constante em todas as campanhas de amostragem.

A biomassa teve seus picos nas florações de *Anabaena circinalis*, onde *A. spiroides* e *Cyanodiction imperfectum* foram espécies acompanhantes em alta densidade. Nestes picos, as cianobactérias apresentaram  $84,31 \text{ mg.L}^{-1}$  (sendo  $64,55 \text{ mg.L}^{-1}$  de biomassa de *Anabaena circinalis* com  $148,5 \times 10^3 \text{ céls.mL}^{-1}$ ) no ponto Sul, no dia 23 Mai/99 (na campanha de outono), e  $84,43 \text{ mg.L}^{-1}$  (sendo  $64,90 \text{ mg.L}^{-1}$  de *A. circinalis* com  $121,5 \times 10^3 \text{ céls.mL}^{-1}$ ) no ponto Norte,

no dia 18 Ago/99 (na campanha de inverno), o que representou em biomassa relativa nestes pontos de amostragem, 99,6% e 99,4%, respectivamente (Figs. 1.3 e 1.4).

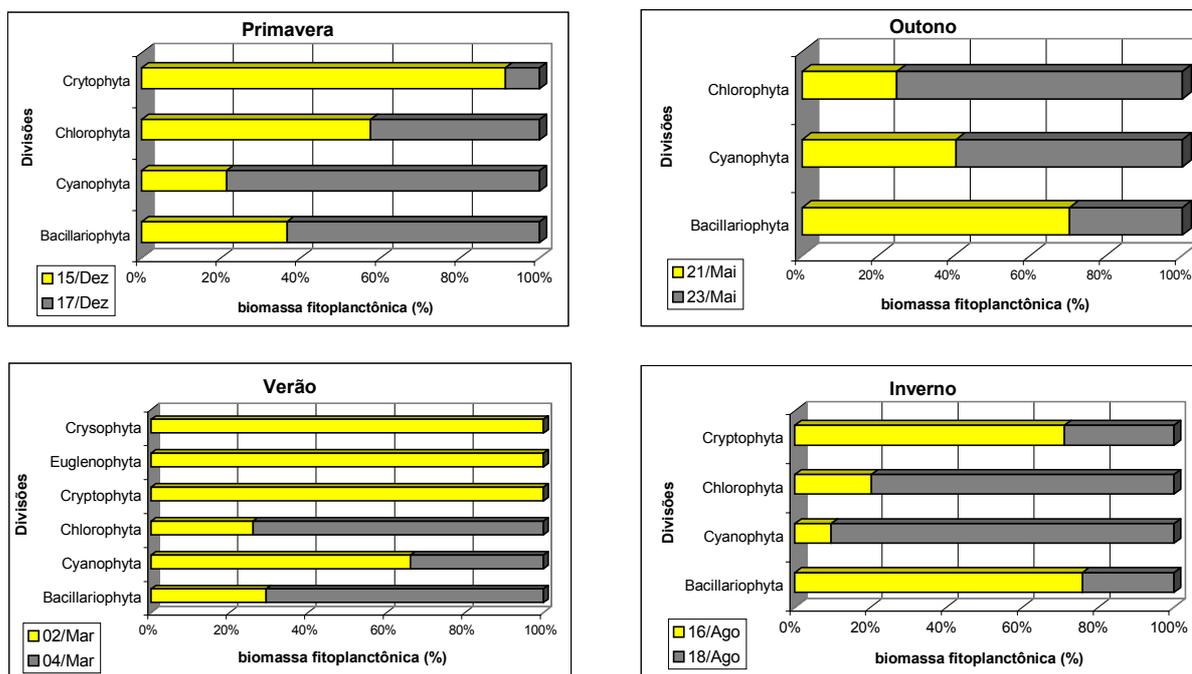


Figura 1.2. Distribuição relativa (%) da biomassa das divisões taxonômicas fitoplanctônicas nas campanhas sazonais, nos respectivos dias de amostragem na Lagoa Itapeva, RS.

A biomassa total apresentou seus menores valores no primeiro dia de amostragem da primavera, 15 Dez/98, no ponto Sul, numa média de  $3,75 \text{ mg.L}^{-1}$  e no primeiro dia do inverno, 16 de agosto, no ponto Centro, com uma média de  $3,54 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figs. 1.3 e 1.4).

A Lagoa Itapeva teve uma biomassa muito elevada (Tabela 1.1), quando comparada com outros ambientes, apresentando os valores médios das campanhas sazonais entre  $12 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $51 \text{ mg.L}^{-1}$ . A Laguna dos Patos/RS, que teve seus valores entre  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $15,76 \text{ mg.L}^{-1}$  (Torgan, 1997), e o Lago Batata/AM, onde o maior valor de biomassa foi de  $16 \text{ mg.L}^{-1}$  durante o período de águas baixas (Huszar & Reynolds, 1997). A Lagoa Saquarema, uma lagoa costeira do Rio de Janeiro, teve a biomassa um pouco mais elevada, entre  $3,2 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $35,5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nesta lagoa, as cianobactérias tiveram dominância em quase todo o período do ciclo anual, principalmente devido à espécie nanoplactônica *Synechocystis aquatilis* Sauvageau f. *salina* (Wislouch) Komárek (Domingos, 1991). Huszar et al. (2000) realizaram um estudo de assembléias de cianobactérias em diferentes ambientes de água doce da região tropical do Brasil, e verificou uma média da biomassa fitoplanctônica variando entre  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  (reservatório Poço da Cruz/PE) e  $75 \text{ mg.L}^{-1}$  (reservatório Algodões/PE). Os picos de biomassa registrados nestes reservatórios do nordeste brasileiro foram causados pela dominância das cianobactérias portadoras de heterócitos, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolozynska)

Seenayya *et Subba Raju*, em Poço da Cruz, e *C. phillippinensis/C. catemaco* Kormárková-Legnerová & Tavera, em Algodões, PE.

A dominância de cianobactérias pode ser explicada com base em algumas estratégias adaptativas que estes organismos apresentam. Assim, a presença de aerótopos permite que as células regulem a sua flutuação em resposta à disponibilidade de luz e nutrientes (Klemer & Konopka, 1989 *apud* Sant’Anna *et al.*, 1997).

Cianobactérias são freqüentemente associadas com condições eutróficas, mas são muito importantes em águas oligo e mesotróficas (Huszar & Caraco, 1998, *apud* Huszar *et al.*, 2000). Florações de *A. circinalis* foram citadas como comuns em algumas lagoas do litoral sul-riograndense (Kleerekoper, 1990), indicando que se trata de um fenômeno natural e característico do sistema.

Tabela 1.1. Distribuição da biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) da comunidade fitoplanctônica nos pontos de amostragem nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, RS.

|               | Primavera (Dez/98) |       |        |      | Verão (Mar/99)   |       |        |     |
|---------------|--------------------|-------|--------|------|------------------|-------|--------|-----|
|               | campanha           | Norte | Centro | Sul  | campanha         | Norte | Centro | Sul |
| n             | 22                 | 8     | 6      | 8    | 24               | 8     | 8      | 8   |
| média         | 12                 | 22    | 7      | 5    | 22               | 24    | 18     | 23  |
| soma          | 256                | 175   | 41     | 40   | 521              | 196   | 142    | 183 |
| mínimo        | 1                  | 2     | 1      | 3    | 6                | 8     | 9      | 6   |
| máximo        | 126                | 126   | 10     | 10   | 69               | 64    | 26     | 69  |
| variância     | 662                | 1777  | 14     | 7    | 292              | 388   | 45     | 497 |
| desvio padrão | 26                 | 42    | 4      | 3    | 17               | 20    | 7      | 22  |
|               | Outono (Mai/99)    |       |        |      | Inverno (Ago/99) |       |        |     |
|               | campanha           | Norte | Centro | Sul  | campanha         | Norte | Centro | Sul |
| n             | 24                 | 8     | 8      | 8    | 24               | 8     | 8      | 8   |
| média         | 51                 | 43    | 39     | 71   | 22               | 46    | 11     | 9   |
| soma          | 1221               | 341   | 309    | 571  | 530              | 368   | 91     | 71  |
| mínimo        | 6                  | 13    | 6      | 24   | 2                | 6     | 2      | 5   |
| máximo        | 132                | 78    | 102    | 132  | 102              | 102   | 32     | 23  |
| variância     | 1035               | 507   | 957    | 1208 | 925              | 1883  | 140    | 33  |
| desvio padrão | 32                 | 23    | 31     | 35   | 30               | 43    | 12     | 6   |

Contudo, o crescimento de populações planctônicas não depende da simultânea quantidade de nutrientes e proporções destes na água do lago, em vez disso, é determinado pelo “status” do nutriente do sedimento e condições físicas que afetam a germinação (Padisák & Dokulil, 1994). Por sua vez, a dominância de longa-duração de cianobactérias é usualmente causada por uma multiplicidade de fatores. Concentração de nutrientes, morfologia de lagos, temperatura d’água, disponibilidade de luz, condições de mistura e estrutura da cadeia alimentar são os fatores mais importantes (Dokulil & Teubner, 2000).

De acordo com os trabalhos de Reynolds (1988, 1997) (*apud* Huzsar & Caraco, 1998), as estratégias do fitoplâncton são divididas pela morfologia-funcional. Assim, por este critério as espécies *Anabaena circinalis* e *Anabaena spiroides* integrariam o grupo S-estrategista, o qual indica espécies tolerante ao estresse. Integram este grupo colônias grandes formadas por pequenas células (ex. *Microcystis*) e filamentos com estruturas secundárias, como é o caso de *Anabaena* spp. Esses organismos possuem um crescimento lento, e baixa relação superfície/volume, podendo dominar o ambiente em condições de alta luminosidade e baixa concentração de nutrientes (Huzsar & Caraco, 1998).

As cianofíceas são caracteristicamente tolerantes a amplas faixas de variação ambiental, além de mais tolerantes à poluição. Há ainda outras vantagens desse grupo como a capacidade de regular a flutuação (através de vacúolos de gás, denominados “aerótopos”), fixação de nitrogênio atmosférico e baixo valor alimentar para o zooplâncton, que as livra de problemas de sedimentação rápida, limitação por nitrogênio e herbivoria, respectivamente (Shapiro, 197e *apud* Domingos, 1991; Lewis, 1976).

Embora seja fato que o desenvolvimento de florações esteja vinculado a uma estabilização/estratificação da coluna d’água, parece existir um mecanismo maior que governa a sua disseminação em determinados períodos do ano. No caso da floração de *Anabaena circinalis*, durante o outono na Lagoa Itapeva, a velocidade de vento era elevada no início da campanha (Tabela 1.2), voltando a oscilar entre os dias da coleta. Esta não chegou a ser suficiente para romper a floração, que já estava estabelecida, mas pode ter atuado no suprimento de nutrientes para que as células mantivessem o crescimento e desenvolvimento (Cardoso, 2001).

Observando detalhadamente a distribuição da biomassa fitoplanctônica nos pontos de amostragem, em cada estação do ano (Tabela 1.1), foram identificadas algumas tendências. A média no verão (mar/99), apresentou uma maior homogeneidade entre os pontos, em relação às outras campanhas. No verão a direção do vento foi a mais constante entre todas as campanhas sazonais, caracteristicamente do quadrante NE (pequena oscilação NNE-ENE), com a maior velocidade do vento no final do dia, uma média de  $8,0 \text{ m.s}^{-1}$  às 14h e  $6,7 \text{ m.s}^{-1}$  às 18h (Cardoso, 2001). Nas campanhas de primavera (dez/98) e inverno (ago/99), a comunidade apresentou o mesmo comportamento, com uma maior média no ponto Norte (devido a maior densidade de cianobactérias) tendendo a uma homogeneização dos pontos Centro e Sul. A posição isolada do ponto Norte, estando protegido no lado oeste pela Serra Geral, aliado ao estrangulamento maior da lagoa no eixo longitudinal, produz um ambiente mais protegido de correntes superficiais, portanto mais propenso ao desenvolvimento de florações, principalmente de cianobactérias portadoras de aerótopos, como o caso de *Anabaena*

*circinalis* (Cardoso, 2001). No outono (Mai/99), quando ocorreu a floração de *A. circinalis* abrangendo toda a Lagoa Itapeva, foi a campanha que registrou as maiores médias de biomassa, isto devido à alta densidade e principalmente devido às grandes colônias filamentosas desta cianobactéria.

Outra tendência que se deve levar em conta, é o aumento da densidade de diatomáceas no ponto Centro (Figs. 1.3 e 1.4). Este ponto é diretamente influenciado pelo deságüe do Rio Três Forquilhas na Lagoa Itapeva, contribuindo com uma flora de diatomáceas típicas de ambientes lóticos. Quando ocorre uma frequência de direção de vento W, esta influência se intensifica. Verificou-se também gradientes espaciais através de biomassa nos pontos de amostragem. Há um gradiente decrescente no sentido N→S na primavera e no inverno, e um gradiente decrescente do ponto Norte ao ponto Centro e crescente do Centro para o Sul, no verão e no outono (Tabela 1.1).

Durante o estudo verificou-se que apesar das densidades altas de algumas espécies de diatomáceas (*Aulacoseira granulata* e *A. distans*), as cadeias de células destas espécies eram pequenas em relação às grandes colônias das cianobactérias abundantes como, *Anabaena circinalis*, *A. spiroides* e *Cyanodiction imperfectum*. Esta tendência resultou na dominância das cianofíceas, em relação à biomassa total do fitoplâncton da Lagoa Itapeva.

Na primavera, no primeiro dia de amostragem (15 Dez/98), Cyanophyta teve 74,3% da biomassa, seguido de Bacillariophyta, com 25,1%, Chlorophyta com 0,6% e Cryptophyta com 0,1%. A Divisão Cyanophyta apresentou 4,72 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Norte, 4,49 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Centro e 2,78 mg.L<sup>-1</sup> no Sul (Fig. 1.3), representando respectivamente 84,4%, 66,2% e 74,3% da biomassa total neste dia (Fig. 1.4). Na mesma data, Bacillariophyta apresentou 0,86 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Norte, 2,25 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Centro e 0,93 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Sul (Fig. 1.3), representando respectivamente, 15,4%, 33,2% e 24,9% da biomassa total nos pontos neste dia (Fig. 1.4). As espécies abundantes, *Aulacoseira granulata* e *A. distans*, embora tivessem apresentado altas densidades (Figs. 1.5 e 1.7), apresentaram baixa biomassa (Figs. 1.5, 1.6 e 1.7).

Já a espécie, também abundante, *Cyanodiction imperfectum*, apresentou maior biomassa devido ao grande número de células nas suas colônias, nos pontos Norte e Sul. (Figs. 1.5, 1.6 e 1.7).

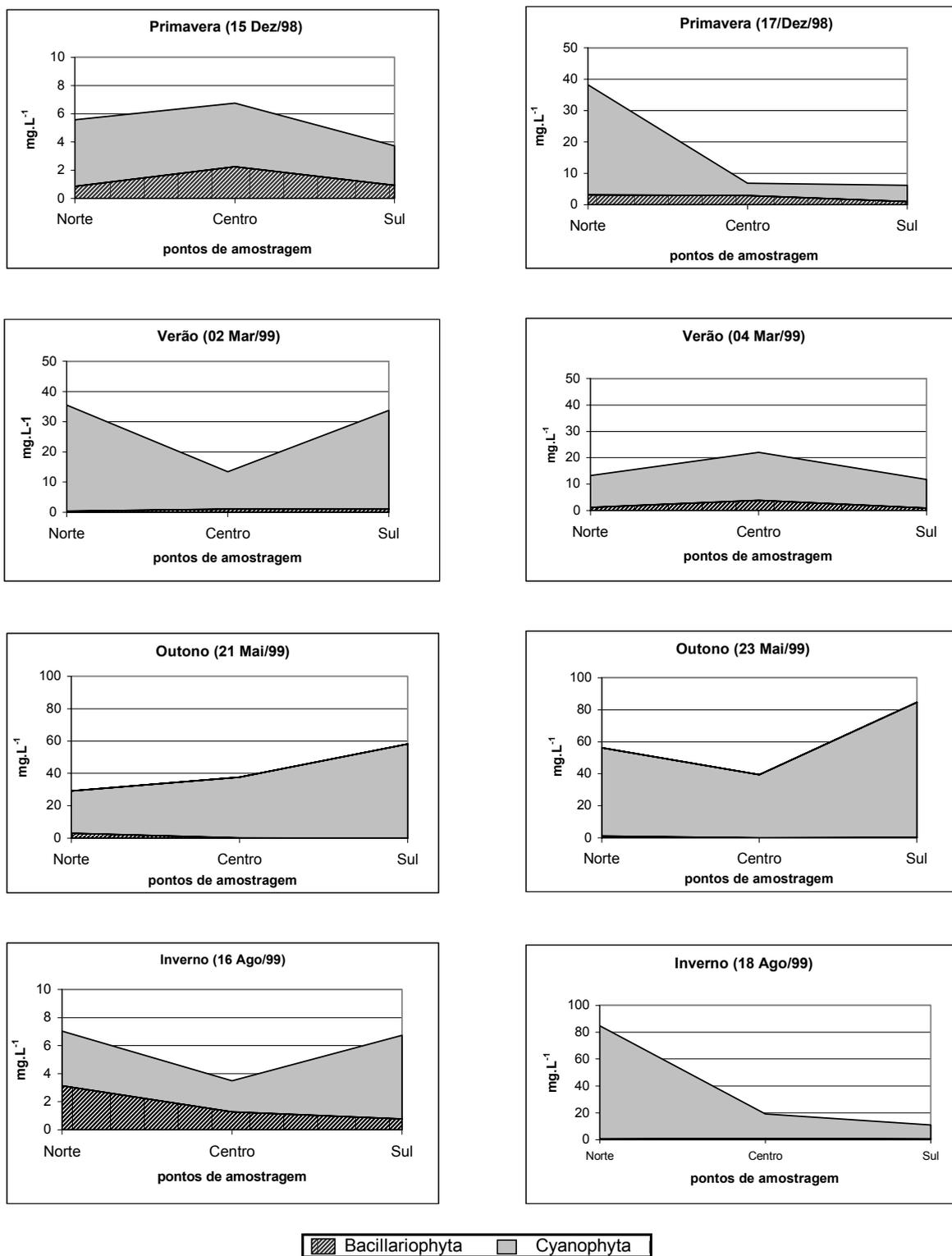


Figura 1.3. Variação espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), quanto às divisões Cyanophyta e Bacillariophyta, nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, RS.

OBS: As divisões Chlorophyta, Cryptophyta e Crysophyta estão presentes na análise, mas como apresentam baixa biomassa não aparecem na figura.

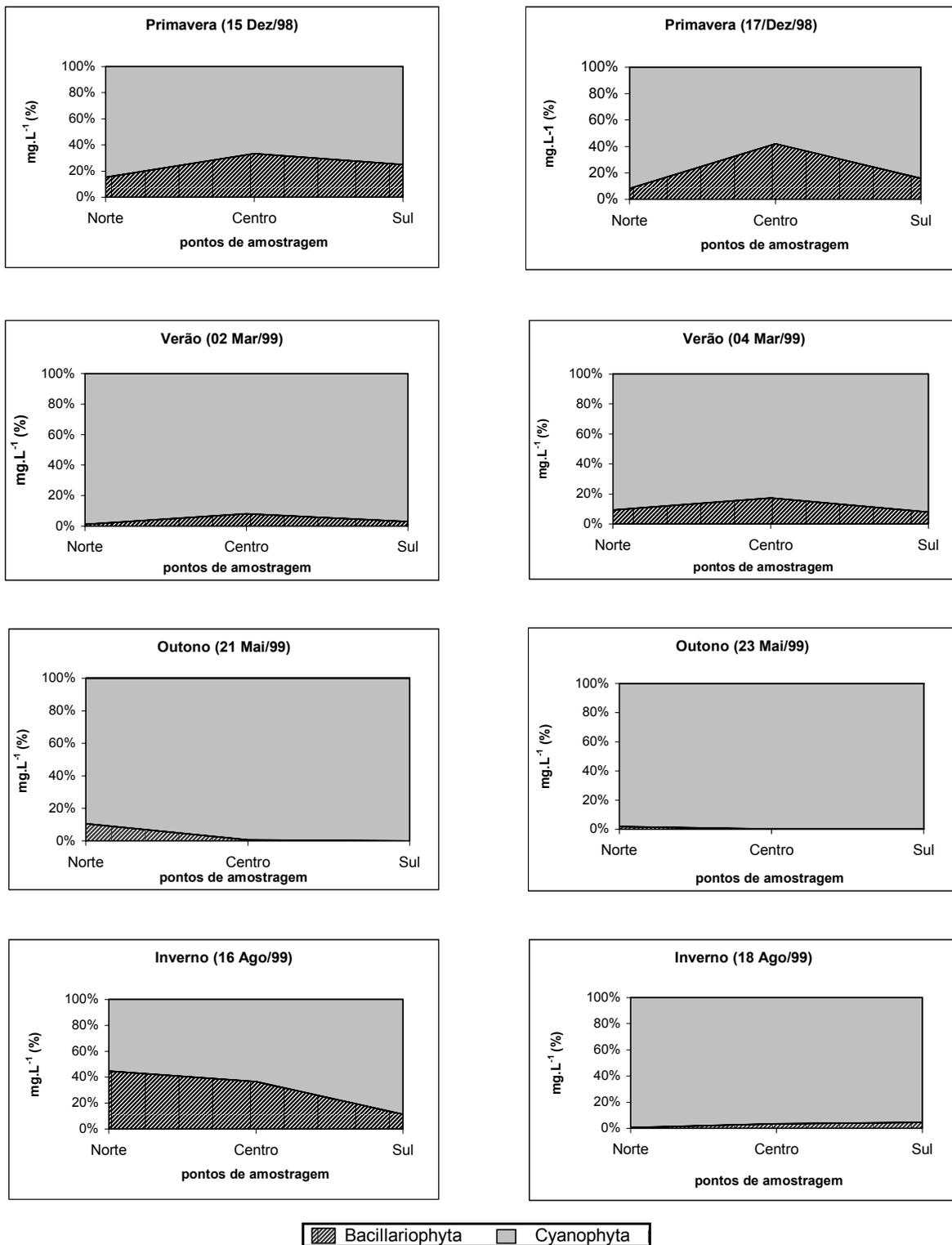


Figura 1.4. Variação espaço-temporal da biomassa relativa do fitoplâncton (%), quanto às divisões Cyanophyta e Bacillariophyta, nas campanhas na Lagoa Itapeva, RS.

OBS: As divisões Chlorophyta, Cryptophyta e Crysophyta estão presentes na análise, mas como apresentam baixa biomassa não aparecem na figura.

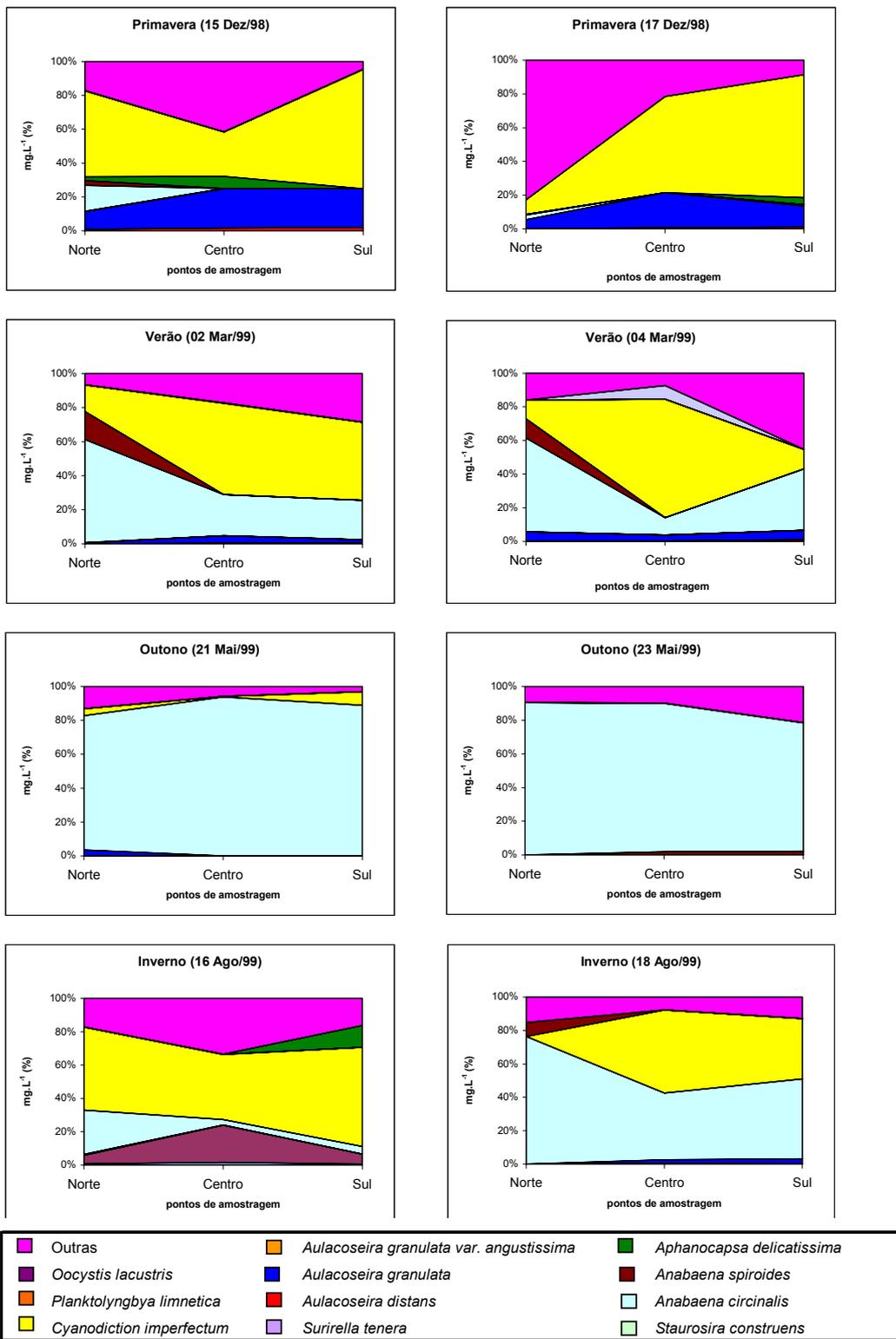


Figura 1.5. Densidade relativa (%) das espécies abundantes e dominantes em relação às outras espécies, nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, RS. (Primavera= Dez/98; Verão=Mar/99; Outono= Mai/99; Inverno= Ago/99)

No segundo dia de amostragem da campanha da primavera (17 Dez/98), Cyanophyta, representou 86,2% da biomassa fitoplanctônica, seguido de Bacillariophyta, 13,7% e Chlorophyta, 0,1%. No ponto Norte, a biomassa das cianobactérias chegou a 35,03 mg.L<sup>-1</sup>, com 3,98 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Centro e 5,24 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Sul (Fig. 1.3), representando respectivamente 91,7%, 57,5% e 84,1% da biomassa total nos pontos neste dia de amostragem (Fig. 1.4). Apesar das espécies de cianobactérias, *Anabaena circinalis*, *A. spiroides* e *Cyanoduction imperfectum* terem sido abundantes no Ponto Norte (Figs. 1.5 e 1.6), *Microcystis aeruginosa* foi a espécie que colaborou com 85% da biomassa neste ponto (Fig. 1.6), com 29,80 mg.L<sup>-1</sup>, devido a uma densidade elevada de 87 Ind.mL<sup>-1</sup>, resultando em 2.832 céls.mL<sup>-1</sup>. As diatomáceas tiveram 3,15 mg.L<sup>-1</sup> no ponto Norte, 2,90 mg.L<sup>-1</sup> no Centro, e 0,99 mg.L<sup>-1</sup> no Sul (Fig. 1.3), sendo respectivamente, 8,2%, 41,9% e 15,8% da biomassa total, nos pontos de amostragem neste dia (Fig. 1.4). As diatomáceas abundantes, *Aulacoseira distans* e *A. granulata* tiveram um crescimento em densidade no sentido Norte→Sul da Lagoa (Fig. 1.5). Em relação à biomassa de *A. granulata*, verificou-se um aumento no ponto Centro no sentido Norte→Sul da lagoa, devido ao efeito do deságüe do Rio Três Forquilhas, que é intensificado pelo vento W, o qual oscilou neste dia de amostragem (Figs. 1.5 e 1.6, Tabela 1.2).

Através da Análise de variância (ANOVA “one way”), não se verificou variação espaço-temporal para as Divisões Cyanophyta e Bacillariophyta. Este fato provavelmente se deve a grande amplitude na direção dos ventos na primavera, que causou uma turbulência constante no sistema, homogeneizando a coluna d’água e os pontos na lagoa.

No primeiro dia de amostragem do verão (02 Mar/99), as cianobactérias obtiveram 96,8% da biomassa fitoplanctônica total, seguida pelas diatomáceas, com 3%. As divisões, Chlorophyta, Cryptophyta, Euglenophyta e Crysophyta, apareceram nas amostras, mas com muita pouca expressão em biomassa, <0,1% cada. Em relação aos pontos de amostragem, a Divisão Cyanophyta representou quase que a totalidade da biomassa no ponto Norte (98,7% com 35,12 mg.L<sup>-1</sup>), no Centro (91,7% com 12,35 mg.L<sup>-1</sup>) e no Sul (96,8% com 32,76 mg.L<sup>-1</sup>) (Figs. 1.3 e 1.4).

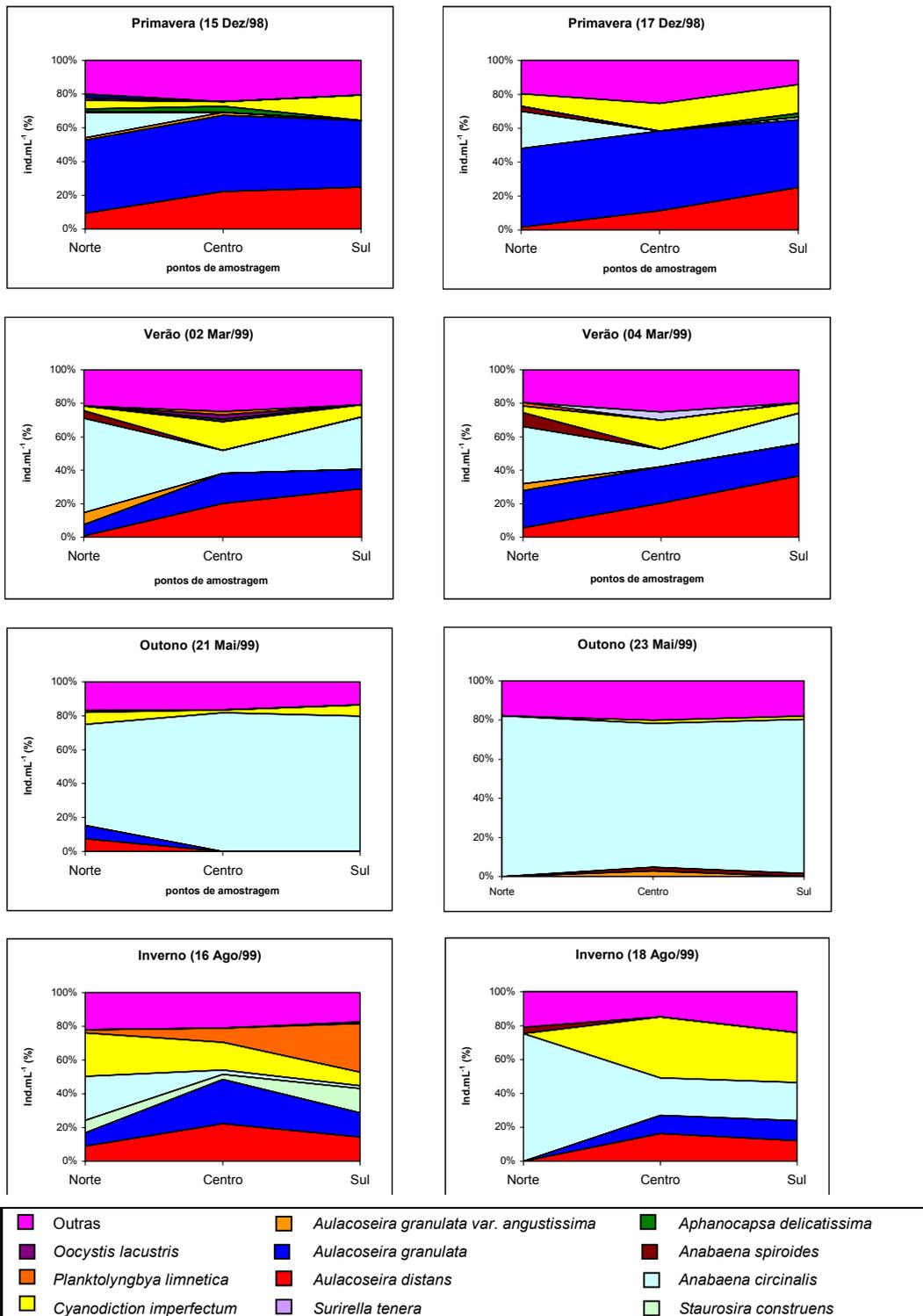


Figura 1.6. Biomassa fitoplânctônica relativa (%) das espécies abundantes e dominantes em relação às outras espécies, nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, RS. (Primavera= Dez/98; Verão=Mar/99; Outono= Mai/99; Inverno= Ago/99)

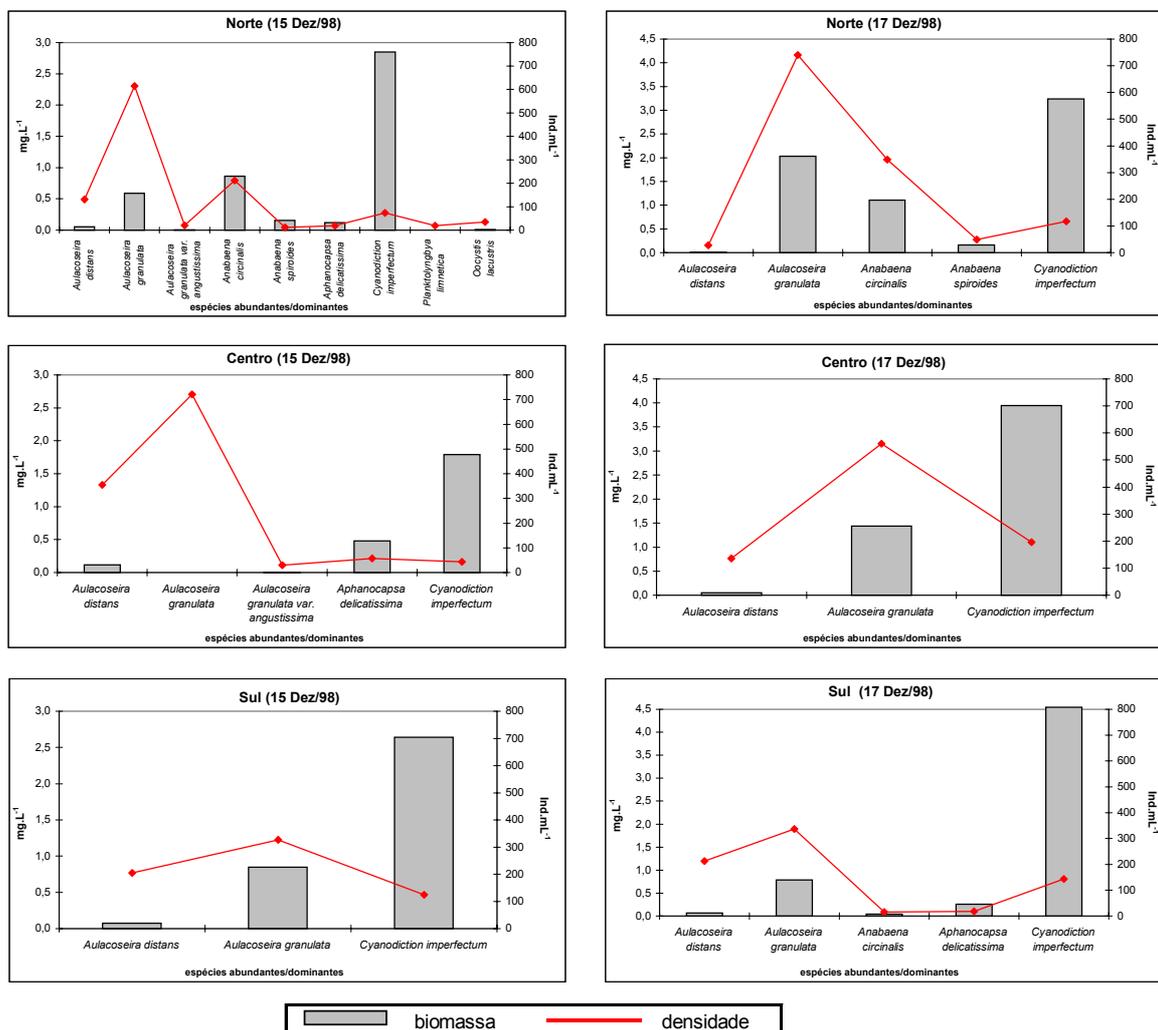


Figura 1.7. Biomassa (mg.L<sup>-1</sup>) e densidade (Ind.mL<sup>-1</sup>) fitoplanctônicas das espécies abundantes e dominantes na primavera (Dez/98) na Lagoa Itapeva, RS.

*Anabaena circinalis*, foi a espécie responsável por este pico de biomassa no ponto Norte, sendo nos turnos das 10h e 18h considerada espécie dominante com 2.150 Ind.mL<sup>-1</sup> e 1.400 Ind.mL<sup>-1</sup>, respectivamente (Figs. 1.5, 1.6 e 1.8). As espécies *Anabaena spiroides* e *Cyanodiction imperfectum* também colaboraram para este alto índice de biomassa (Figs. 1.6 e 1.8). Já nos pontos Centro e Sul, a espécie abundante *Cyanodiction imperfectum* apresentou uma maior biomassa, devido ao maior tamanho de suas colônias (Figs. 1.6 e 1.8). Quanto às diatomáceas, estas representaram 1,1% da biomassa total no ponto Norte (0,38 mg.L<sup>-1</sup>), 8,1% no Centro (1,09 mg.L<sup>-1</sup>) e 3,1% no Sul (1,04 mg.L<sup>-1</sup>) (Figs. 1.3 e 1.4). As diatomáceas abundantes, *Aulacoseira distans* e *A. granulata*, tiveram um crescimento da densidade no

sentido N→S, mas com menor expressão em termos de biomassa devido às pequenas cadeias de células (Figs. 1.5, 1.6 e 1.8).

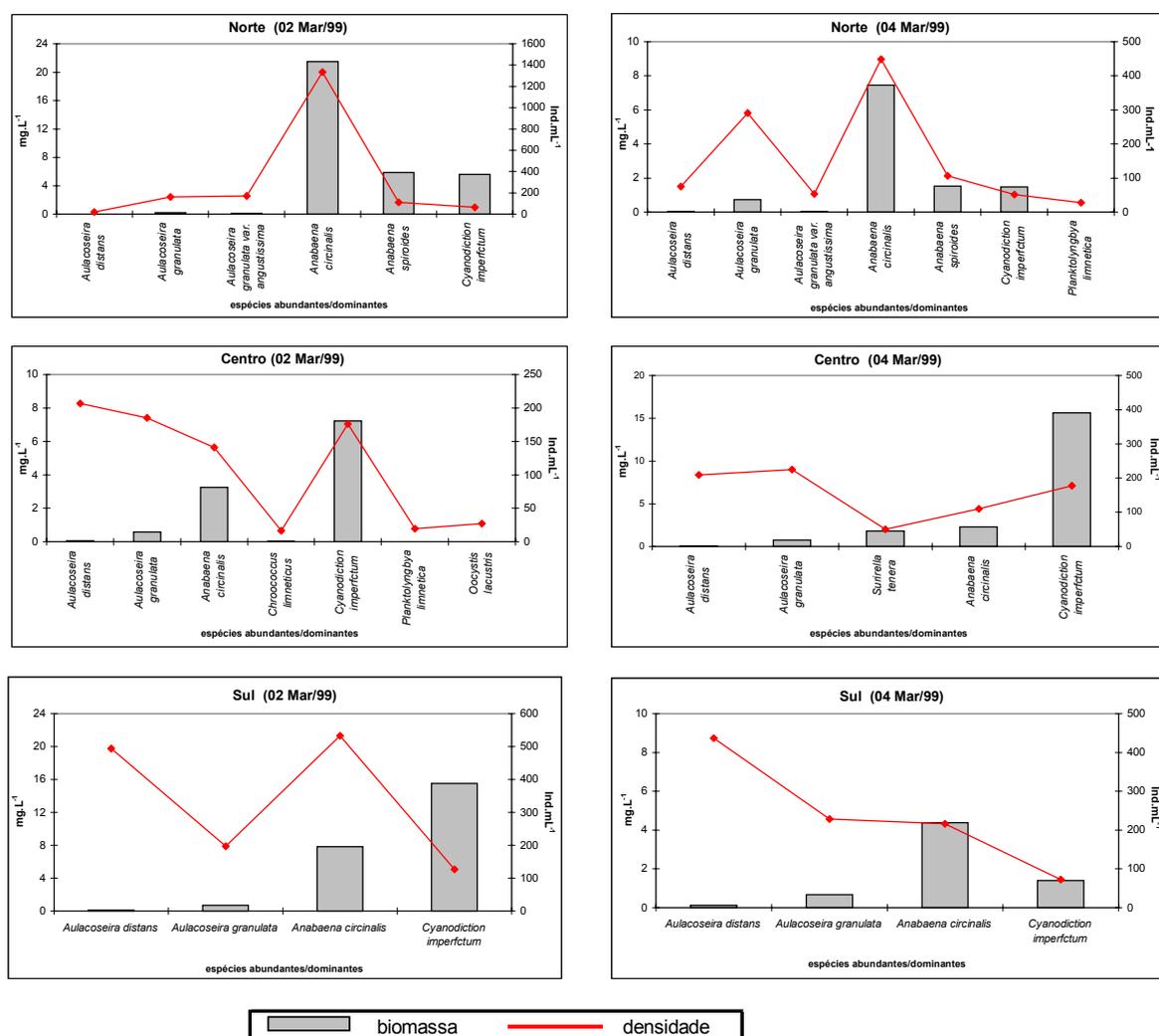


Figura 1.8. Biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ) fitoplanctônicas das espécies abundantes e dominantes no verão (Mar/99) na Lagoa Itapeva, RS.

No segundo dia de coleta (04 Mar/99) as cianobactérias continuaram com a maior porcentagem de biomassa fitoplanctônica (86,7%) apesar de ter diminuído em relação ao primeiro dia de campanha. No ponto Norte, as cianobactérias representaram 90,4 % da biomassa, (12,03  $\text{mg.L}^{-1}$ ), 82,5% no Centro (18,26  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e 90,5 % no Sul (10,84  $\text{mg.L}^{-1}$ ) (Figs. 1.3 e 1.4). As diatomáceas tiveram uma maior expressão neste segundo dia de amostragem, representando 9,4% da biomassa total no ponto Norte, com 1,26  $\text{mg.L}^{-1}$ , 17,4% no ponto Centro, com 3,85  $\text{mg.L}^{-1}$  e 7,8 % no Sul, com 0,94  $\text{mg.L}^{-1}$  (Figs. 1.3 e 1.4). Em relação às espécies abundantes, no ponto Norte destaca-se novamente a densidade e biomassa de *Anabaena circinalis*, apesar da alta densidade de *Aulacoseira granulata* (Figs. 1.5, 1.6 e 1.8). No Centro, *Cyanodictyon imperfectum* apresentou uma densidade maior que *A. circinalis* e teve uma alta expressão em biomassa (Figs. 1.5, 1.6 e 1.8). Apesar da alta densidade de

*Aulacoseira distans*, no ponto Sul a espécie *Anabaena circinalis* apresentou maior biomassa devido aos grandes tricomas de células (Fig. 1.5, 1.6 e 1.8).

Para a Divisão Bacillariophyta ficou evidente a variação espacial ( $p=0,03$ ) através da análise ANOVA (“one way”). Aplicando o teste de Tukey verificou-se que o ponto Norte apresentou uma diferença significativa com o ponto Centro ( $p=0,04$ ). Além disso, esta Divisão apresentou variância nos dias de amostragem ( $p=0,04$ ).

A Divisão Cyanophyta não apresentou variação espaço-temporal, revelando novamente a homogeneização na Lagoa Itapeva.

No outono ocorreu a floração mais intensa de *Anabaena circinalis* abrangendo toda a extensão da Lagoa Itapeva, apresentando as maiores médias de biomassa deste estudo (Tabela 1.1). Devido a este fato, as cianobactérias foram dominante em todos os turnos e nos três pontos de amostragem, com exceção do primeiro dia da campanha (21 Mai/99), no Norte, às 6h e 10h, onde foi somente abundante. No primeiro dia de coleta, Cyanophyta representou 97,3% da biomassa total, seguido por Bacillariophyta com 2,7%. As cianobactérias representaram 89,3% no ponto Norte ( $25,99 \text{ mg.L}^{-1}$ ), 99,4% no ponto Centro ( $37,52 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 99,9% no Sul ( $58,06 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Figs. 1.3 e 1.4). No segundo dia de coleta (23 Mai/99) as cianobactérias representaram 98,2% da biomassa total no ponto Norte ( $55,08 \text{ mg.L}^{-1}$ ), 99,7% no ponto Centro (com  $39,41 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e 99,6% no Sul ( $84,31 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Figs. 1.3 e 1.4). Nos dois dias de amostragem, *Anabaena circinalis*, foi praticamente dominante em escala espaço-temporal, apresentando a maior biomassa (Figs 1.5, 1.6 e 1.9) devido aos grandes tricomas de milhares de células.

Para o outono, a Divisão Bacillariophyta também apresentou variação espacial ( $p=0,004$ ), verificada através da análise de variância (ANOVA “one way”). Aplicando o teste de Tukey verificou-se que o ponto Norte apresentou uma diferença significativa entre os outros dois pontos de amostragem (Norte-Centro  $p=0,01$  e Norte-Sul  $p=0,01$ ).

A Divisão Cyanophyta não apresentou variação espaço-temporal, mostrando que a floração de *Anabaena circinalis* apresentou abrangência em toda a Lagoa Itapeva.

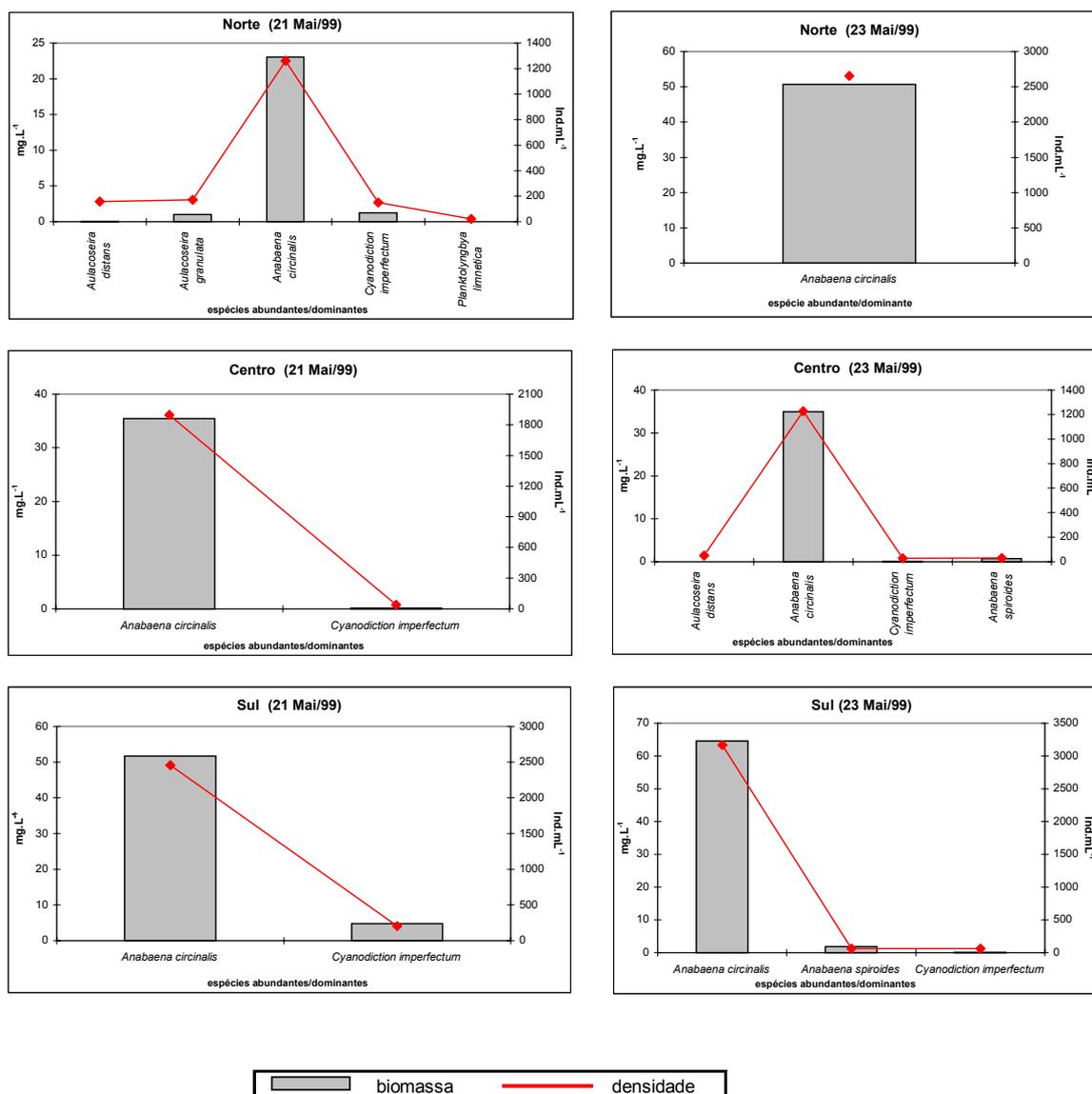


Figura 1.9. Biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ) fitoplanctônicas das espécies abundantes e dominantes no outono (Mai/99) na Lagoa Itaipava, RS.

No primeiro dia da campanha de inverno (16 Ago/99), a Divisão Cyanophyta representou 70% da biomassa, seguida por Bacillariophyta com 30%. Em relação aos pontos de amostragem, o Norte apresentou boa representatividade de diatomáceas, que obtiveram 44,7% da biomassa ( $3,14 \text{ mg.L}^{-1}$ ), apesar das cianobactérias apresentarem 55,3% ( $3,89 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Figs. 1.3 e 1.4). No Centro, a Divisão Cyanophyta apresentou 62,8% da biomassa ( $2,22 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 82,2% no ponto Sul ( $5,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Em relação às diatomáceas, no ponto Centro teve 36,1% da biomassa total ( $1,27 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 11,5% no ponto Sul ( $0,77 \text{ mg.L}^{-1}$ ). A cianobactéria abundante que obteve maior valor da biomassa foi *Cyanodiction imperfectum* (Figs. 1.6 e 1.10). Apesar das espécies *Aulacoseira distans* e *A. granulata* apresentarem uma alta densidade, a biomassa foi de menor expressão (Figs. 1.5, 1.6 e 1.10).

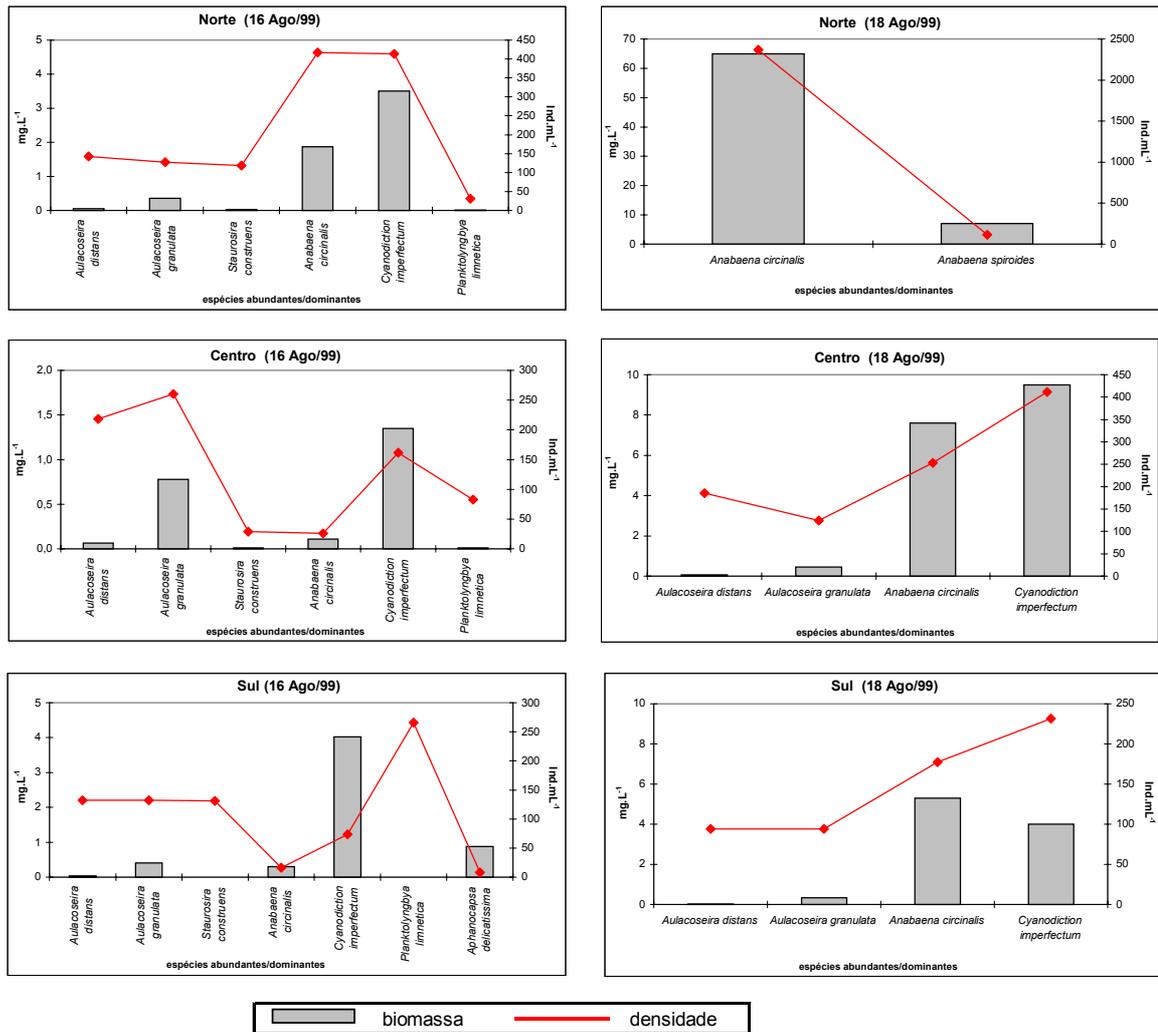


Figura 1.10. Biomassa (mg.L<sup>-1</sup>) e densidade (Ind.mL<sup>-1</sup>) fitoplanctônicas das espécies abundantes e dominantes no inverno (Ago/99) na Lagoa Itapeva, RS.

No segundo dia da campanha de inverno (18 Ago/99), as cianobactérias dominaram com 98,5% da biomassa e somente 1,4% para as diatomáceas. Isto ocorreu devido a floração de *Anabaena circinalis* no ponto Norte, que representou 99,4% da biomassa de Cyanophyta, com 84,43 mg.L<sup>-1</sup> (o maior valor médio registrado). No ponto Centro a Divisão representou 96,5%, com 18,42 mg.L<sup>-1</sup> e no Sul, 95,3%, com 10,52 mg.L<sup>-1</sup> (Figs. 1.3 e 1.4). O *fetch* no sentido N→S, causado pelo quadrante predominante NE (Tabela 2), causou este gradiente espacial de biomassa. As diatomáceas exibiram gradiente S→N, ao contrário do *fetch*, representando 0,5% da biomassa no ponto Norte (0,46mg.L<sup>-1</sup>), 3,5% no ponto Centro (0,68 mg.L<sup>-1</sup>) e 4,7% no Sul (0,52 mg.L<sup>-1</sup>) (Figs. 1.3 e 1.4). As espécies mais representativas foram *Anabaena circinalis*, *A. spiroides* e *Cyanodictyon imperfectum*, por apresentarem maiores valores de densidade e biomassa (Figs. 1.5, 1.6 e 1.10).

Para o inverno, foi verificada através da ANOVA (“one way”), a variação espacial da Divisão Cyanophyta ( $p=0,02$ ). Aplicando o teste de Tukey verificamos a diferença significativa do ponto Norte com o Sul ( $p=0,04$ ). Este fato está relacionado com a ação do *fetch* contrária de um ponto e outro, pois no primeiro dia tivemos quadrantes predominantes W-WSW (Tabela 1.2), causando uma ação *fetch* efetivo de sentido S→N, e no segundo dia com o quadrante de vento NE (Tabela 1.2), o *fetch* mudou para o sentido N→S. Assim, as cianobactérias mostraram-se sensíveis à hidrodinâmica da lagoa. Esta mudança de quadrantes predominantes entre os dias de amostragem também resultou numa variação temporal diária para as Divisões Bacillariophyta ( $p=0,03$ ) e Cyanophyta ( $p=0,005$ ).

Em termos sazonais, verificamos que a Divisão Bacillariophyta apresentou uma variação espacial ( $p=0,02$ ), entre os pontos Norte e Sul ( $p=0,01$ ) e a Divisão Cyanophyta apresentou variação significativa entre os dias de amostragem ( $p<0,04$ ).

Também foi evidenciada através da análise de variância a variação temporal sazonal da Divisão Cyanophyta ( $p<0,001$ ). Aplicando o teste de Tukey verificou-se que o outono foi a estação do ano que se diferenciou significativamente de todas as outras (primavera-outono  $p<0,001$ , verão-outono  $p=0,001$ , outono-inverno  $p=0,002$ ). Este fato é devido a floração intensa de *Anabaena circinalis*, que abrangeu toda a extensão da Lagoa Itapeva neste período.

### **Relações entre Fatores Físicos e Biomassa Fitoplanctônica**

Em termos de qualidade de água, os valores exibidos pelas variáveis físico-químicas na Lagoa Itapeva mostraram que este ambiente não se encontra impactado, apresentando uma boa qualidade de água para o consumo, apesar dos altos índices de turbidez associado à hidrodinâmica da lagoa influenciada pelo vento (Cardoso, 2001). Os altos valores de biomassa na Lagoa Itapeva indicam um ambiente hipereutrófico, como os resultados apresentados em Huszar et al. (2000). Mas, na verdade a Lagoa Itapeva não apresenta esta característica, portanto, provavelmente o efeito da hidrodinâmica, provocada pela ação de ventos que é o mecanismo responsável por estes altos números.

Durante todo o período das campanhas sazonais, foram registradas a velocidade e a direção do vento. Quanto à direção dos ventos (Fig. 1.11), verificou-se que a primavera foi a estação na qual ocorreu a maior amplitude de variação, sendo mais freqüentes os ventos dos quadrantes NNE e W. No verão, os ventos foram mais característicos do litoral, oscilando somente entre os quadrantes N e E, sendo a campanha de menor amplitude de variação. No outono também foram registrados ventos de diversas direções, contudo, estes foram mais freqüentes entre os quadrantes SW e W. O inverno foi a estação que mais se aproximou da

primavera quanto à frequência na direção de ventos, pois também ficou evidente o predomínio destes de quadrantes opostos (NE e WSW). Com isso, constatou-se duas direções dominantes na Lagoa Itapeva: a) quadrantes NNE-ENE ocorrendo em todas as estações do ano, com predomínio no verão; e b) quadrantes SW-W (exceto no verão), com predomínio durante o outono e inverno (Cardoso, 2001).

Cardoso (2001) constatou que *fetch* de direção SW e WSW produziram um efeito de maior extensão e intensidade na Lagoa Itapeva. Estes ventos foram predominantes durante o outono e inverno (Fig.1.11), justamente quando foram obtidos os registros máximos de velocidade destes. Por isso, a relação entre o *fetch* efetivo e a altura da onda produzida teve uma maior intensidade nestas épocas do ano. Em relação aos pontos de amostragem, o Norte e o Centro, nestas épocas do ano foram os mais atingidos.

Os valores de velocidade e direção de vento, e nível d'água, nos turnos de amostragem, nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, estão registrados na Tabela 1.2.

No ponto Centro as oscilações de nível foram quase imperceptíveis em todas as estações do ano estudadas, demonstrando que o local sofre influências muito semelhantes de ventos de qualquer quadrante predominante na região. Assim, o Centro comporta-se como um pivô das oscilações (Cardoso, 2001).

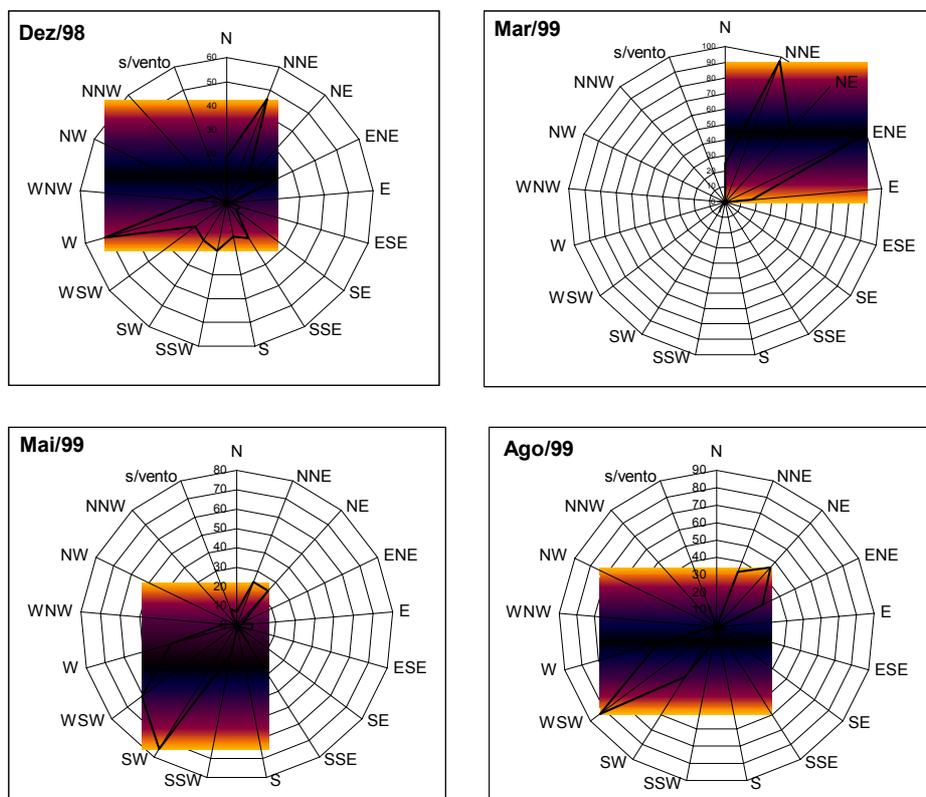


Figura 1.11. Frequência da distribuição da direção de ventos durante as campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, RS. (Primavera= Dez/98; Verão=Mar/99; Outono= Mai/99; Inverno= Ago/99)

Tabela 1.2 – Velocidade média e máxima ( $\text{m.s}^{-1}$ ), e direção do vento e nível d'água (m) para as estações do ano estudadas e turnos de amostragem na Lagoa Itapeva, RS. (Primavera= Dez/98; Verão=Mar/99; Outono= Mai/99; Inverno= Ago/99)

| Estações  | Data e Hora    | Vento |      |         | Nível d'água |        |      |
|-----------|----------------|-------|------|---------|--------------|--------|------|
|           |                | Vmed  | Vmax | Direção | Norte        | Centro | Sul  |
| Primavera | 15/12/98 06:00 | 8,5   | 10,7 | NNE     | 1,26         | 1,50   | X    |
|           | 15/12/98 10:00 | 3,6   | 5,8  | SSW     | 1,40         | 1,52   | 1,46 |
|           | 15/12/98 14:00 | 3,6   | 6,3  | SSE     | 1,38         | 1,51   | 1,47 |
|           | 15/12/98 18:00 | 2,7   | 4,0  | SE      | 1,30         | 1,51   | 1,48 |
|           | 17/12/98 06:00 | 4,5   | 10,7 | N       | 1,28         | 1,51   | 1,46 |
|           | 17/12/98 10:00 | 7,6   | 17,9 | WNW     | 1,35         | 1,51   | 1,44 |
|           | 17/12/98 14:00 | 12,1  | 17,9 | WNW     | 1,40         | X      | 1,42 |
|           | 17/12/98 18:00 | 10,3  | 16,5 | W       | 1,44         | X      | 1,37 |
| Verão     | 02/03/99 06:00 | 4,5   | 5,8  | NE      | 1,15         | 1,16   | 1,17 |
|           | 02/03/99 10:00 | 3,1   | 4,5  | NNE     | 1,11         | 1,17   | 1,19 |
|           | 02/03/99 14:00 | 3,1   | 4,9  | E       | 1,14         | 1,16   | 1,17 |
|           | 02/03/99 18:00 | 5,8   | 8    | ENE     | 1,13         | 1,16   | 1,17 |
|           | 04/03/99 06:00 | 6,3   | 9,4  | NNE     | 1,01         | 1,18   | 1,23 |
|           | 04/03/99 10:00 | 5,8   | 7,2  | NE      | 1,02         | 1,17   | 1,22 |
|           | 04/03/99 14:00 | 8     | 11,2 | ENE     | 1,06         | 1,16   | 1,20 |
|           | 04/03/99 18:00 | 6,7   | 10,7 | ENE     | 1,04         | 1,15   | 1,19 |
| Outono    | 21/05/99 06:00 | 5,4   | 8,5  | WSW     | 1,74         | 1,54   | 1,46 |
|           | 21/05/99 10:00 | 7,6   | 11,6 | W       | 1,57         | 1,57   | 1,55 |
|           | 21/05/99 14:00 | 5,4   | 8,0  | SW      | 1,57         | 1,56   | 1,54 |
|           | 21/05/99 18:00 | 4,9   | 9,4  | WSW     | 1,63         | 1,55   | 1,51 |
|           | 23/05/99 06:00 | 0,4   | 1,3  | ESE     | 1,54         | 1,54   | 1,53 |
|           | 23/05/99 10:00 | 4,0   | 4,9  | NE      | 1,52         | 1,54   | 1,53 |
|           | 23/05/99 14:00 | 3,6   | 4,9  | NE      | 1,48         | 1,55   | 1,55 |
|           | 23/05/99 18:00 | 0,4   | 2,7  | E       | 1,53         | 1,53   | 1,52 |
| Inverno   | 16/08/99 06:00 | 3,1   | 4,5  | W       | 1,39         | 1,32   | 1,28 |
|           | 16/08/99 10:00 | 2,2   | 4,0  | WSW     | 1,41         | 1,31   | 1,27 |
|           | 16/08/99 14:00 | 4,9   | 7,6  | ESE     | 1,43         | 1,31   | 1,26 |
|           | 16/08/99 18:00 | 0,0   | 0,0  | 0       | 1,44         | 1,32   | 1,27 |
|           | 18/08/99 06:00 | 3,6   | 5,8  | NE      | 1,33         | 1,32   | 1,31 |
|           | 18/08/99 10:00 | 5,8   | 7,2  | NE      | 1,32         | 1,32   | 1,31 |
|           | 18/08/99 14:00 | 8,5   | 10,7 | ENE     | 1,34         | 1,31   | 1,30 |
|           | 18/08/99 18:00 | 6,7   | 8,9  | NE      | 1,32         | 1,31   | 1,30 |

OBS: Os dados de *fetch* calculados nas estações do ano para este estudo apresentados no trabalho de Cardoso (2001)

Na primavera, a grande amplitude na direção dos ventos propiciou uma constante turbulência no sistema, com respostas no comportamento da comunidade fitoplanctônica. No segundo dia de coleta no ponto Norte houve o pico da biomassa às 6h (Fig. 1.12), devido às cianobactérias, como já descrito anteriormente. O vento neste horário era de direção N, com uma velocidade média de  $4,5 \text{ m.s}^{-1}$  (Tabela 1.2, Fig. 1.12), resultando num *fetch* efetivo maior nos pontos Centro e Sul. No mesmo turno, também sob o efeito do *fetch*, o nível d'água no ponto Norte foi mais baixo (1,28 m), em relação aos outros pontos, Centro (1,51 m) e Sul (1,46 m) (Tabela 1.2, Fig. 1.13). Devido a estes fatores, o ambiente no ponto Norte tornou-se

calmo e estável, propiciando a suspensão na água de cianobactérias providas de aerótopos (vacúolos de gás), como é o caso de *Anabaena circinalis*, *A. spiroides* e *Microcystis aeruginosa*, elevando os valores da biomassa.

Devido a uma maior frequência de ventos entre os quadrantes NNE e W (Fig. 1.11) na primavera, houve uma pequena elevação do nível no ponto Centro em relação aos demais (Fig.1.13). No turno das 10h no segundo dia de amostragem, o vento mudou para o quadrante WNW com uma velocidade média maior de  $7,6 \text{ m.s}^{-1}$ , agitando as águas do ponto Norte causando assim, um decréscimo da biomassa (Fig.1.12). Com isso elevou-se o nível no ponto Centro (Tabela 1.2), principalmente por causa do deságüe do Rio Três Forquilhas, situado à oeste da lagoa, aumentando a biomassa (Fig.1.13). Assim, estabeleceu-se correlações positivas entre a biomassa com o nível d'água neste ponto ( $r=0,71$ ) e a biomassa com a densidade ( $r=0,90$ ) (Tabela 1.3). Além disso, a densidade também apresentou correlação positiva com o nível d'água ( $r=0,79$ ) (Tabela 1.3). A densidade no ponto Sul apresentou correlação negativa ( $r= -0,71$ ) com o nível d'água do mesmo ponto (Tabela 1.3). O comportamento da densidade do ponto Sul é o inverso da densidade do Centro em relação ao nível d'água em seus respectivos pontos. Isto ocorre devido a ação do *fetch* que intensifica o deságüe do Rio Três Forquilhas na lagoa, concentrando a biomassa no Centro, e diluindo no Sul.

Tabela 1.3. Matriz de correlação ( $r$ - Pearson,  $p<0,05$ ,  $n=8$ ) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha da primavera (Dez/98) na Lagoa Itapeva, RS.

|         | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| biom N  | 1      |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| biom C  |        | 1      |        |         |         |         |         | 0,71    |         |       | 0,90  |       |
| biom S  |        |        | 1      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| veloc N |        |        |        | 1       |         |         |         | -0,81   |         |       |       |       |
| veloc C |        |        |        |         | 1       |         |         | -0,81   |         |       |       |       |
| veloc S |        |        |        |         |         | 1       |         | -0,81   |         |       |       |       |
| nível N |        |        |        |         |         |         | 1       |         |         |       |       |       |
| nível C |        |        |        |         |         |         |         | 1       |         |       | 0,79  |       |
| nível S |        |        |        |         |         |         |         |         | 1       |       |       | -0,71 |
| den N   |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |
| den C   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |
| den S   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |

biom N= biomassa total no Ponto Norte , biom C= biomassa total no Ponto Centro, biom S= biomassa total no Ponto Sul, veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul.

OBS: biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); velocidade de vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), nível d'água (m), densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ).

Não houve coleta no segundo dia no ponto Centro nos turnos da tarde, devido a impossibilidade de trabalho pelo efeito do *fetch* ( $L_f=14,7\text{km}$ ), chegando a produzir ondas de 1,2m quando a velocidade do vento chegou a  $15 \text{ m.s}^{-1}$  (Cardoso, 2001).

No verão, a direção do vento foi a mais constante entre as campanhas sazonais, havendo uma pequena oscilação entre os quadrantes NNE-ENE, com uma maior velocidade de vento no final do dia (Fig.1.11, Tabela 1.2). Nesta época do ano existe uma maior incidência de energia luminosa, aliada a uma menor quantidade de sólidos em suspensão, promovendo uma melhor penetração de luz na coluna d'água (Cardoso, 2001). Por haver este comportamento no sistema, as médias de biomassa foram as mais homogêneas entre os pontos de amostragem, durante todo o estudo.

Assim, no primeiro dia de amostragem do verão, no período da manhã, a coluna d'água esteve mais estabilizada no ponto Norte, devido à ação do *fetch* efetivo ser no ponto Sul, propiciando a boiância de *Anabaena circinalis*, elevando os valores biomassa. Portanto, a biomassa fitoplanctônica obedeceu a um gradiente decrescente N→S, nesse turno, ao contrário da ação do *fetch* (Fig. 1.12). No Sul, onde a turbulência era maior, a biomassa apresentou correlação positiva com a densidade ( $r=0,90$ ) (Tabela 1.4). O nível d'água obedeceu ao gradiente crescente N→S do *fetch*, sendo maior no ponto Sul (Fig.1.13), propiciando uma alta relação negativa com o ponto Norte ( $r= -0,94$ ) (Tabela 1.4).

Tabela 1.4. Matriz de correlação ( $r$ - Pearson,  $p<0,05$ ,  $n=8$ ) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha do verão (Mar/99) na Lagoa Itapeva, RS.

|         | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| biom N  | 1      |        | 0,79   | -0,80   | -0,80   | -0,80   |         |         |         | 0,89  |       | 0,86  |
| biom C  |        | 1      |        |         |         |         | -0,73   |         |         |       |       |       |
| biom S  |        |        | 1      |         |         |         |         |         |         |       |       | 0,90  |
| veloc N |        |        |        | 1       | 1       | 1       |         |         |         | -0,76 |       |       |
| veloc C |        |        |        |         | 1       | 1       |         |         |         | -0,76 |       |       |
| veloc S |        |        |        |         |         | 1       |         |         |         | -0,76 |       |       |
| nível N |        |        |        |         |         |         | 1       |         | -0,94   |       |       |       |
| nível C |        |        |        |         |         |         |         | 1       |         |       |       |       |
| nível S |        |        |        |         |         |         |         |         | 1       |       |       |       |
| den N   |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |
| den C   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |
| den S   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |

biom N= biomassa total no Ponto Norte, biom C= biomassa total no Ponto Centro, biom S= biomassa total no Ponto Sul, veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul.

OBS: biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); velocidade de vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), nível d'água (m), densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ).

Nos turnos da tarde a velocidade aumentou gradativamente, e às 14h com a direção do vento E (Tabela 1.2). O vento deste quadrante promove uma ação de igual intensidade nos três pontos de amostragem. Esta ação pode promover a remoção de nutrientes, provocando um aumento da biomassa nos pontos Norte e Sul (Fig.1.12).

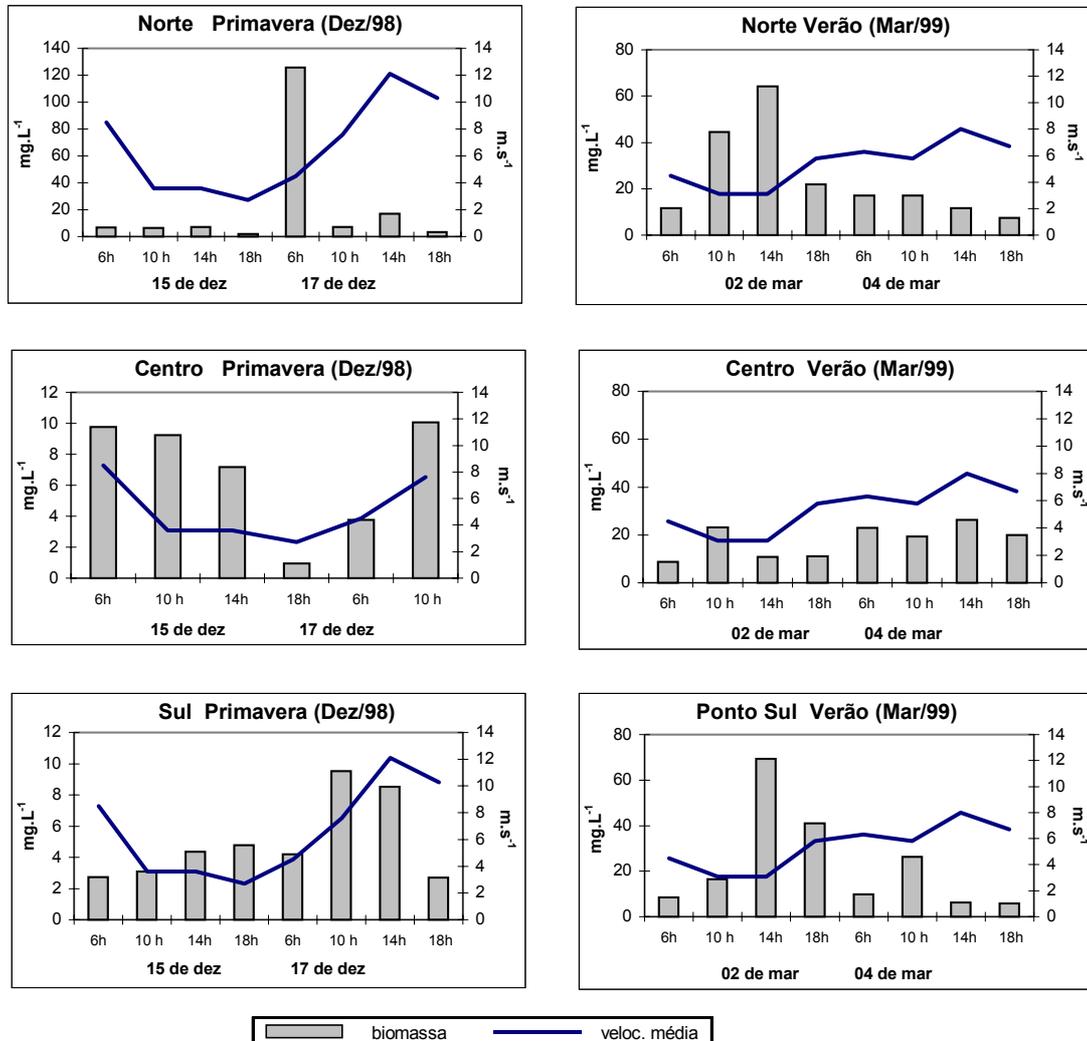


Figura 1.12. Biomassa total fitoplancônica (mg.L<sup>-1</sup>) em relação à velocidade média do vento (m.s<sup>-1</sup>) para primavera e verão, nos turnos de amostragem na lagoa Itapeva, RS.

No segundo dia de amostragem, o ponto Sul às 10h, sofrendo o efeito do *fetch* ( $L_f=12,4$  km) do quadrante NE (Tabela 1.2) e a velocidade média de  $5,8$  m.s<sup>-1</sup>, provocou um aumento da biomassa, evidenciando um gradiente espacial crescente N→S (Fig.1.12). Nos turnos da tarde, com uma velocidade mais elevada (Tabela 1.2), e o quadrante predominante ENE, resultou numa maior biomassa no ponto Centro (Fig.1.12). O nível d'água continua seguindo a um gradiente crescente N→S (Tabela 1.2, Fig. 1.13). Na campanha no ponto

Norte, a velocidade média do vento teve uma relação negativa com a biomassa ( $r = -0,80$ ) e a densidade ( $r = -0,76$ ) (Tabela 1.4).

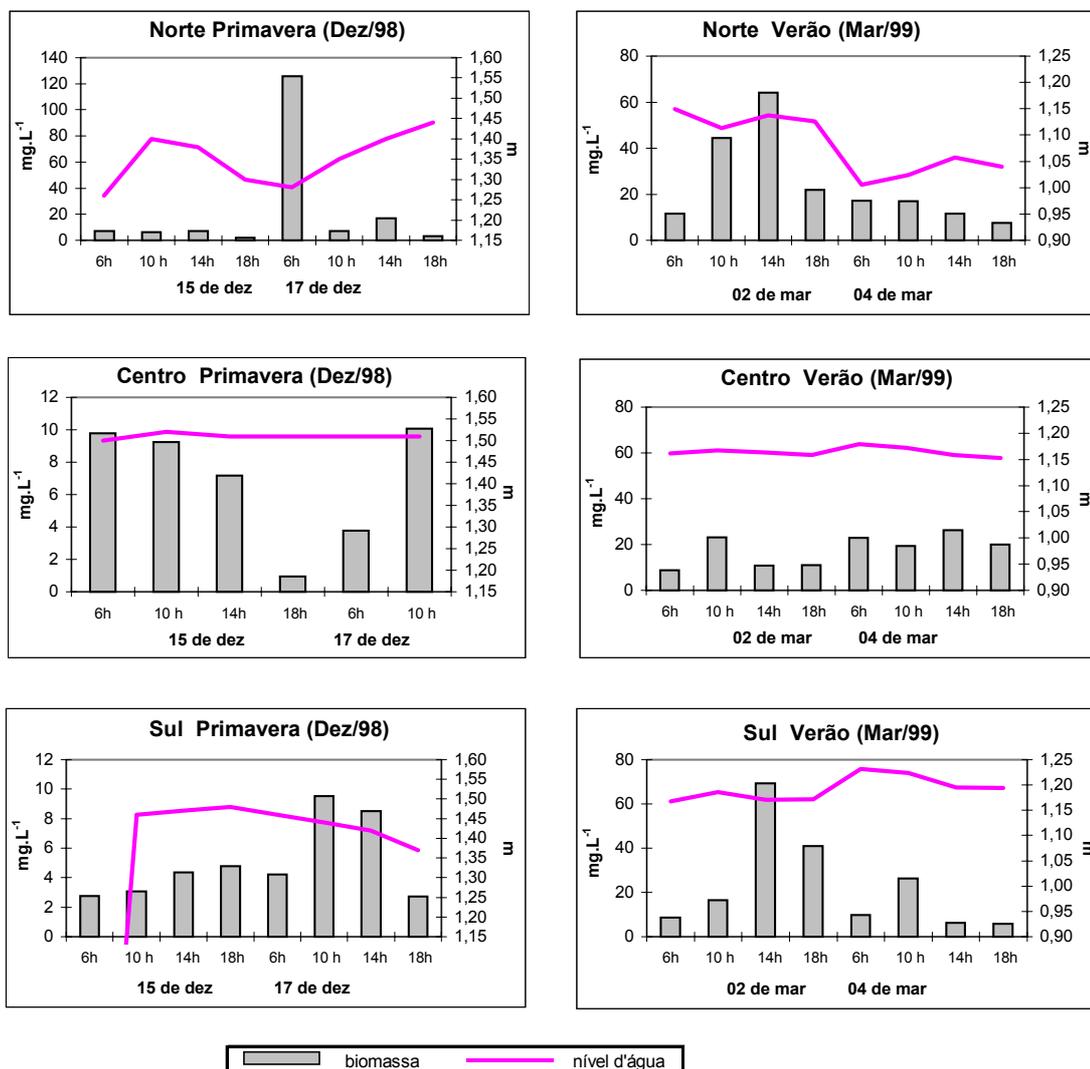


Figura 1.13 Biomassa total fitoplânctônica (mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao nível d'água (m) para primavera e verão, nos turnos de amostragem na lagoa Itapeva, RS.

Durante o outono, como já comentado anteriormente, ocorreu a floração de *Anabaena circinalis* em toda a extensão da Lagoa Itapeva, apresentando os mais elevados valores de biomassa durante toda uma campanha. As densidades e biomassa de cada ponto de amostragem apresentaram correlações positivas devido a esta homogeneização da floração (Norte  $r = 0,79$ , Centro  $r = 0,92$  e Sul  $r = 0,84$ ) (Tabela 1.5). O vento foi um fator muito importante na desestabilização da coluna d'água, bem como na distribuição espacial do fitoplâncton. No primeiro dia de coleta, nos turnos da manhã, as velocidades de vento foram as maiores registradas na campanha, entre os quadrantes WSW-W (Tabela 1.2), provocando um efeito do *fetch* efetivo maior no Norte e no Centro (Cardoso, 2001). Como o ponto Sul não

é diretamente afetado pelos ventos destes quadrantes, resultou numa alta biomassa (104,04 mg.L<sup>-1</sup>) às 10h,. Neste horário, com um vento de velocidade média alta de 7,6 m.s<sup>-1</sup>, com um pico de 11,6 m.s<sup>-1</sup>, evidenciou um gradiente crescente N→S da biomassa (Fig.1.14).

Tabela 1.5. Matriz de correlação (*r*- Pearson, *p*<0,05, *n*=8) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha do outono (Mai/99) na Lagoa Itapeva, RS.

|         | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| biom N  | 1      |        |        |         |         |         |         |         |         | 0,79  |       |       |
| biom C  |        | 1      |        |         |         |         |         |         |         |       | 0,92  |       |
| biom S  |        |        | 1      |         |         |         |         |         |         |       |       | 0,84  |
| veloc N |        |        |        | 1       | 1       | 1       |         | 0,80    |         |       |       |       |
| veloc C |        |        |        |         | 1       | 1       |         | 0,80    |         |       |       |       |
| veloc S |        |        |        |         |         | 1       |         | 0,80    |         |       |       |       |
| nível N |        |        |        |         |         |         | 1       |         | -0,86   |       |       |       |
| nível C |        |        |        |         |         |         |         | 1       |         |       |       |       |
| nível S |        |        |        |         |         |         |         |         | 1       |       |       |       |
| den N   |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |
| den C   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |
| den S   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |

biom N= biomassa total no Ponto Norte, biom C= biomassa total no Ponto Centro, biom S= biomassa total no Ponto Sul, veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul.

OBS: biomassa (mg.L<sup>-1</sup>); velocidade de vento (m.s<sup>-1</sup>), nível d'água (m), densidade (Ind.mL<sup>-1</sup>).

No segundo dia de coleta a mudança da direção de vento para o quadrante NE no turno das 14h, a ação *fetch* sobre o ponto Sul, propiciou um aumento da biomassa neste ponto, provavelmente pela disponibilidade do estoque de nutrientes. O nível d'água nos pontos Centro e Sul são mais altos do que no Norte (Fig.1.15) devido ao efeito do *fetch* sobre o Sul. No turno das 18h o ponto Centro registrou o maior valor de biomassa fitoplanctônica de todas as campanhas (131,86 mg.L<sup>-1</sup>). O vento neste horário era do quadrante E, com baixa velocidade (velocidade média de 0,4 m.s<sup>-1</sup>), resultando num ambiente calmo e estável para a floração (Fig. 1.14). A direção de vento E, atua igualmente nos três pontos de amostragem, tendendo a uma homogeneização do nível d'água na lagoa (Fig. 1.15).

Com o quadrante predominante WSW (primeiro dia de coleta) e ESSE-NE (segundo dia) (Tabela 1.2), o nível d'água do ponto Norte apresentou correlação negativa com o Sul, pois no primeiro dia de amostragem o *fetch* efetivo atuava com intensidade no Norte e no segundo dia no Sul.

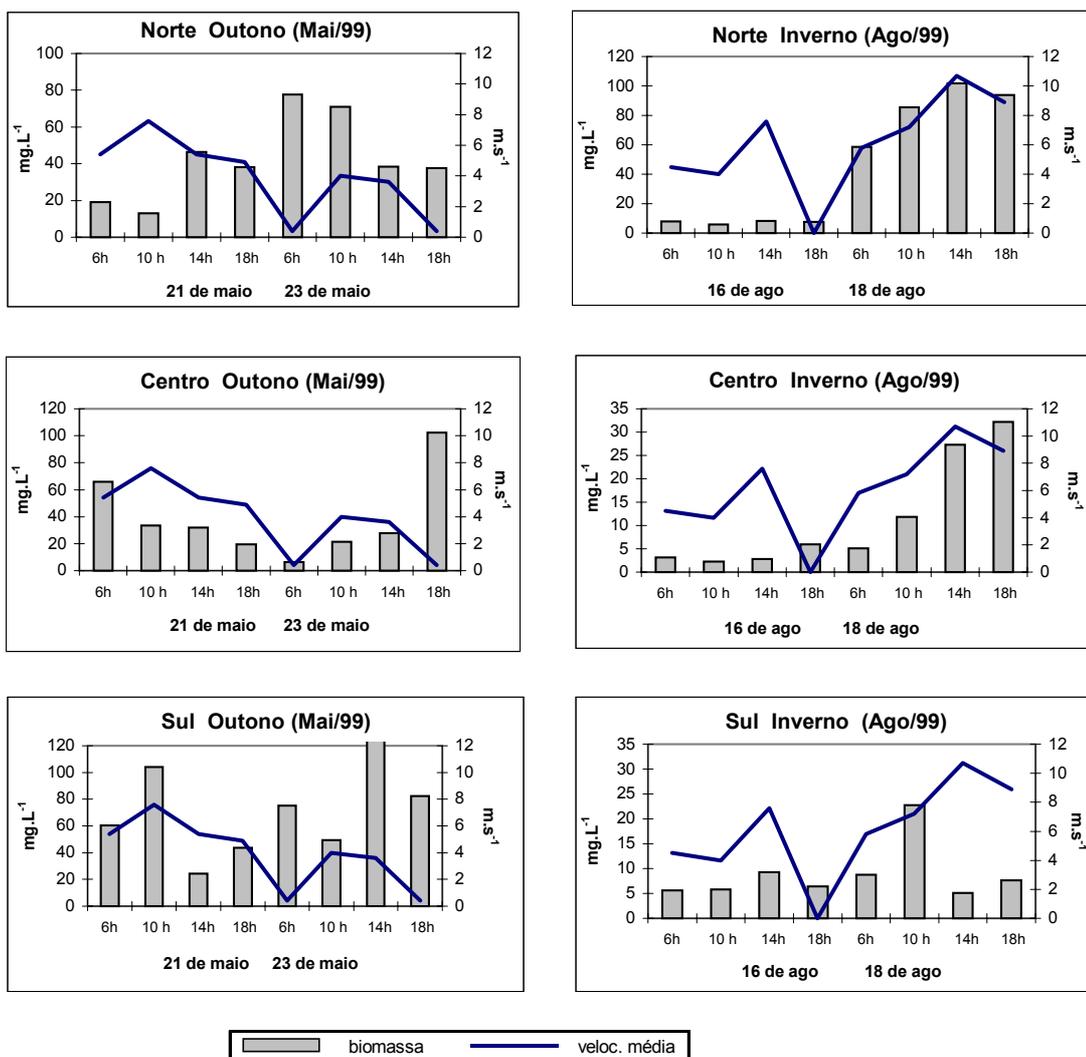


Figura 1.14. Biomassa total fitoplanctônica ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em relação à velocidade média do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) no outono e inverno, nos turnos de amostragem na Lagoa Itapeva, RS.

Na campanha de inverno cada dia apresentou sua peculiaridade, tanto em relação à biomassa e densidade de indivíduos, quanto para os fatores físicos, como as direções e velocidades de vento. No primeiro dia de coleta o vento oscilou de W-WSW no turno da manhã para ESE durante a tarde, chegando com calmaria às 18h (sem vento) (Tabela 1.2). A biomassa nos pontos extremos da lagoa (Norte e Sul) teve a mesma tendência neste dia, enquanto que o Centro teve a biomassa mais baixa, aumentando no final do dia (Fig.1.14). O nível d'água em todos os turnos de amostragem deste primeiro dia de coleta exibiu um gradiente decrescente N→S (Fig. 1.15).

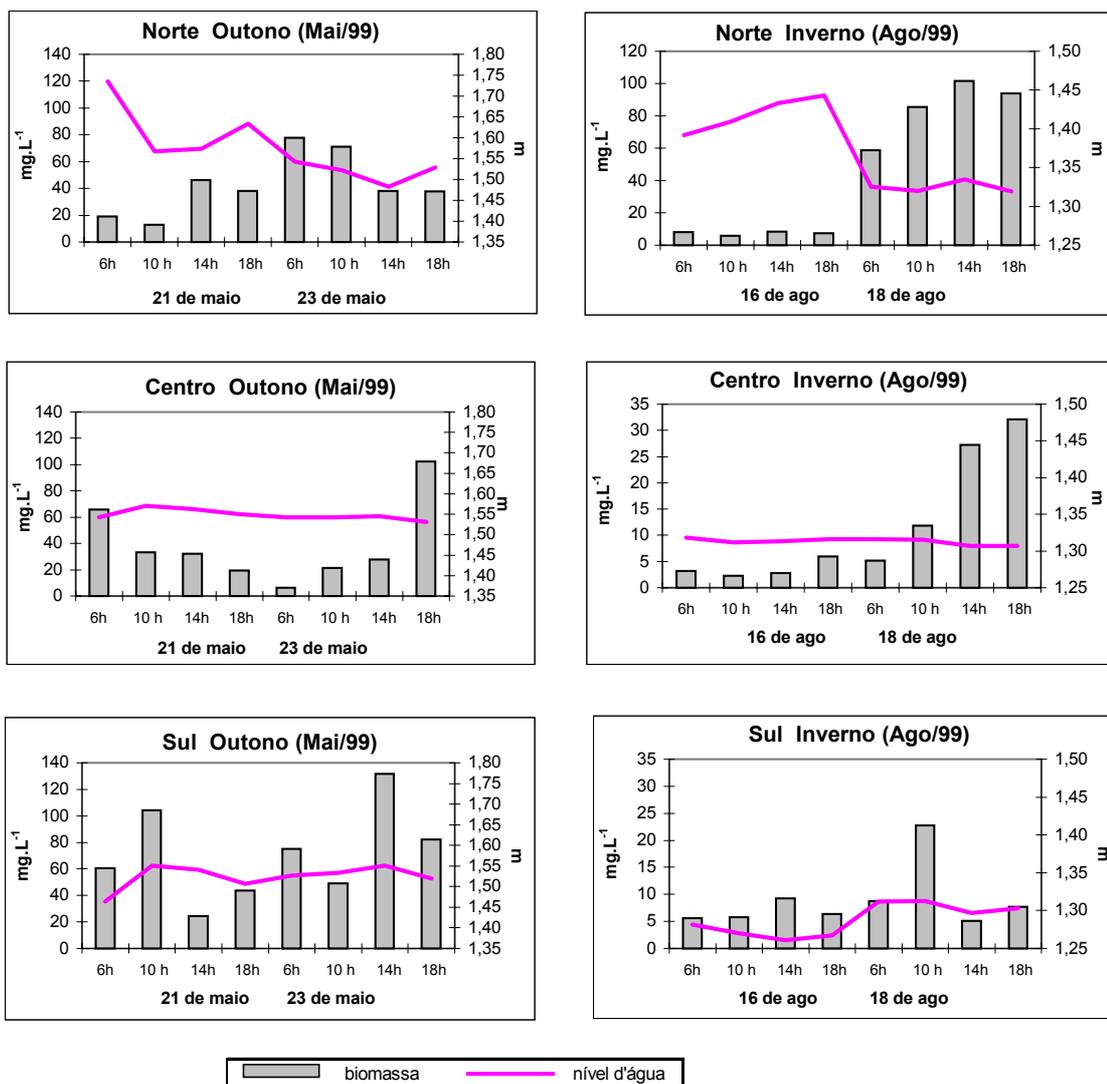


Figura 1.15. Biomassa total fitoplancônica (mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao nível d'água (m) no outono e inverno, nos turnos de amostragem na lagoa Itapeva, RS.

No segundo dia de amostragem da campanha de inverno, evidenciaram-se ventos do quadrante NE, com um aumento na velocidade desse no turno da tarde (Tabela 1.2). Este efeito se faz sentir na hidrodinâmica da lagoa, com a ação do *fetch* efetivo no ponto Sul (Cardoso, 2001). Registraram-se então os maiores valores de biomassa da campanha no ponto Norte, por este ficar protegido em função dos ventos NE, evidenciando uma estabilidade na coluna d'água criando um ambiente propício para as cianobactérias com aerótopos se estabelecer, ocorrendo floração de *Anabaena circinalis*. Assim, verificou-se uma alta correlação positiva entre a biomassa e a densidade neste ponto de amostragem ( $r=0,98$ ), uma relação positiva entre a biomassa e a velocidade de vento ( $r=0,75$ ) e uma alta correlação negativa com o nível d'água ( $r=-0,95$ ) (Tabela 1.6). A ação do *fetch* no ponto Sul foi muito forte, principalmente por causa da alta velocidade de vento nos turnos da tarde, resultando numa biomassa mais baixa (Fig.1.14).

Tabela 1.6. Matriz de correlação ( $r$ - Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n=8$ ) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha do inverno (Ago/99) na Lagoa Itapeva.

|         | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| biom N  | 1      | 0,85   |        | 0,75    | 0,75    | 0,75    | -0,91   |         | 0,84    | 0,98  |       |       |
| biom C  |        | 1      |        |         |         |         |         | -0,83   |         | 0,82  | 0,84  |       |
| biom S  |        |        | 1      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| veloc N |        |        |        | 1       |         |         |         |         |         | 0,74  |       |       |
| veloc C |        |        |        |         | 1       |         |         |         |         | 0,74  |       |       |
| veloc S |        |        |        |         |         | 1       |         |         |         | 0,74  |       |       |
| nível N |        |        |        |         |         |         | 1       |         | -0,97   | -0,85 |       |       |
| nível C |        |        |        |         |         |         |         | 1       |         |       | -0,77 |       |
| nível S |        |        |        |         |         |         |         |         | 1       | 0,79  |       |       |
| den N   |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |
| den C   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |
| den S   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |

|         | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| biom N  | 1      | 0,85   |        | 0,75    | 0,75    | 0,75    | -0,91   |         | 0,84    | 0,98  |       |       |
| biom C  |        | 1      |        |         |         |         |         | -0,83   |         | 0,82  | 0,84  |       |
| biom S  |        |        | 1      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| veloc N |        |        |        | 1       |         |         |         |         |         | 0,74  |       |       |
| veloc C |        |        |        |         | 1       |         |         |         |         | 0,74  |       |       |
| veloc S |        |        |        |         |         | 1       |         |         |         | 0,74  |       |       |
| nível N |        |        |        |         |         |         | 1       |         | -0,97   | -0,85 |       |       |
| nível C |        |        |        |         |         |         |         | 1       |         |       | -0,77 |       |
| nível S |        |        |        |         |         |         |         |         | 1       | 0,79  |       |       |
| den N   |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |
| den C   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |
| den S   |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |

biom N= biomassa total no Ponto Norte, biom C= biomassa total no Ponto Centro, biom S= biomassa total no Ponto Sul, veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul.

OBS: biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); velocidade de vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), nível d'água (m), densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ).

Ao analisar os dados das variáveis físicas, nível d'água e velocidade média do vento, as densidades e biomassa do fitoplâncton nos pontos de amostragem com as estações do ano, dia e turno de amostragem, puderam-se constatar algumas correlações significativas. Foi verificada uma relação positiva entre estação do ano e densidade de indivíduos no ponto Norte ( $r=0,36$ ) (Tabela 1.7) e correlação positiva entre dia de amostragem e biomassa fitoplanctônica no ponto Norte ( $r=0,43$ ) (Tabela 1.7).

Tabela 1.7. Matriz de correlação ( $r$ - Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n=32$ ) das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água) e biomassa e densidade do fitoplâncton nos pontos de amostragem, com os fatores estação do ano, dia de coleta e hora de amostragem na Lagoa Itapeva, RS.

| fatores | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| estação |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       | 0,36  |
| dia     | 0,43   |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| hora    |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |

biom N= biomassa total no Ponto Norte, biom C= biomassa total no Ponto Centro, biom S= biomassa total no Ponto Sul, veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul.

OBS: biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); velocidade de vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), nível d'água (m), densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ).

Analisando os dados anteriores em cada campanha sazonal, evidenciou-se algumas tendências. No verão foi verificada uma relação positiva entre dia de amostragem com a velocidade de ventos nos pontos Norte, Centro e Sul ( $r=0,80$ ), negativa com nível d'água no ponto Norte ( $r= -0,95$ ), e correlação positiva com o nível do Sul ( $r=0,82$ ) (Tabela 1.8), confirmando o efeito do *fetch* efetivo no Sul, já que nesta campanha os ventos ficaram entre os quadrantes NNE-ENE (Fig.1.11, Tabela 1.2).

Tabela 1.8. Matriz de correlação ( $r$ - Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n=8$ ) das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água) e biomassa e densidade do fitoplâncton nos pontos de amostragem, com os fatores dia de coleta e hora de amostragem em cada campanha sazonal na Lagoa Itapeva, RS.

| estação | fatores | biom N | biom C | biom S | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S |
|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Dez/98  | dia     |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
|         | hora    |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| Mar/99  | dia     |        |        |        | 0,80    | 0,80    | 0,80    | -0,95   |         | 0,82    |       |       |       |
|         | hora    |        |        |        |         |         |         |         | -0,76   |         |       |       |       |
| Mai/99  | dia     |        |        |        | -0,80   | -0,80   | -0,80   | -0,73   |         |         |       |       |       |
|         | hora    |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |
| Ago/99  | dia     | 0,96   |        |        |         |         |         | -0,95   |         | 0,93    | 0,93  |       |       |
|         | hora    |        |        |        |         |         |         |         |         |         |       |       |       |

biom N= biomassa total no Ponto Norte, biom C= biomassa total no Ponto Centro, biom S= biomassa total no Ponto Sul, veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul. (Primavera=Dez/98, Verão= Mar/99, Outono= Mai/99, Inverno= Ago/99).

OBS: biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); velocidade de vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), nível d'água (m), densidade ( $\text{Ind.mL}^{-1}$ ).

No outono evidenciou-se uma correlação negativa do dia de amostragem com a velocidade média dos ventos nos pontos Norte, centro e Sul ( $r= -0,80$ ) e com o nível d'água no ponto Norte ( $r= -0,73$ ) (Tabela 1.8). Em agosto, campanha de inverno, os dias de coleta foram diferentes, enfocando o quadrante de vento dominante e a velocidade de vento atuando no sistema, como já referenciado. Assim, houve uma alta correlação positiva dos dias de

amostragem entre a biomassa ( $r=0,96$ ) e a densidade do ponto Norte ( $r=0,93$ ) (Tabela 1.8). Os dias de coleta também apresentaram relações quanto ao nível d'água, sendo negativa com o ponto Norte ( $r= -0,95$ ) e positiva com o ponto Sul ( $r=0,93$ ) (Tabela 1.8).

O teste de normalidade de *Kolmogorov-smirnov* para os valores de biomassa fitoplanctônica em cada campanha mostrou que os dados das estações primavera (Dez/98) e inverno (Ago/99) não apresentaram normalidade ( $p<0,01$ ), enquanto que no verão e no outono os dados apresentaram-se normais. No verão a direção do vento predominante foi a mais constante entre as campanhas sazonais, havendo uma pequena oscilação entre os quadrantes NNE-ENE e uma maior velocidade de vento no final do dia (Fig.1.11, Tabela 1.2). Como conseqüência as médias da biomassa fitoplanctônica tornaram-se homogêneas, tendendo à normalidade, não apresentando variabilidade espacial. No outono, o episódio da floração de *Anabaena circinalis*, provavelmente foi o fator que gerou a normalidade dos dados de biomassa, não ocorrendo também variabilidade espacial, já que a floração atingiu toda a extensão da lagoa.

Após ter apresentado as correlações significativas, a capacidade de se obter a biomassa a partir das variáveis físicas foi testada pela regressão linear simples. Esta análise procurou estabelecer equações que permitiram estimar a biomassa para futuras aplicações na gestão da Lagoa Itapeva (Tabela 1.9, 1.10, 1.11 e 1.12).

Tabela 1.9. Estimativa da biomassa fitoplanctônica em função do nível d'água em cada estação do ano, na Lagoa Itapeva, RS.

| campanhas          | equação de regressão                     | r <sup>2</sup> | p (b) | p (a) |
|--------------------|------------------------------------------|----------------|-------|-------|
| Primavera (dez/98) | biomassa= 14,72 - 2,26 * nível d'água    | 0,001          | 0,90  | 0,001 |
| Verão (mar/99)     | biomassa= 7,25 + 12,62 * nível d'água    | 0,002          | 0,84  | 0,001 |
| Outono (maio/99)   | biomassa= 308,61 - 166,40 * nível d'água | 0,70           | 0,21  | 0,001 |
| Inverno (ago/99)   | biomassa= 32,56 - 7,86 * nível d'água    | 0,001          | 0,95  | 0,001 |

r<sup>2</sup>-correlação, n= 24,  $\alpha=0,05$ , p (b)= nível de significância de b (inclinação), p (a)= nível de significância de a (intercepção)

Tabela 1.10. Estimativa da biomassa fitoplanctônica em função do nível d'água em cada ponto de amostragem, nas campanhas sazonais, na Lagoa Itapeva, RS.

| campanhas e pontos de amostragem | equação de regressão                       | r <sup>2</sup> | p (b) | p (a) |
|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------|-------|-------|
| Norte primavera (dez/98)         | biomassa= 391,61 - 273,6 * nível d'água    | 0,18           | 0,30  | 0,001 |
| Centro primavera (dez/98)        | biomassa= 47,83 - 27,15 * nível d'água     | 0,002          | 0,93  | 0,001 |
| Sul primavera (dez/98)           | biomassa= 2,75 + 1,78 * nível d'água       | 0,12           | 0,40  | 0,07  |
| Norte verão (mar/99)             | biomassa= - 166,60 + 176,66 * nível d'água | 0,25           | 0,20  | 0,001 |
| Centro verão (mar/99)            | biomassa= - 221,9 + 205,92 * nível d'água  | 0,06           | 0,54  | 0,001 |
| Sul verão (mar/99)               | biomassa= 447,67 -356,10 * nível d'água    | 0,15           | 0,34  | 0,001 |
| Norte outono (maio/99)           | biomassa= 252,94 - 133,70 * nível d'água   | 0,22           | 0,24  | 0,001 |
| Centro outono (maio/99)          | biomassa=1658,80 - 1047,0 * nível d'água   | 0,18           | 0,29  | 0,001 |
| Sul outono (maio/99)             | biomassa= - 595,20 + 437,34 * nível d'água | 0,13           | 0,37  | 0,001 |
| Norte inverno (ago/99)           | biomassa= 1061,30 - 739,90 * nível d'água  | 0,82           | 0,002 | 0,001 |
| Centro inverno (ago/99)          | biomassa= 3138,60 - 2382,0 * nível d'água  | 0,70           | 0,001 | 0,01  |
| Sul inverno (ago/99)             | biomassa= - 164,70 + 134,82 * nível d'água | 0,23           | 0,23  | 0,001 |

r<sup>2</sup>-correlação n= 8, α=0,05, p (b)= nível de significância de b (inclinação), p (a)= nível de significância de a (intercepção)

Tabela 1.11. Estimativa da biomassa fitoplanctônica em função da velocidade média do vento em cada estação do ano, na Lagoa Itapeva, RS.

| campanhas          | equação                                     | r <sup>2</sup> | p (b) | p (a) |
|--------------------|---------------------------------------------|----------------|-------|-------|
| Primavera (Dez/98) | biomassa= 14,28 - 0,49 * veloc média vento  | 0,03           | 0,77  | 0,001 |
| Verão (Mar/99)     | biomassa= 47,64 - 4,79 * veloc média vento  | 0,21           | 0,02  | 0,001 |
| Outono (Mai/99)    | biomassa= 63,73 - 3,25 * veloc média vento  | 0,58           | 0,26  | 0,001 |
| Inverno (Ago/99)   | biomassa= - 3,26 + 4,17 * veloc média vento | 0,19           | 0,03  | 0,001 |

r<sup>2</sup>-correlação n= 24, α=0,05 p (b)= nível de significância de b (inclinação), p (a)= nível de significância de a (intercepção)

Tabela 1.12. Estimativa da biomassa fitoplanctônica em função da velocidade média do vento em cada ponto de amostragem, nas campanhas sazonais, na Lagoa Itapeva, RS.

| campanhas e pontos de amostragem | equação                                      | r <sup>2</sup> | p (b) | p (a) |
|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------|-------|-------|
| Norte primavera (Dez/98)         | biomassa= 36,45 - 2,20 * veloc média vento   | 0,03           | 0,66  | 0,004 |
| Centro primavera (Dez/98)        | biomassa= 1,49 + 1,05 * veloc média vento    | 0,46           | 0,14  | 0,30  |
| Sul primavera (Dez/98)           | biomassa= 3,36 + 0,25 * veloc média vento    | 0,11           | 0,42  | 0,18  |
| Norte verão (Mar/99)             | biomassa= 74,01 - 9,16 * veloc média vento   | 0,65           | 0,02  | 0,001 |
| Centro verão (Mar/99)            | biomassa= 7,72 + 1,86 * veloc média vento    | 0,23           | 0,22  | 0,12  |
| Sul verão (Mar/99)               | biomassa= 61,17 - 7,0 7* veloc média vento   | 0,30           | 0,16  | 0,001 |
| Norte outono (Mai/99)            | biomassa= 64,77 - 5,60 * veloc média vento   | 0,38           | 0,10  | 0,006 |
| Centro outono (Mai/99)           | biomassa= 49,16 - 2,66 * veloc média vento   | 0,05           | 0,61  | 0,02  |
| Sul outono (Mai/99)              | biomassa= 77,25 - 1,49 * veloc média vento   | 0,11           | 0,80  | 0,09  |
| Norte inverno (Ago/99)           | biomassa= - 13,51 + 9,81 * veloc média vento | 0,56           | 0,03  | 0,03  |
| Centro inverno (Ago/99)          | biomassa= - 3,44 + 2,42 * veloc média vento  | 0,46           | 0,06  | 0,02  |
| Sul inverno (Ago/99)             | biomassa= 7,15 + 0,29 * veloc média vento    | 0,27           | 0,69  | 0,07  |

Verificou-se através das equações de regressão linear (Tabelas 1.9, 1.10, 1.11 e 1.12) que tanto o nível d'água como as velocidades de vento podem estar significativamente relacionados com a quantidade de biomassa algal, principalmente no ponto Norte da lagoa. A relação causa-efeito pode, no entanto ser indireta. O vento com certeza promove um arraste de materiais na camada superficial, sendo que este material pode se acumular eventualmente em uma posição específica da lagoa. Isto pode ficar mais evidente se o vento permanecer em um determinado quadrante por longo período. Neste caso deve ser também verificado com a elevação do nível d'água. Como discutido anteriormente, a resposta da ação do vento sobre a massa d'água, eventualmente leva à ressuspensão de materiais de fundo e de nutrientes que se encontram no sedimento.

As relações significativas para as situações consideradas podem não representar as relações funcionais. Esta eventual falta de relações funcionais não impossibilita o uso dessas equações como modelos para estimar a biomassa algal na lagoa em questão, ou seja, a variável velocidade média de vento e nível d'água pode ser usada para se obter a biomassa fitoplanctônica.

Efetuarão-se análises de agrupamentos para cada campanha sazonal com as variáveis físicas, a biomassa e a densidade fitoplanctônica, procurando estabelecer algumas tendências. Evidenciou-se uma tendência geral nas campanhas sazonais, de formação de dois grupos, um em função das variáveis físicas (nível d'água e velocidade média de vento) e biomassa, que apresentaram uma dependência direta, e outro em função da densidade (Figs. 1.16, 1.17, 1.18 e 1.19).

Na primavera (Dez/98) e no outono (Mai/99) esse grupo foi formado em função das densidades mais baixas (Figs. 1.16 e 1.18), enquanto que no verão (Mar/99) pelas densidades mais altas (Fig.1.17). O inverno (Ago/99) foi a única campanha que separou totalmente um ponto de amostragem dos demais. O ponto Centro no primeiro dia de amostragem, com a influência do deságüe do Rio Três Forquilhas no sistema, intensificado pela ação de ventos do quadrante W-WSW (Tabela 1.2) provocou a homogeneidade neste local, independente do turno de coleta (Fig.1.19).

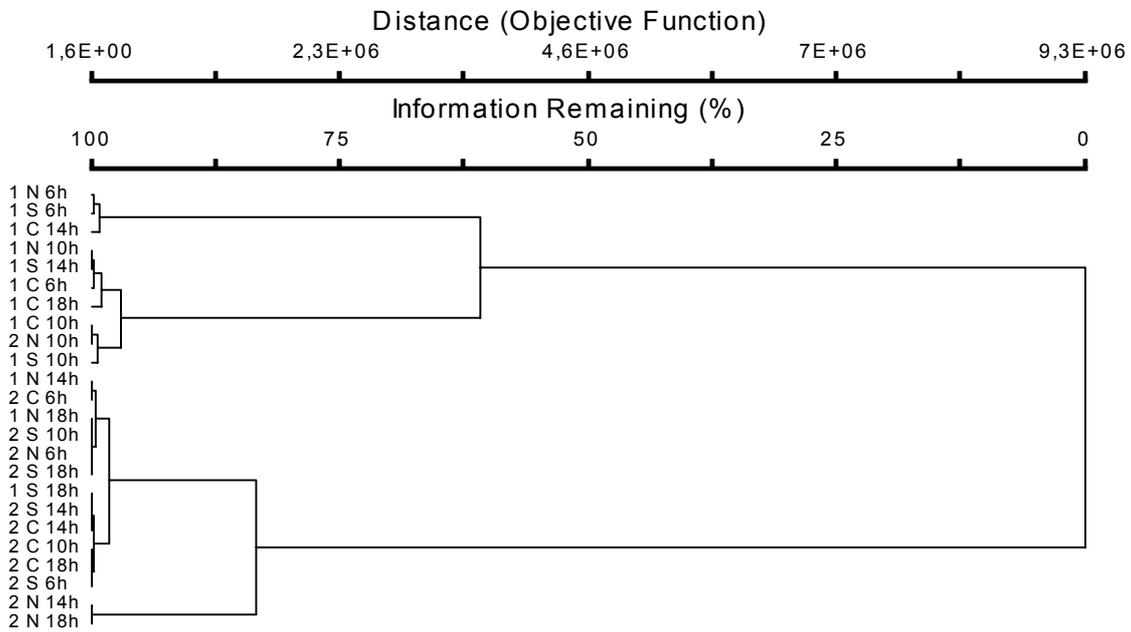


Figura 1.16. Agrupamento dos dias e turnos de amostragem, em cada ponto de coleta, na primavera (Dez/98), em função das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton na Lagoa Itapeva, RS.

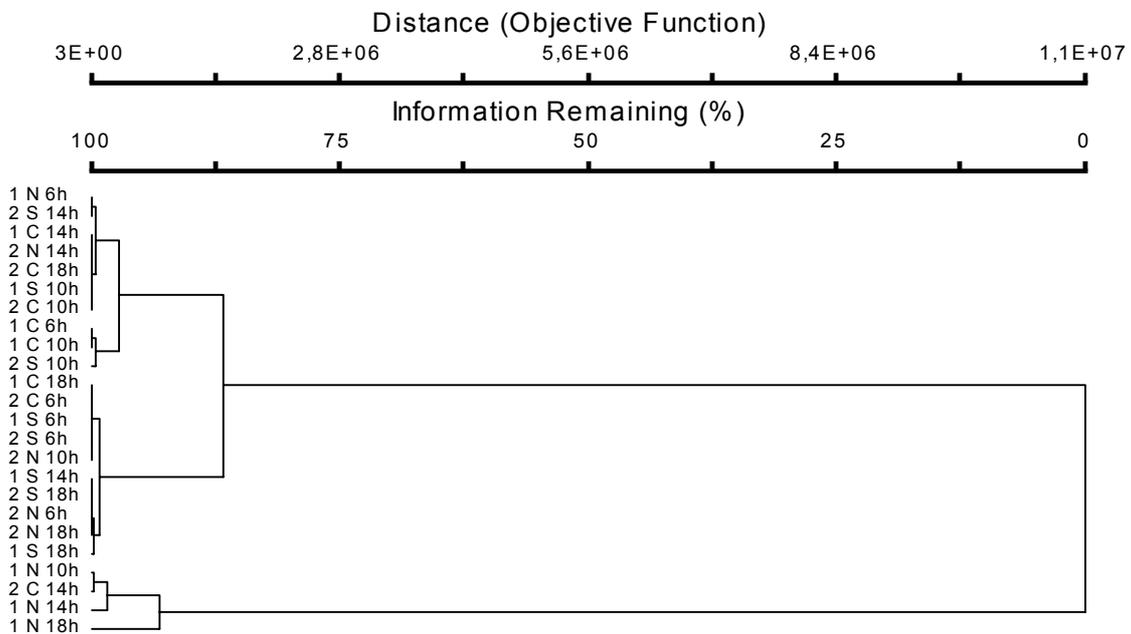


Figura 1.17. Agrupamento dos dias e turnos de amostragem, em cada ponto de coleta, no verão (Mar/99), em função das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton na Lagoa Itapeva, RS.

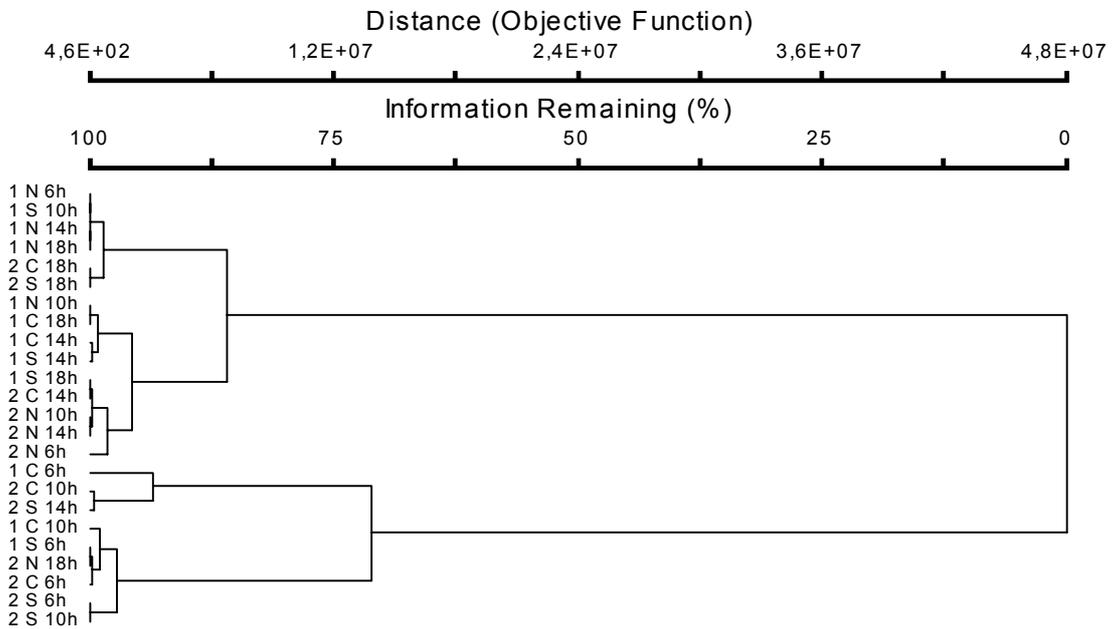


Figura 1.18. Agrupamento dos dias e turnos de amostragem, em cada ponto de coleta, no outono (Mai/99), em função das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton na Lagoa Itapeva, RS.

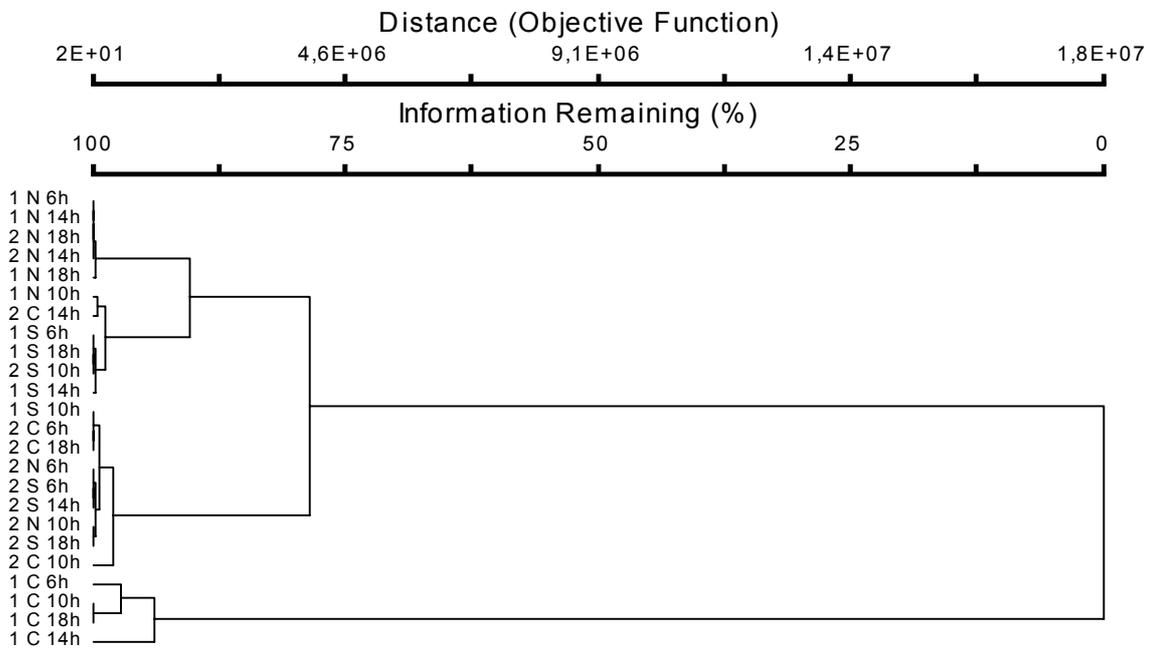


Figura 1.19. Agrupamento dos dias e turnos de amostragem, em cada ponto de coleta, no inverno (Ago/99), em função das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), biomassa e densidade do fitoplâncton na Lagoa Itapeva, RS.

Em sistemas rasos e perturbados, o vento é a principal fonte de energia cinética produzindo movimento de água (Millet, 1989 *apud* Millet & Cecchi, 1992). A ressuspensão de nutrientes promovido pelo vento aumenta a eficiência do fluxo de energia na cadeia alimentar, disponibilizando a matéria orgânica particulada acessível somente para os níveis tróficos baixos, como bactérias e decompositores, para os níveis tróficos mais altos, como filtradores (Demers et al., 1987, Millet & Cecchi, 1992; Jeppesen et al., 1999).

As mudanças na abundante biomassa fitoplanctônica estão atribuídas a pelo menos três fatores: 1) Transporte horizontal provocado pelos movimentos de onda; 2) Circulação (transporte vertical entre a água e a superfície do sedimento) e 3) Crescimento e perda de populações meroplanctônicas (Padisák & Dokulil, 1994).

A coluna d'água pode em muitos lagos interagir prontamente com a camada superficial do sedimento, especialmente em lagos rasos, a qual é suscetível a mudanças nos campos de luz devido à mistura de fundo. Não é claro que mudanças na biomassa fitoplanctônica sejam associadas com pulsos de libertação de nutrientes do sedimento para as camadas superiores da água, durante eventos de ressuspensão, ou direta inoculação de alga do fundo do lago, ou ainda em ambos fatores. (Carrick et al., 1993). Padisák & Dokulil (1994) verificaram em um lago raso salino (Neusiedlersee) que a dinâmica do fitoplâncton era caracterizada por periódicos eventos de ressuspensão de nutrientes, onde o nível d'água e a salinidade eram os fatores que provocavam mudanças de longa duração na comunidade fitoplanctônica.

Assim, de acordo com todas as análises efetuadas neste trabalho, constatou-se que a relação causa-efeito do vento na biomassa fitoplanctônica da Lagoa Itapeva pode ser indireta, podendo provocar a remoção de nutrientes da coluna d'água e até mesmo da camada superficial do sedimento.

## **CONCLUSÕES**

A espécie *Anabaena circinalis* (Cyanophyta) foi a responsável pelos elevados valores de biomassa observados nos pontos de amostragem. Este fato esteve relacionado com florações temporárias nas épocas de coleta, sendo a maior delas no outono, onde abrangeu toda a extensão da lagoa. Neste período as cianofíceas constituíram quase que a totalidade da biomassa, registrando as médias mais altas nos pontos de amostragem.

Foi evidenciado que a pouca oscilação de um quadrante de vento, promove uma distribuição da biomassa mais homogênea na lagoa, fato este ocorrido no verão.

Apesar das altas densidades de algumas espécies de diatomáceas (*Aulacoseira granulata* e *A. distans*) que apresentavam pequenas cadeias de células, os valores de biomassa observados foram menores do que as espécies de Cyanophyta (*Anabaena* spp, *Cyanodiction imperfectum* e *Mycrocystis aeruginosa*), devido ao grande número de células nas colônias destas espécies.

Os valores altos da biomassa das cianobactérias deixaram quase que imperceptíveis os valores das outras divisões taxonômicas, que em comparação a outros ambientes aquáticos, não eram baixos. Isto aconteceu principalmente devido às florações de *Anabaena circinalis* durante o estudo, que com seus inúmeros tricomas contendo milhares de células mascarou a biomassa de outros grupos. Estes altos valores de biomassa não estão relacionados à eutrofização da lagoa, e sim com a hidrodinâmica da lagoa, que tem um efeito indireto na biomassa.

A Divisão Bacillariophyta apresentou variação espacial da biomassa no verão e no outono. No verão as diatomáceas também apresentaram variação temporal diária.

Não foi identificada uma variação espacial e temporal diária para a Cyanophyta, exceto no inverno. Isto demonstra a homogeneidade da distribuição das cianobactérias na Lagoa Itapeva. A variação espacial ocorreu no inverno, devido à peculiaridade dos dias de amostragem. Este fato também colaborou para a variação temporal diária da Bacillariophyta.

Em termos sazonais, verificamos que a Bacillariophyta apresentou uma variação espacial entre os pontos Norte e Sul, e a Cyanophyta apresentou variação temporal diária.

Cyanophyta apresentou variação temporal sazonal, onde o outono foi a estação do ano que se diferenciou significativamente de todas as outras. Este fato é devido a floração intensa de *Anabaena circinalis*, que abrangeu toda a extensão da Lagoa Itapeva neste período.

A posição isolada do ponto Norte, estando protegido no lado oeste da Serra geral, aliado ao estrangulamento maior da lagoa no eixo longitudinal, produz um ambiente mais protegido de correntes, sendo assim, um local mais propício às florações de cianobactérias portadoras de aerótopos, como é o caso de *Anabaena circinalis*.

A biomassa foi a variável que melhor se relacionou com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento) pela ação dos ventos de quadrantes predominantes que resultavam em *fetch* efetivos. As equações relacionadas que permitiram estimar a biomassa apresentaram significância estatística, embora não possam representar o processo de produção primária. Essa capacidade produtiva conferem a esses modelos estatísticos um potencial de uso na gestão desta lagoa e de suas águas para abastecimento público.

De acordo com todas as análises efetuadas neste trabalho, constatou-se que a relação causa-efeito do vento na biomassa fitoplanctônica da Lagoa Itapeva pode ser indireta, podendo remover nutrientes da coluna d'água e até mesmo da camada superficial do sedimento. Os distúrbios intensos (provocados pelos fortes ventos e *fetch* intenso nos pontos de amostragem) ou a falta deste (criando um ambiente estável) resultaram em florações de *Anabaena circinalis*, as quais proveram densa biomassa em todo o período da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), 1992, *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington, 1268p.
- ARCIFA, M.S., SILVA, L.H.S & SILVA M.H.L., 1998, The planktonic community in a tropical brazilian reservoir: composition, fluctuations and interactions. *Rev. Brasil. Biol.*, 58 (2): 241-254.
- BERGESCH, M. & ODEBRECHT, C., 1995, Estrutura de tamanho do fitoplâncton no estuário da Lagoa dos Patos: Uma comparação entre três métodos de análise. *Atlântica*, 17: 53-62.
- BERGESCH, M. & ODEBRECHT, C., 1997, Análise do fitoplâncton, protozooplâncton e de alguns fatores abióticos no estuário da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 19: 31-50.
- BERGQUIST, A.M., CARPENTER, S.R. & LATINO, J.C., 1985, Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblages. *Limnol. Oceanogr.*, 30 (5): 1037-1045.
- BILLINGTON, N., 1991, A comparison of three methods of measuring phytoplankton biomass on a daily and seasonal basis. *Hydrobiologia*, 226: 1-15.
- BOURRELLY, P., 1968, *Les Algues d'eau douce – algues jaunes et brunes*. N. Boubée & Cie, Paris, 438p.
- BOURRELLY, P., 1970, *Les Algues d'eau douce – algues bleues et rouges*. N. Boubée & Cie, Paris, 512p.
- CALLEGARO, V.L.M., SILVA, K.R.L.M. & SALOMONI, S.E., 1993, Flórua diatomológica de ambientes lênticos e lóticos do Parque Florestal Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér. Botânica*, (43): 89-134.
- CAMPOS, I., F. P. & SENNA, P. A. C., 1988, Nostocophyceae (Cyanophyceae) da Lagoa Bonita, Distrito Federal, Brasil. Parte 1. *Acta Bot. Bras.*, 2 (1-2): 7-30.
- CARDOSO, L.S., 2001, *Variações da estrutura planctônica da Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica*. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.
- CARPENTER, S.R., MORRICE, J.A., ELSER, J.J., AMAND, A.L. St. & MACKAY, N.A., 1993, Phytoplankton community dynamics. In: S.R. Carpenter & J.F. Kitchell (eds.), *The trophic cascade in lakes*. Cambridge University Press, Cambridge, p.189-209.
- CARPENTIER, C.J., KETELAARS, H.A.M., WAGENVOORT, A.J. & PIKAAR-SCHOONEN, K.(C.) P.R., 1999, Rapid and versatile routine measurements of plankton biovolumes with BACCHUS. *Journal of Plankton Research*, 21 (10): 1877-1889.

- CARRICK, H.J., ALDRIDGE, F.J. & SCHELSKE, C.L., 1993, Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnol. Oceanogr.*, 38 (6): 1179-1192.
- COSTA, J.C.F. da , 1995, Diatomáceas (Bacillariophyceae) da Reserva Biológica de Poço das Antas, município de Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (46): 57-143.
- CYR, H. & CURTIS, J.M., 1999, Zooplankton community size structure and taxonomic composition affects size-selective grazing in natural communities. *Oecologia*, 118: 306-315.
- DEMERS, S., THERRIault, J-C., BOURGET, E. & BAH, A., 1987, Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: wind influence. *Limnol.Oceanogr.*, 32 (2): 327-339.
- DESIKACHARY, T. V., 1959, *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, 686p.
- DOKULIL, M.T. & TEUBNER, K., 2000, Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia*, 438: 1-12.
- DOMINGOS, P. & MENEZES, M., 1998, Taxonomic remarks on planktonic phytoflagellates in a hypertrophic tropical lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, 369/370: 297-313.
- DOMINGOS, P., 1991, *Estrutura da comunidade fitoplanctônica e produção primária na Lagoa de Saquarema, RJ*. Dissertação de mestrado, UFF, Rio de Janeiro, 155p.
- EDLER, L., 1979, *Recomendation for Marine Biological Studies in the Baltic Sea: Phytoplankton and chlorophyll*. (Unesco Working group 11) 38p.
- FERRARIO, M.E., SAR, E.A. & SALA, S.E., 1995, Metodologia básica para el estudio del fitoplancton com especial referencia a las diatomeas. pp. 1-23. In: K. Alveal, M.E. Ferrario, E.C. Oliveira & E. Sar (eds.), *Manual de Métodos Ficológicos*, Universidad de Concepcion, Concepcion.
- FRANCESCHINI, I.M., 1992, *Algues d'eau douce de Porto Alegre, Brésil (les Diatomophycees exclues)*. J. Cramer, Berlin, 73p.
- GEITLER, L., 1932, *Cyanophyceae*. In: L. Rabenhorst, L. kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. 2 ed.: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig, 1196p.
- GERMAIN, H., 1981, *Flore des Diatomées-Diatomophycées*. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris, 444p.
- GOSSELAIN, V., HAMILTON, P.B. & DESCY, J., 2000, Estimating phytoplankton carbon from microscopic counts: an application for riverine systems. *Hydrobiologia*, 438: 75-90.
- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C-D., KIRSCHTEL, D., POLLINGHER, U. & ZOHARY, T., 1999, Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.*, 35: 403-424.
- HUBER-PESTALOZI, G., 1968, *Cryptophyceae, Choloromonadophyceae, Dinophyceae. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. pt. 3, 310p. (Die Binnengewässer, August Thienemann, v.16).
- HUSZAR, V.L.M. & REYNOLDS, C.S., 1997, Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in na Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, 346: 169-181.

- HUSZAR, V.L.M. & CARACO, N.F., 1998, The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional descriptors in six temperate lakes. *Freshwater Biology*, 40: 679-696.
- HUSZAR, V.L.M., SILVA, L.H.S., MARINHO, M., DOMINGOS, P., & SANT'ANNA, C.L., 2000, Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia* 424: 67-77.
- JEPPESEN, E., JENSEN, J.P., SØNDERGAARD, M. & LAURIDSEN, T. 1999. Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia*, 408/409: 217-231.
- JEPPESEN, E., SØNDERGAARD, M., SORTKJÆR, O., MORTENSEN, E. & KRISTENSEN, P., 1990, Interactions between phytoplankton, zooplankton and fish in a shallow, hypertrophic lake: a study of phytoplankton collapses in Lake Søbygård, Denmark. *Hydrobiologia*, 191: 149-164.
- KLEEREKOPER, H. 1990, *Introdução ao estudo da limnologia*. 2.ed. Ed. da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 329p.
- KOMÁREK, J. & FOTT, B., 1983, *Chlorophyceae-Chlorococcales*. In: G. Huber-Pestalozzi, Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pt. 7, 1044p. (Die Binnengewässer, v.16).
- KOMÁREK, J. & KLING, H., 1991, Variation in six planctonic cyanophyte genera in Lake Victoria (East Africa). *Algological Studies*, 6: 21-45.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & CRONBERG, G., 1992, New and recombined filamentous Cyanophytes from lakes in South Scania, Sweden. *Algological Studies*, 67: 21-31.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1986, *Bacillariophyceae: Naviculaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, Süßwasserflora von Mitteleuropa. G. Fischer Verlag, Stuttgart, v.2, pt.1, 1876p.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1988, *Bacillariophyceae: Bacillariophyceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, Süßwasserflora von Mitteleuropa. G. Fischer Verlag, Stuttgart, v.2, pt.2, 596p.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1991, *Bacillariophyceae: Centrales, Fragillariaceae, Eunotiaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, Süßwasserflora von Mitteleuropa. G. Fischer Verlag, Stuttgart, v.2, pt.3, 576p.
- LEGENDRE, L. & DEMERS, S., 1984, Towards dynamic biological oceanography and limnology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 2-19.
- LEWIS, W.M., 1976, Surface/Volume Ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, 192: 885-887.
- LOBO, E.A. & LEIGHTON, G., 1986, Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios Y esteros de la zona central de Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 22(1): 1-29.
- LOPARDO, N., (em preparação), *Estudo hidrodinâmico e correlações com variáveis ambientais na Lagoa Itapeva no Litoral Norte do rio grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, IPH/UFRGS, Porto Alegre.
- MAKAREWICZ, J.C., 1987, Phytoplankton composition, abundance, and distribution: nearshore Lake Ontario and Oswego River and Harbor. *J. Great Lakes Res.* 13 (1): 56-64.

- MATHES, J. & ARNDT, H., 1995, Annual cycle of protozooplankton (ciliates, flagellates and sarcodines) in relation to phyto-and metazooplankton in Lake Neumühler See (Mecklenburg, Germany). *Arch. Hydrobiol.* 134 (3): 337-358.
- MCCUNE, B & MEFFORD, M.J., 1999, *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data – Version 4*. MJM Software Design, Gleneden Beach, 273 p.
- MILLET, B. & CECCHI, P., 1992, Wind-induced hydrodynamic control of the phytoplankton biomass in a lagoon ecosystem. *Limnol.Oceanogr.*, 37 (1):140-146.
- PADISÁK, J. & DOKULIL, M., 1994, Meroplankton dynamics in a saline, turbulent, turbid shallow lake (Neusiedlersee, Austria and Hungary). *Hydrobiologia*, 289 (1-3): 23-42.
- PANOSSO, R. de F., ATTAYDE, J.L. & MUEHE, D, 1998, Morfometria das Lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus: implicações para seu funcionamento e manejo. In: F. de A. Esteves (ed.), *Ecologia das lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*, NUPEM/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 91-108.
- PAPPAS, J.L. & STOERMER, E.F., 1996, Quantitative method for determining a representative algal sample count. *J. Phycol.* 32: 693-696.
- REYNOLDS, C.S., 1994a, The role of fluid motion in the dynamics of phytoplankton in lakes and rivers. In: P.S.Giller, A.G.Hilldrew & D. Raffaelli (eds), *Ecology of aquatic organisms: scale, pattern, process*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p.141-187.
- REYNOLDS, C.S., 1994b, The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia*, 289: 9-21.
- SANT'ANNA, C.L., SORMUS, L., TUCCI, A. & AZEVEDO, M.T. de P., 1997, Variação sazonal do fitoplâncton do lago das garças, São Paulo, SP. *Hoehnea*, 24(1): 67-86.
- SCHILLER, J., 1937, *Dinoflagellatae (Peridineae) in monographischer Behandlung*. In: L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora. Academic Verlag, Leipzig, teil 2, 617p.
- SCHWARZBOLD, A. & SCHÄFER, A., 1984, Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazoniana*, 9 (1): 87-104.
- SHARMA, R.V., EDWARDS, R.T. & BECKETT, R., 1998, Analysis of bacteria in aquatic environments using sedimentation field-flow fractionation: (I) biomass determination. *Wat. Res.* 32 (5): 1497-1507.
- SIMONSEN, R., 1974, The diatoms plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V "Meteor", 1964-1965. "Meteor" Forsch.-Ergebnisse Reihe D- *Biol. Berlin* (19):1-66.
- SOURNIA, A. (ed.), 1978. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris, 337p.
- TORGAN, L. C. & AGUIAR, L. W., 1978, Diatomáceas do “rio”Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (23): 19-63.
- TORGAN, L. C., 1985, Estudo taxonômico de diatomáceas (Bacillariophyceae) da represa de Águas Belas, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (33): 17-104.
- TORGAN, L. C., 1997, *Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um ciclo anual*. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 284p.
- TORGAN, L.C., BECKER V. & RODRIGUES, S.C., 1998, Volume celular de espécies fitoplanctônicas da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências*, 6 (1): 183-186.

- TORGAN, L.C., BECKER, V. & PRATES, H.M., 1999, Checklist das diatomáceas (Bacillariophyta) de ambientes de águas continentais e costeiras do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia - Série Botânica*, (52): 89-144.
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E., 2000, *Limnological Analyses*. 3 ed. Springer-Verlag, New York, 429p.

## CAPÍTULO 2

### FLUTUAÇÕES SAZONAIS DA RIQUEZA E DA DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA NA LAGOA ITAPEVA, RS

#### RESUMO

Geralmente a diversidade está associada diretamente à estabilidade da comunidade ou a complexidade da teia alimentar, e inversamente ao grau de alterações dos sistemas. No princípio da exclusão competitiva a diversidade de espécies é suprimida quando o equilíbrio ecológico é atingido. Assim, distúrbios com intensidade, frequência e duração apropriadas preveniriam a exclusão competitiva e assim manteriam a diversidade de espécies mais elevada. A proposta deste trabalho é verificar a variação espaço-temporal da diversidade calculada a partir de indivíduos e de biomassa, bem como averiguar a variação riqueza da comunidade fitoplanctônica. Além disso, faz parte da pesquisa verificar a relação dos fatores físicos (velocidade/direção de vento e nível d'água) com os valores de diversidade do fitoplâncton. A Lagoa Itapeva é a primeira lagoa do sistema no sentido N→S, e forma por si só a maior área de drenagem e captação de água no Sistema Lagunar de Tramandaí, com uma área total de 124,75 km<sup>2</sup>. Foram escolhidos três pontos de amostragem (Ponto Norte, Ponto Centro e Ponto Sul) de acordo com o eixo longitudinal da lagoa. A amostragem foi realizada durante dois dias não consecutivos, em quatro turnos (6h, 10h, 14h e 18h) durante quatro campanhas sazonais. A coleta do material foi realizada através de garrafa horizontal de Van Dorn. A biomassa foi estimada através do biovolume. A diversidade específica foi estimada através da função Shannon-Wiener ( $H'$ ). A riqueza e as diversidades de espécies, por indivíduos ( $H'$ ind) e por biomassa ( $H'$  biom), apresentaram uma variação temporal sazonal. Para os índices de diversidade calculados, o outono foi à estação do ano que apresentou diferença em relação às outras, devido à floração da cianobactéria *Anabaena circinalis*. Na Lagoa Itapeva, a dominância de *Anabaena circinalis*, que abrangeu toda a lagoa na floração de outono, além de episódios como este em alguns pontos nas demais campanhas, também apresentou este comportamento, que caracterizou uma densa biomassa, baixa riqueza e baixos valores de diversidade por biomassa. Assim, pode-se dizer que os dados na Lagoa Itapeva provavelmente possam confirmar a hipótese de Connell (1978), pois a baixa diversidade esteve relacionada com a ausência de distúrbios ou com distúrbios muito intensos, e a alta diversidade com distúrbios de frequências ou intensidade intermediárias.

## ABSTRACT

Generally, diversity is directly associated to the stability of the community or to the complexity of the food web and, inversely, to the degree of alterations in the systems. In the principle of competitive exclusion, the diversity of species is suppressed when ecological balance is achieved. In this way, disturbances with the appropriate intensity, frequency and duration would prevent competitive exclusion and thus maintain the highest species diversity. The proposal of this study is to look at the space-time variation of diversity, calculated based on individuals and biomass, as well as to find out the wealth of the phytoplankton community. Furthermore, part of the research consists of verifying the relationship of physical factors (velocity/wind direction and water level) to the diversity values of the phytoplankton. Itapeva Lake in itself forms the largest water drainage and intake area in the Tramandaí Lagoon System, with a total area of 124.75 km<sup>2</sup>. Three sampling points were chosen (North Point, Center Point and South Point) according to the longitudinal axis of the Lake. The sampling was performed on two non-consecutive days, on four shifts (6 am, 10 am, 2pm and 6 pm) over four seasonal campaigns. Material was collected using a horizontal Van Dorn bottle. The biomass was estimated by biovolume. The specific diversity was estimated using the Shannon-Wiener function ( $H'$ ). The wealth and diversity of species, by individuals ( $H'$ ind) and by biomass ( $H'$ biom), presented a seasonal time variation. For the diversity indexes calculated, autumn was the season of the year that presented a difference compared with the others, due to the bloom of cyanobacteria *Anabaena circinalis*. In Itapeva Lake the predominance of *Anabaena circinalis*, that covered the whole Lake during the autumn bloom, besides episodes like these at some points during the other campaigns, also presented this behavior, which characterized a dense biomass, small wealth and low diversity values per biomass. Thus, it may be said that the data from Itapeva Lake probably its can confirm the hypothesis of Connell (1978), since the small diversity was related to the absence of disturbances or to very intense disturbances, and high diversity to intermediate frequency or intensity disturbances.

## INTRODUÇÃO

A diversidade é dependente do número de espécies (riqueza) na comunidade e na distribuição dos indivíduos entre as espécies (equitabilidade) (Pielou, 1966). Em geral, a diversidade está associada diretamente à estabilidade da comunidade ou a complexidade de teia alimentar, e inversamente ao grau de alterações dos sistemas (Margalef, 1983).

Número de indivíduos são utilizados para o cálculo do índice de diversidade (Harris, 1986), entretanto, a introdução do índice baseado na biomassa é indicado. Assim, o índice enfatiza a influência de algas de grande porte (apresentando maior volume, conseqüentemente maior biomassa), refletindo uma visão mais realista da situação do ambiente aquático (Holzmann, 1993).

Vários trabalhos têm enfatizado a importância desta abordagem, que utiliza a biomassa no cálculo do índice de diversidade, relacionando com a Hipótese de Distúrbio Intermediário (Chorus & Schlag, 1993; Holzmann, 1993; Jacobsen & Simonsen, 1993; Padišák, 1993; Rojo & Alvarez-Cobelas, 1993; Sommer et al., 1993). Esta hipótese do distúrbio intermediário formulada por Connell (1978) para recifes de coral e florestas tropicais, baseia-se em que o distúrbio é uma mudança na estrutura mínima de um objeto ecológico causado por um fator externo em um nível de estresse (indivíduo, população, comunidade, etc.). Sua aplicação sempre dependerá da percepção da estrutura de sistemas ecológicos envolvidos.

No princípio da exclusão competitiva de Hardin (1960), a diversidade de espécies é suprimida quando o equilíbrio ecológico é atingido (clímax). Assim, distúrbios com intensidade, freqüência e duração apropriadas preveniriam a exclusão competitiva e assim manteriam a diversidade de espécies mais elevada (Reynolds, 1993).

Em lagos rasos europeus foram verificados efeitos do zooplâncton na diversidade do fitoplâncton. Mudanças na pressão do pastejamento independente da freqüência de distúrbio levaram a um decréscimo da diversidade fitoplanctônica pela redução tanto da equitabilidade quanto da riqueza (Pádisak, 1993). Holzmann (1993), observou que a alta diversidade ocorre em comunidades instáveis, onde há evento de estresse de vento; e a baixa diversidade ou o decréscimo desta está vinculada a períodos estáveis. Condições ambientais estáveis no Lago Gødstrup (Dinamarca) propiciaram uma floração da cianobactéria filamentosa *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, que constituiu 99% da biomassa fitoplanctônica, coincidindo com baixos valores de diversidade de espécies e equitabilidade do fitoplâncton (Jacobsen & Simonsen, 1993).

A proposta deste trabalho é verificar a variação espaço-temporal da diversidade a partir de indivíduos e de biomassa, bem como averiguar variação a riqueza da comunidade fitoplanctônica. Além disso, faz parte da pesquisa verificar a relação dos fatores físicos (velocidade/direção de vento e nível d'água) com os valores de diversidade do fitoplâncton.

## MATERIAL E MÉTODOS

A Lagoa Itapeva (a primeira lagoa do sistema no sentido N→S) forma por si só a maior área de drenagem e captação de água no Sistema Lagunar de Tramandaí. A lagoa apresenta um formato alongado com uma profundidade máxima de 3,5 m e profundidade média de 2,23 m. (Schwarzbold & Schäfer, 1984). A área total da lagoa corresponde a 124,75 km<sup>2</sup> e um volume de 245,5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, de acordo com Lopardo (em preparação).

Foram escolhidos três locais de amostragem, ao longo da Lagoa Itapeva (*capítulo 1*, Fig. 1.1), alinhados de acordo com o eixo longitudinal e direção predominante de ventos na região (NE-SW): Ponto Norte (0615690E – 6747815N), Ponto Centro (0603350E – 6732254N) e Ponto Sul (0597474E – 6725967N). Em cada um destes pontos foi instalada uma torre que continha os seguintes equipamentos: linígrafo (datalogger IPH), régua linimétrica e estação meteorológica (DAVIS, Weather Wizard III, Weather Link). A régua linimétrica foi nivelada em relação a RN do IBGE.

O trabalho constou de quatro campanhas, abrangendo as quatro estações do ano, efetuadas nas seguintes datas:

⇒ 14 a 20 de dezembro de 1998- primavera (Dez/98)

⇒ 01 a 07 de março de 1999 – verão (Mar/99)

⇒ 20 a 26 de maio de 1999 – outono (Mai/99)

⇒ 13 a 19 de agosto de 1999 – inverno (Ago/99)

Os dados da estação meteorológica (temperatura do ar, precipitação, velocidade e direção de vento) e linígrafo (nível d'água) foram registrados nos sete dias consecutivos das campanhas sazonais, em intervalos curtos de tempo (30 e 15 minutos) (Cardoso, 2001). Os dados utilizados foram da torre amostral do ponto Centro.

Cardoso (2001) realizou o cálculo do *fetch* efetivo ( $L_f$  em km) e a altura da onda produzida no sistema, para cada ponto de amostragem na Lagoa Itapeva. Estes dados foram utilizados neste estudo a fim de verificar a interferência do *fetch* na variação espaço-temporal da biomassa.

A coleta de fitoplâncton teve uma frequência amostral de quatro vezes ao longo do dia (6h, 10h, 14h, 18h), durante dois dias com 24h de intervalo entre os dias de amostragens.

A coleta foi realizada na superfície da água, através de uma garrafa horizontal de Van Dorn de 2 L (Wetzel & Likens, 2000). Após o material foi fixado com Lugol (Sournia, 1978) e conservado em vidro âmbar.

A análise quantitativa foi realizada utilizando de câmara de Sedwick-Rafter (APHA, 1992), em microscópio óptico Zeiss Jenaval, com oculares de 16x, sendo considerados o número de indivíduos e células dos organismos com cromoplastos. Inicialmente as amostras foram concentradas de acordo com a quantidade de partículas em suspensão (quanto mais partículas menos concentrada a amostra, devido à dificuldade de visualização).

Visando o tempo que é consumido em cada quantificação e o número de amostras coletado, partiu-se uma eficiência mínima de 80%, onde a eficiência é a probabilidade que um número necessário de indivíduos seja contado. A eficiência máxima em contagem significa que a probabilidade de uma nova espécie a ser encontrada seja mínima (Pappas & Stoermer, 1996).

A eficiência foi estimada utilizando a seguinte fórmula (Pappas & Stoermer, 1996):

$$\text{Eficiência (\%)} = 1 - \left[ \frac{\text{número de espécies}}{\text{número de indivíduos}} \right] \times 100$$

A análise qualitativa do material foi também realizada com microscópio óptico Zeiss Jenaval, com oculares de 16x, identificando, sempre que possível a nível específico. Para as diatomáceas foi realizada a preparação de lâminas permanentes (Ferrario et al., 1995), tendo sido montadas com Entellan (Índice de refração 1,49-1,50) após a oxidação do material. Para essa oxidação empregou-se a técnica de Simonsen (1974).

Fotomicrografias foram realizadas para o registro e auxílio na identificação, a partir de lâminas semipermanentes (montadas com glicerina líquida) ou permanentes, através de câmara marca Zeiss, em microscópios Zeiss, Axioplan e Axioscop.

A identificação do fitoplâncton foi efetuada com base nas seguintes bibliografias: Para **Cyanophyta**, as obras de Geitler (1932); Desikachary (1959); Campos & Senna (1988); Komárek & Kling (1991), Komárková-Legnerová & Cronberg (1992), Torgan (1997). Para **Chlorophyta**, os trabalhos de Komárek & Fott (1983) e Franceschini (1992). Para **Bacillariophyta**, Torgan & Aguiar (1978); Germain (1981); Torgan (1985); Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991), Callegaro et al.(1993), Costa (1995); Torgan (1997). Para **Cryptophyta**, as obras de Huber-Pestalozzi (1968) e Torgan (1997). Para as **Euglenophyta**, a obra de Bourrelly (1970) e para **Crysophyta**, Bourrelly (1968). Para **Dinophyta**, a obra de Schiller (1937).

A nomenclatura das diatomáceas foi atualizada conforme Torgan et al. (1999).

Os cálculos da diversidade, através de indivíduos e biomassa, foram realizados pelo programa PC-ORD<sup>®</sup> - versão 4.0 (McCune & Mefford, 1999). A diversidade específica foi estimada através da função Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Shannon & Weaver, 1949 *apud* Krebs, 1978), a partir dos dados de densidade e expressa em bits.ind<sup>-1</sup> e de biomassa, em bits.mg<sup>-1</sup>, segundo a expressão:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

onde:  $H'$  é o índice de diversidade de Shannon-Wiener

$$p_i = N_i/N$$

$N_i$  = n° total de indivíduos ou biomassa total de cada espécie

$N$  = n° total de indivíduos ou biomassa total na amostra

$S$  = n° de espécies na amostra

$i$  = espécie inéssima

A riqueza de espécies foi verificada pelo número de táxons presentes em cada amostra quantificada.

No capítulo anterior (*capítulo 1*) foram apresentados os fatores físicos (velocidade e direção de vento) (Tabela 1.2, Fig.1.11), bem como os dados de densidade e biomassa (Figs. 1.3, 1.4, 1.12, 1.13, 1.14 e 1.15), que serão abordados neste capítulo. Foram realizadas as análises descritivas, de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) e regressão. Também se efetuou análise de variância (ANOVA) “one way”, aplicando o teste de Tukey, onde foram utilizados os fatores ponto, dia e estação do ano.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição fitoplanctônica da Lagoa Itapeva constou de 121 táxons, distribuídos em 7 Divisões Taxonômicas (Tabela 2.1). O estudo realizado no perfil da coluna d'água (superfície, meio e fundo) por Cardoso (2001) na mesma lagoa, constatou 148 táxons, onde algumas espécies foram agrupadas dentro de um mesmo gênero por não terem sido identificadas a nível específico.

Na primavera verificou-se a maior riqueza de espécies (83 spp.) e no outono esta diminui (50 spp.) devido à ocorrência da floração da cianobactéria *Anabaena circinalis* Rabenhorst *ex* Bonet & Flahault. A variação espacial da riqueza apresentou um gradiente decrescente N→S na primavera (Dez/98) e no outono (Mai/99), sendo crescente neste sentido no inverno (Ago/99) (Fig.2.1). No verão (Mar/99) o ponto Centro obteve maior riqueza (Fig.2.1).

Tabela 2.1. Composição fitoplanctônica da Lagoa Itapeva, RS, durante o período de dezembro/1998 a agosto/1999.

| Divisão                                  | Espécie                                                                             | Divisão                                             | Espécie                                                                     |                                                                                                   |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bacillariophyta</b>                   | <i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen                                     | <b>Cyanophyta</b>                                   | <i>Anabaena</i> sp.                                                         |                                                                                                   |
|                                          | <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen                                   |                                                     | <i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst ex Bonet & Flahault                   |                                                                                                   |
|                                          | <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen var. <i>angustissima</i> O.Müller |                                                     | <i>Anabaena spiroides</i> Klebahn                                           |                                                                                                   |
|                                          | <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Cleve        |                                                     | CF. <i>Aphanizomenon</i>                                                    |                                                                                                   |
|                                          | <i>Cyclotella</i> sp.                                                               |                                                     | <i>Aphanizomenon</i> sp.                                                    |                                                                                                   |
|                                          | <i>Cymbella</i> sp.                                                                 |                                                     | <i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. et G.S. West                            |                                                                                                   |
|                                          | <i>Eunotia</i> sp.1                                                                 |                                                     | <i>Aphanocapsa nubilum</i> Komárek & Cronberg                               |                                                                                                   |
|                                          | <i>Eunotia</i> sp.2                                                                 |                                                     | <i>Aphanocapsa roeseana</i> Bary                                            |                                                                                                   |
|                                          | <i>Eunotia camelus</i> Ehrenberg                                                    |                                                     | <i>Aphanothece</i> sp.                                                      |                                                                                                   |
|                                          | <i>Eunotia didyma</i> Hustedt ex Zimmermann                                         |                                                     | <i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann                                    |                                                                                                   |
|                                          | <i>Eunotia sudetica</i> O. Müller                                                   |                                                     | <i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli                                   |                                                                                                   |
|                                          | <i>Eunotia valida</i> Hustedt                                                       |                                                     | <i>Chroococcus minutus</i> (Keissler) Lemmermann                            |                                                                                                   |
|                                          | <i>Fragilaria</i> sp.                                                               |                                                     | <i>Coelosphaerium</i> sp.                                                   |                                                                                                   |
|                                          | <i>Gyrosigma</i> sp.                                                                |                                                     | <i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli                                  |                                                                                                   |
|                                          | <i>Navicula cryptocephala</i> Kützing                                               |                                                     | <i>Cyanodictyon imperfectum</i> Cromberg et Weibull                         |                                                                                                   |
|                                          | <i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot                                        |                                                     | <i>Cyanodictyon reticulatum</i> (Lemmermann) Geitler                        |                                                                                                   |
|                                          | <i>Navicula</i> sp.                                                                 |                                                     | <i>Gloeocapsa</i> cf. <i>kuetzingiana</i> Nägeli                            |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.1                                                               |                                                     | <i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann                                   |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.2                                                               |                                                     | <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing                             |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.3                                                               |                                                     | <i>Microcystis</i> cf. <i>minutissima</i> W. West                           |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.4                                                               |                                                     | <i>Oscillatoria</i> cf. <i>tenuis</i> Agardh                                |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.5                                                               |                                                     | <i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárkova-Legnerová & Cronberg |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.6                                                               |                                                     | <b>Chlorophyta</b>                                                          |                                                                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.7                                                               |                                                     |                                                                             | <i>Ankistrodesmus</i> sp.                                                                         |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.8                                                               |                                                     |                                                                             | <i>Closteriopsis acicularis</i> (G.M. Smith) Belcher & Swale                                      |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.9                                                               |                                                     |                                                                             | <i>Closterium acutum</i> Brébisson var. <i>variabile</i> (Lemmermann) W. Krieg                    |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.10                                                              |                                                     |                                                                             | <i>Closterium parvulum</i> Nägeli                                                                 |
|                                          | <i>Nitzschia</i> sp.11                                                              |                                                     |                                                                             | <i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) Komárek                                               |
|                                          | <i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) Wm. Smith                                     |                                                     |                                                                             | <i>Crucigeniella crucifera</i> (Wolle) Komárek                                                    |
|                                          | <i>Nitzschia amphibia</i> Grunow                                                    |                                                     |                                                                             | <i>Golenkinia radiata</i> Chodat                                                                  |
|                                          | <i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow                                         |                                                     |                                                                             | <i>Kirchneriella arcuata</i> G.M. Smith                                                           |
|                                          | <i>Nitzschia</i> cf. <i>fruticosa</i> Hustedt                                       |                                                     |                                                                             | <i>Kirchneriella</i> cf. <i>contorta</i> (Schmidle) Bohlin var. <i>elegans</i> (Playford) Komárek |
|                                          | <i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch                                                  |                                                     |                                                                             | <i>Kirchneriella obesa</i> (W. West) Schindler                                                    |
|                                          | <i>Nitzschia</i> cf. <i>intermedia</i> Hantzsch                                     |                                                     |                                                                             | <i>Lagerheimia ciliata</i> (Lagerheim) Chodat                                                     |
|                                          | <i>Nitzschia</i> cf. <i>lanceolata</i> Wm. Smith                                    |                                                     |                                                                             | <i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korsikov) Hindák                                                   |
|                                          | <i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) Wm. Smith                                        |                                                     |                                                                             | <i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárkova-Legnerová                                       |
|                                          | <i>Nitzschia palea</i> (Kützing) Wm. Smith                                          |                                                     |                                                                             | <i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárkova-Legnerová                                    |
|                                          | <i>Nitzschia sigma</i> Wm. Smith                                                    |                                                     |                                                                             | <i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárkova-Legnerová                                         |
|                                          | <i>Nitzschia</i> cf. <i>subacicularis</i> Hustedt                                   |                                                     |                                                                             | <i>Monoraphidium tortile</i> (W. & G.S. West) Komárkova-Legnerová                                 |
|                                          | <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg                                       |                                                     |                                                                             | <i>Mougeotia</i> sp.                                                                              |
|                                          | <i>Pinnularia</i> sp.                                                               |                                                     |                                                                             | <i>Oocystis lacustris</i> Chodat                                                                  |
|                                          | <i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg                                                  |                                                     |                                                                             | <i>Pediastrum duplex</i> Meyen var. <i>duplex</i>                                                 |
|                                          | <i>Stauroneis</i> sp.1                                                              |                                                     |                                                                             | <i>Pediastrum duplex</i> Meyen var. <i>gracillimum</i> W. & G.S. West                             |
|                                          | <i>Stauroneis</i> sp.2                                                              |                                                     |                                                                             | <i>Pediastrum simplex</i> Meyen                                                                   |
|                                          | <i>Staurosira construens</i> (Ehrenberg) Williams & Round                           |                                                     |                                                                             | <i>Scenedesmus</i> sp.1                                                                           |
|                                          | <i>Surirella guatemalensis</i> Ehrenberg                                            |                                                     |                                                                             | <i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat var. <i>minor</i> G.M. Smith                     |
|                                          | <i>Surirella ovata</i> Kützing var. <i>minuta</i> (Schumann) Kirchner               |                                                     |                                                                             | <i>Scenedesmus communis</i> Hegewald                                                              |
| <i>Surirella tenera</i> Gregory          | <i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat                                       |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Surirella</i> sp.1                    | <i>Scenedesmus intermedius</i> Chodat                                               |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Surirella</i> sp.2                    | <i>Scenedesmus</i> cf. <i>ovalternus</i> Chodat                                     |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Surirella</i> sp.3                    | <i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson var. <i>parvus</i> G.S. Smith     |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Synedra</i> sp.1                      | <i>Schroederia setigera</i> (Schröder) Lemmermann                                   |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg  | <i>Sphaerocystis planctonica</i> (Korsikov) Bourrelly                               |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Tryblionella levidensis</i> Wm. Smith | <i>Tetraedron trigonum</i> (Nägeli) Hansgirg                                        |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Tryblionella victoriae</i> Grunow     | <i>Tetrastrum elegans</i> Playfair                                                  |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
| <b>Cryptophyta</b>                       | <i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl                                                    | <i>Tetrastrum glabrum</i> (Roll) Ahlstrom & Tiffany |                                                                             |                                                                                                   |
|                                          | <i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg                                                  | <i>Tetrastrum triacanthum</i> Korsikov              |                                                                             |                                                                                                   |
| <b>Crysochyta</b>                        | <i>Cryptomonas marsonii</i> Skuja                                                   | <i>Tetrastrum triangulare</i> (Chodat) Komárek      |                                                                             |                                                                                                   |
|                                          | <i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg                                               | <b>Euglenophyta</b>                                 |                                                                             |                                                                                                   |
| <i>Mallomonas</i> sp.                    | <i>Trachelomonas</i> sp.                                                            |                                                     |                                                                             |                                                                                                   |
|                                          |                                                                                     | <i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg            |                                                                             |                                                                                                   |
|                                          |                                                                                     | <b>Dinophyta</b>                                    |                                                                             |                                                                                                   |
|                                          |                                                                                     |                                                     |                                                                             | <i>Gymnodinium</i> sp.                                                                            |
|                                          |                                                                                     | <i>Peridinium</i> sp.                               |                                                                             |                                                                                                   |

Salomoni (1997), apresentou a riqueza fitoplanctônica de três lagoas do Sistema do Litoral Norte do RS: Marcelino (48 ssp), Peixoto (29 ssp.) e Pinguela (31 ssp.). Estes valores de riqueza foram baixos em relação à Lagoa Itapeva. A biomassa, como foi visto no capítulo anterior, foi a variável que melhor se relacionou com os fatores físicos estudados, demonstrando a real situação da lagoa nos momentos de estabilidade e distúrbio. Assim, é esperado que a diversidade calculada a partir desta variável evidenciará ainda mais este fato.

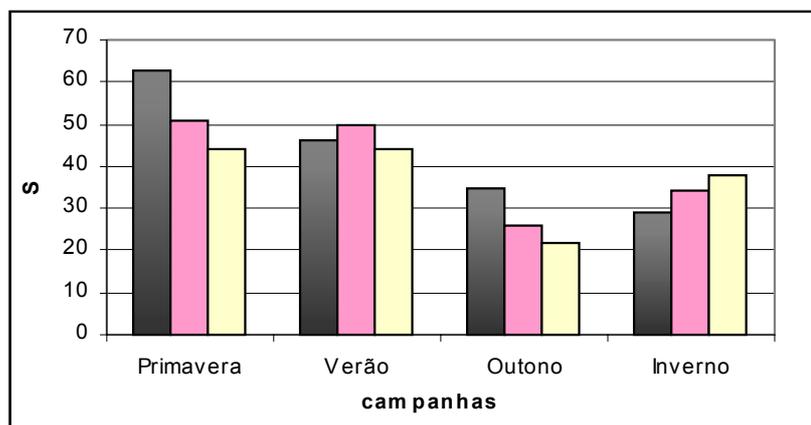


Figura 2.1. Riqueza fitoplanctônica (= nº táxons) nos pontos de amostragem e nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva/RS.

S= riqueza. (Primavera= Dez/98; Verão=Mar/99; Outono= Maio/99; Inverno= Ago/99)

O índice de Shannon atribui um peso maior a espécies raras. Como este índice é derivado da teoria da informática, representando um tipo de formulação largamente usado para avaliar a complexidade e o conteúdo informático de todo o tipo de sistemas, ele é um dos melhores para ser usado em comparações caso não haja interesse em se separarem os dois componentes da diversidade (Odum, 1988).

A diversidade por indivíduos na Lagoa Itapeva flutuou de 0,59 bits.ind.<sup>-1</sup> no outono (ponto Norte) a 2,50 bits.ind.<sup>-1</sup> no verão (ponto Centro) (Tabela 2.2). Comparando a Lagoa Itapeva, com outras lagoas do Sistema do Litoral Norte, os dados de diversidade por indivíduos são mais baixos. O menor valor de diversidade encontrado no estudo de Salomoni (1997) foi de 2,94 bit.ind.<sup>-1</sup> na Lagoa Peixoto e o maior de 4,70 bit.ind.<sup>-1</sup> na Lagoa Marcelino. Esta última recebe uma sobrecarga de poluentes oriundos da cidade de Osório/RS, principalmente de resíduos domésticos, postos de gasolina, de pequenas indústrias e hospitais (Würdig et al., 1990 *apud* Salomoni, 1997).

Observou-se que a diversidade por indivíduos apresentou a mesma tendência da riqueza de espécies (Figs. 2.2 e 2.3), criando um gradiente decrescente no sentido N→S na primavera (Dez/98) e no outono (Mai/99), sendo crescente neste sentido no inverno (Ago/99) (Tabela 2.2). O ponto Centro foi a estação de amostragem que obteve maior diversidade por indivíduos no verão (Mar/99) (Tabela 2.2). A diversidade calculada a partir da biomassa variou de 0,16 bits.mg.<sup>-1</sup> no outono (ponto Sul) a 1,81 bits.mg.<sup>-1</sup> na primavera (ponto Norte) (Tabela 2.2). Observou-se um gradiente crescente do ponto Norte ao Centro e decrescente do Centro ao Sul nas campanhas da primavera e inverno, e decrescente do Norte ao Centro e crescente do Centro ao Sul no verão e no outono (Tabela 2.2). Tanto os valores de diversidade

calculados através de indivíduos ou de biomassa, apresentaram os seus valores máximos na primavera e os valores mínimos no outono (Tabela 2.2).

Tabela 2.2. Análise descritiva da diversidade a partir de indivíduos e biomassa, nos pontos de amostragem de cada campanha sazonal da Lagoa Itapeva/RS.

|         |                      | Primavera (Dez/98) |       |        |       | Verão (Mar/99)   |       |        |       |
|---------|----------------------|--------------------|-------|--------|-------|------------------|-------|--------|-------|
|         |                      | campanha           | Norte | Centro | Sul   | campanha         | Norte | Centro | Sul   |
| H' Inds | <b>n</b>             | 22                 | 8     | 6      | 8     | 24               | 8     | 8      | 8     |
|         | <b>média</b>         | 1,79               | 1,84  | 1,79   | 1,73  | 1,99             | 1,86  | 2,27   | 1,83  |
|         | <b>soma</b>          | 39,27              | 14,74 | 10,73  | 13,80 | 47,69            | 14,85 | 18,19  | 14,65 |
|         | <b>mínimo</b>        | 1,29               | 1,58  | 1,53   | 1,29  | 1,42             | 1,42  | 2,04   | 1,51  |
|         | <b>máximo</b>        | 2,23               | 2,23  | 2,12   | 2,20  | 2,50             | 2,30  | 2,50   | 2,23  |
|         | <b>variância</b>     | 0,06               | 0,06  | 0,06   | 0,08  | 0,08             | 0,08  | 0,02   | 0,05  |
|         | <b>desvio padrão</b> | 0,25               | 0,24  | 0,25   | 0,28  | 0,29             | 0,28  | 0,13   | 0,21  |
| H' biom | <b>n</b>             | 22                 | 8     | 6      | 8     | 24               | 8     | 8      | 8     |
|         | <b>média</b>         | 1,01               | 1,10  | 1,15   | 0,82  | 1,04             | 1,01  | 1,00   | 1,12  |
|         | <b>soma</b>          | 22,22              | 8,77  | 6,91   | 6,54  | 25,03            | 8,11  | 7,98   | 8,94  |
|         | <b>mínimo</b>        | 0,28               | 0,28  | 0,32   | 0,47  | 0,26             | 0,53  | 0,59   | 0,26  |
|         | <b>máximo</b>        | 1,81               | 1,81  | 1,70   | 1,02  | 1,58             | 1,48  | 1,48   | 1,58  |
|         | <b>variância</b>     | 0,17               | 0,23  | 0,25   | 0,04  | 0,12             | 0,08  | 0,10   | 0,20  |
|         | <b>desvio padrão</b> | 0,42               | 0,48  | 0,50   | 0,21  | 0,34             | 0,28  | 0,32   | 0,44  |
|         |                      | Outono (Mai/99)    |       |        |       | Inverno (Ago/99) |       |        |       |
|         |                      | campanha           | Norte | Centro | Sul   | campanha         | Norte | Centro | Sul   |
| H' Inds | <b>n</b>             | 24                 | 8     | 8      | 8     | 24               | 8     | 8      | 8     |
|         | <b>média</b>         | 0,95               | 1,07  | 0,97   | 0,81  | 1,75             | 1,46  | 1,86   | 1,92  |
|         | <b>soma</b>          | 22,88              | 8,58  | 7,79   | 6,51  | 41,92            | 11,64 | 14,91  | 15,37 |
|         | <b>mínimo</b>        | 0,59               | 0,59  | 0,63   | 0,65  | 0,81             | 0,81  | 1,46   | 1,41  |
|         | <b>máximo</b>        | 2,06               | 2,06  | 1,38   | 1,18  | 2,33             | 2,33  | 2,25   | 2,27  |
|         | <b>variância</b>     | 0,15               | 0,33  | 0,10   | 0,03  | 0,19             | 0,34  | 0,07   | 0,07  |
|         | <b>desvio padrão</b> | 0,39               | 0,57  | 0,32   | 0,17  | 0,44             | 0,58  | 0,27   | 0,27  |
| H' biom | <b>n</b>             | 24                 | 8     | 8      | 8     | 24               | 8     | 8      | 8     |
|         | <b>média</b>         | 0,51               | 0,70  | 0,38   | 0,45  | 0,96             | 0,97  | 1,07   | 0,85  |
|         | <b>soma</b>          | 12,26              | 5,60  | 3,03   | 3,64  | 23,15            | 7,78  | 8,59   | 6,77  |
|         | <b>mínimo</b>        | 0,16               | 0,35  | 0,25   | 0,16  | 0,43             | 0,44  | 0,49   | 0,43  |
|         | <b>máximo</b>        | 1,55               | 1,55  | 0,63   | 0,90  | 1,64             | 1,43  | 1,64   | 1,16  |
|         | <b>variância</b>     | 0,12               | 0,23  | 0,01   | 0,09  | 0,12             | 0,14  | 0,14   | 0,08  |
|         | <b>desvio padrão</b> | 0,35               | 0,48  | 0,12   | 0,30  | 0,34             | 0,37  | 0,37   | 0,29  |

H'inds= diversidade de Shannon-Wiener a partir de indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>), H' biom = diversidade de Shannon-Wiener a partir da biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>)

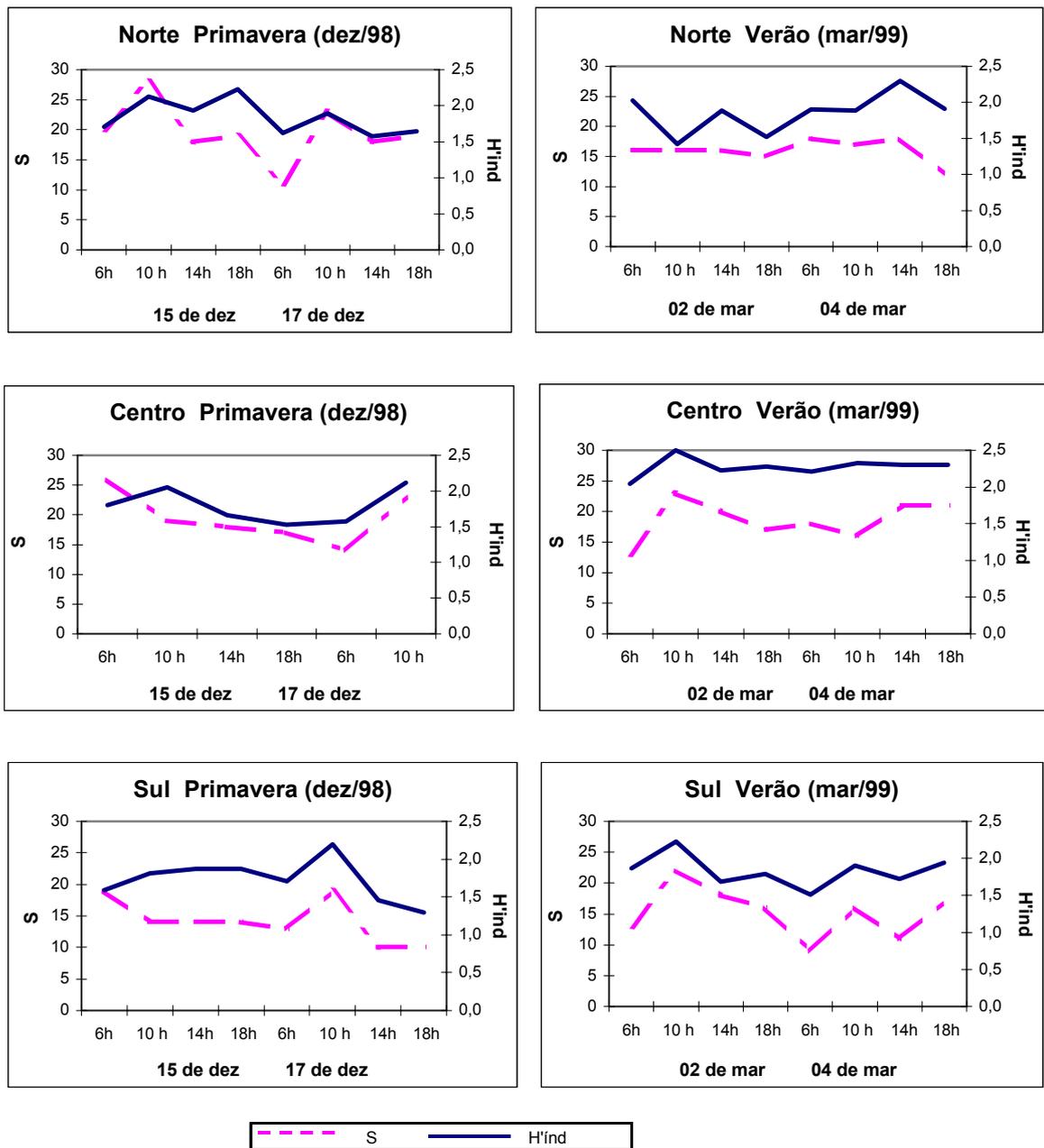


Figura 2.2. Diversidade de espécies por indivíduos em relação à riqueza fitoplanctônica nas campanhas de primavera e verão, nos turnos de amostragem na Lagoa Itapeva/RS.

S=riqueza (n° táxons), H'ind= diversidade de Shannon-Wiener a partir de indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>)

Na primavera no ponto Centro não houve coleta às 14h e 18h.

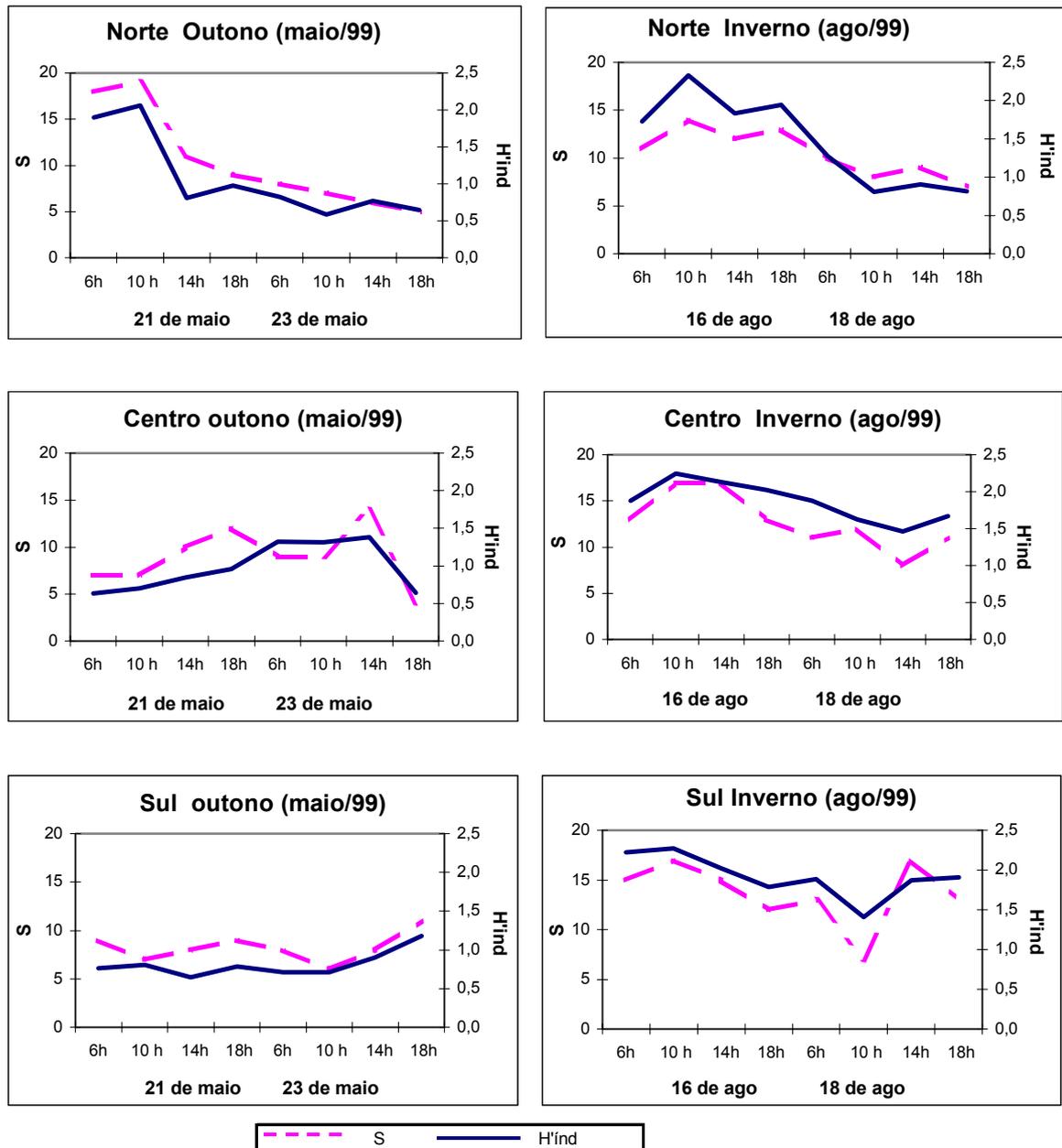


Figura 2.3. Diversidade de espécies por indivíduos em relação à riqueza fitoplanctônica nas campanhas de outono e inverno, nos turnos de amostragem na Lagoa Itapeva/RS.

S=riqueza (n° táxons),  $H'ind =$  diversidade de Shannon-Wiener a partir de indivíduos ( $bits.ind^{-1}$ )

Analisando cada ponto de coleta separadamente, por campanha em turnos de amostragem, pôde-se verificar que nem sempre as maiores ou menores diversidades foram acompanhadas das maiores ou menores riquezas, embora a tendência geral fosse ao contrário. O que se pôde observar foi que o comportamento destas variáveis foi semelhantes, isto é, quando havia um decréscimo de riqueza, havia um decréscimo de diversidade, como também quando havia um crescimento de riqueza, havia um crescimento dos valores de diversidade

calculada através de indivíduos (Figs. 2.2 e 2.3). Pôde-se se constatar também, que o comportamento da biomassa em relação a diversidade, calculada através desta, foi oposto ao descrito anteriormente, apresentando na maioria das vezes, uma alta biomassa e uma diversidade (calculada pela biomassa) baixa ou vice-versa (Figs. 2.4 e 2.5). Isto é, quando a biomassa apresentou seus picos máximos (estes fatos eram oriundo da floração de *Anabaena circinalis*), a diversidade calculada a partir da biomassa teve seus valores decrescidos (Figs. 2.4 e 2.5).

Na primavera a maior diversidade por indivíduos foi registrada no ponto Norte às 18h do primeiro dia de amostragem (15 Dez/98) ( $H'_{ind.} = 2,23$ ), mas a maior riqueza foi registrada no turno das 10h (28 spp.) nesse mesmo local de amostragem e dia (Fig. 2.2). A diversidade a partir da biomassa teve o seu ápice no segundo dia de coleta (17 Dez/98), no turno das 10h ( $H'_{biom} = 1,81$ ) (Fig. 2.4). No turno anterior, 6h, ocorreu uma floração temporária de *Anabaena circinalis* no ponto Norte, onde a biomassa apresentou um pico, decrescendo os valores de diversidade ( $H'_{biom} = 0,27$ ) (Fig. 2.4). Neste horário com vento predominante N, o *fetch* atuava nos pontos Centro e Sul, tornando o Norte um ambiente estável, propiciando a suspensão na água de cianobactérias providas de aerótopos, como é o caso de *A. circinalis*, *A. spiroides* e *Microcystis aeruginosa* (espécies estas que colaboraram para o pico de biomassa neste turno). Logo após, no turno seguinte (10h) no Norte, a biomassa diminuiu drasticamente, aumentando a diversidade (Fig. 2.4). Isto ocorreu devido à desestabilização do sistema, causada pela mudança do quadrante de vento para WNW, com uma velocidade média de  $7,6 \text{ m.s}^{-1}$ , causando uma turbulência nas águas do Norte, elevando o nível d'água no ponto Centro, principalmente devido ao deságüe do Rio Três Forquilhas, localizado à oeste da Lagoa Itapeva.

Na primavera houve uma grande amplitude na direção dos ventos, ocasionando uma constante turbulência no sistema. Com estas oscilações o ponto Centro foi o mais atingido pela ação do vento, independente do quadrante predominante, elevando o nível d'água. Assim estabeleceu-se correlações positivas do nível d'água deste ponto com a densidade de indivíduos ( $r = 0,79$ ), a riqueza de fitoplâncton ( $r = 0,93$ ), a diversidade por indivíduos ( $r = 0,97$ ) e a diversidade por biomassa ( $r = 0,79$ ) (Tabela 2.3). A diversidade por indivíduos ( $r = 0,77$ ) e a riqueza ( $r = 0,74$ ) do ponto Sul também tiveram correlações positivas com o nível d'água do Centro. A velocidade média do vento chegou a alcançar  $12,1 \text{ m.s}^{-1}$ , onde correlações negativas com a diversidade por indivíduos ( $r = -0,72$ ) e de biomassa ( $r = -0,91$ ) no ponto Centro e com a diversidade por indivíduos no Norte ( $r = -0,76$ ) (Tabela 2.3). No ponto Centro a diversidade calculada através de indivíduos manteve uma correlação positiva com a calculada através da biomassa ( $r = 0,74$ ), resultado do *fetch* intensificado pelo deságüe do Rio Três Forquilhas na

lagoa. No mesmo ponto a densidade de indivíduos também apresentou correlação positiva com a diversidade por indivíduos ( $r= 0,84$ ) e a riqueza ( $r= 0,94$ ) (Tabela 2.3).

No verão o ponto Centro apresentou a maior riqueza e a maior diversidade por indivíduos, no mesmo turno de amostragem do primeiro dia de coleta (02 Mar/99) às 10h (23 spp.,  $H'_{ind.}= 2,50$ ). Os pontos Norte e Sul exibiram comportamentos opostos, quando a riqueza e a diversidade por indivíduos decresciam num turno no ponto Norte, estas aumentavam no mesmo instante no ponto Sul (Fig. 2.2). Os valores de diversidade a partir da biomassa também obtiveram este mesmo comportamento nos pontos Norte e Sul (Fig. 2.4). Pode-se relacionar este fato com o efeito do *fetch* efetivo de direção NE, que apesar da velocidade de vento moderada, a direção constante neste período, propiciou um deslocamento da comunidade no sentido N→S (Figs. 2.2 e 2.4). O nível d'água apresentou o gradiente N→S, seguindo a ação do *fetch* efetivo. No verão, com a pequena oscilação de direção de ventos dos quadrantes NNE-ENE, o comportamento das médias de biomassa foram as mais homogêneas entre os pontos de amostragem, durante este estudo (*capítulo 1*, Tabela 1.1). Evidenciou-se em alguns momentos o aumento da biomassa com o decréscimo da diversidade por biomassa, como no Sul às 18h do primeiro dia de coleta (02 Mar/99) (Fig. 2.4). A análise de correlação evidencia o comportamento oposto densidade x diversidade. No ponto Norte a densidade esteve correlacionada negativamente com a diversidade (de indivíduos  $r= -0,72$ ; de biomassa  $r= -0,83$ ). Contudo, houve uma alta correlação positiva entre os índices de diversidade calculadas  $r=0,95$  somente no ponto Norte (Tabela 2.4). A riqueza do ponto Centro apresentou correlação positiva com a diversidade por indivíduos ( $r= 0,77$ ) (Tabela 2.4).

Durante o outono foram registrados os valores mais baixos de riqueza e diversidade (por indivíduos e por biomassa) (Figs. 2.3 e 2.5), devido à ocorrência da floração de *Anabaena circinalis* em toda a extensão da Lagoa Itapeva. Por este motivo à biomassa teve seus valores médios mais altos deste estudo (*capítulo 1*, Tabela 1.1).

Tabela 2.3. Matriz de correlação ( $r$ -Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n=8$ ) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), riqueza e diversidade (calculada a partir de indivíduos e biomassa) do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha da primavera (Dez/98) na Lagoa Itapeva, RS.

|          | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S | H'inds N | H'inds C | H'inds S | H'biom N | H'biom C | H'biom S | S N  | S C  | S S  |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|------|------|
| veloc N  | 1       |         |         |         | -0,81   |         |       |       |       | -0,76    | -0,72    |          |          | -0,91    |          |      |      |      |
| veloc C  |         | 1       |         |         | -0,81   |         |       |       |       | -0,76    | -0,72    |          |          | -0,91    |          |      |      |      |
| veloc S  |         |         | 1       |         | -0,81   |         |       |       |       | -0,76    | -0,72    |          |          | -0,91    |          |      |      |      |
| nível N  |         |         |         | 1       |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      |      |      |
| nível C  |         |         |         |         | 1       |         | 0,79  |       |       | 0,97     | 0,77     |          | 0,79     |          |          | 0,93 | 0,74 |      |
| nível S  |         |         |         |         |         | 1       |       | -0,71 |       |          |          |          |          |          |          |      |      |      |
| den N    |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |          |          |          |          |          |          |      |      |      |
| den C    |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       | 0,84     |          |          |          |          |          |      | 0,94 | 0,87 |
| den S    |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |          |          |          |          |          |          |      |      |      |
| H'inds N |         |         |         |         |         |         |       |       |       | 1        |          |          |          | 0,87     |          |      |      |      |
| H'inds C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          | 1        | 0,82     |          | 0,74     |          |      | 0,95 | 0,81 |
| H'inds S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          | 1        |          | 0,81     |          |      | 0,73 |      |
| H'biom N |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          | 1        |          |          |      |      |      |
| H'biom C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          | 1        |          |      |      |      |
| H'biom S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          | 1        |      |      |      |
| S N      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          | 1    |      |      |
| S C      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      | 1    | 0,92 |
| S S      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      |      | 1    |

veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul, H'inds N= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H'inds C= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H'inds S= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Sul, H' biom N= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H' biom C= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H' biom S= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Sul, S N= riqueza no ponto Norte, S C= riqueza no ponto Centro, S S= riqueza no ponto Sul.

Tabela 2.4. Matriz de correlação ( $r$ -Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n=8$ ) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), riqueza e diversidade (calculada a partir de indivíduos e biomassa) do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha do verão (Mar/99) na Lagoa Itapeva, RS.

|          | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S | H'inds N | H'inds C | H'inds S | H'biom N | H'biom C | H'biom S | S N | S C  | S S   |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|------|-------|
| veloc N  | 1       |         |         |         |         |         | -0,76 |       |       |          |          |          | 0,74     |          |          |     |      |       |
| veloc C  |         | 1       |         |         |         |         | -0,76 |       |       |          |          |          | 0,74     |          |          |     |      |       |
| veloc S  |         |         | 1       |         |         |         | -0,76 |       |       |          |          |          | 0,74     |          |          |     |      |       |
| nível N  |         |         |         | 1       |         | -0,94   |       |       |       |          |          |          |          |          |          |     |      |       |
| nível C  |         |         |         |         | 1       |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |     |      |       |
| nível S  |         |         |         |         |         | 1       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |     |      |       |
| den N    |         |         |         |         |         |         | 1     |       | -0,72 |          |          |          | -0,83    |          |          |     |      |       |
| den C    |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |          |          |          |          |          |          |     |      |       |
| den S    |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |          |          |          |          |          |          |     |      |       |
| H'inds N |         |         |         |         |         |         |       |       |       | 1        |          |          | 0,95     |          |          |     |      |       |
| H'inds C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          | 1        |          |          |          |          |     | 0,77 |       |
| H'inds S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          | 1        |          |          |          |     |      | 0,80  |
| H'biom N |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          | 1        |          |          |     |      | -0,72 |
| H'biom C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          | 1        |          |     |      |       |
| H'biom S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          | 1        |     |      |       |
| S N      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          | 1   |      |       |
| S C      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |     | 1    |       |
| S S      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |     |      | 1     |

veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul, H'ind. N= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H'ind. C= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H'ind. S= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Sul, H' biom N= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H' biom C= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H' biom S= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Sul, S N= riqueza no ponto Norte, S C= riqueza no ponto Centro, S S= riqueza no ponto Sul.

Tabela 2.5. Matriz de correlação (*r*-Pearson, *p*<0,05, *n*=8) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), riqueza e diversidade (calculada a partir de indivíduos e biomassa) do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha do outono (Mai/99) na Lagoa Itapeva, RS.

|          | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S | H'inds N | H'inds C | H'inds S | H'biom N | H'biom C | H'biom S | S N  | S C | S S   |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|-----|-------|
| veloc N  | 1       |         |         |         | 0,80    |         |       |       |       |          |          |          | -0,74    |          |          | 0,76 |     |       |
| veloc C  |         | 1       |         |         | 0,80    |         |       |       |       |          |          |          | -0,74    |          |          | 0,76 |     |       |
| veloc S  |         |         | 1       |         | 0,80    |         |       |       |       |          |          |          | -0,74    |          |          | 0,76 |     |       |
| nível N  |         |         |         | 1       |         | -0,86   |       |       |       |          |          |          | 0,74     |          |          |      |     |       |
| nível C  |         |         |         |         | 1       |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      |     |       |
| nível S  |         |         |         |         |         | 1       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      |     |       |
| den N    |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       |          |          |          | 0,88     |          |          |      |     |       |
| den C    |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |          | -0,89    |          |          |          |          |      |     | -0,73 |
| den S    |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |          |          |          |          |          |          |      |     |       |
| H'inds N |         |         |         |         |         |         |       |       |       | 1        |          |          | 0,98     |          |          |      |     | 0,96  |
| H'inds C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          | 1        |          | 0,72     |          |          |      |     |       |
| H'inds S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          | 1        |          |          | 0,78     |      |     |       |
| H'biom N |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          | 1        |          |          |      |     | 0,94  |
| H'biom C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          | 1        |          |      |     |       |
| H'biom S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          | 1        |      |     |       |
| S N      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          | 1    |     |       |
| S C      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      | 1   |       |
| S S      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |      |     | 1     |

veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul, H'ind. N= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H'ind. C= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H'ind. S= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Sul, H' biom N= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H' biom C= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H' biom S= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Sul, S N= riqueza no ponto Norte, S C= riqueza no ponto Centro, S S= riqueza no ponto Sul.

Tabela 2.6. Matriz de correlação (*r*-Pearson, *p*<0,05, *n*=8) entre as variáveis físicas (velocidade de vento e nível d'água), riqueza e diversidade (calculada a partir de indivíduos e biomassa) do fitoplâncton nos pontos de amostragem, na campanha do inverno (Ago/99) na Lagoa Itapeva, RS.

|          | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | den N | den C | den S | H'inds N | H'inds C | H'inds S | H'biom N | H'biom C | H'biom S | S N   | S C   | S S  |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|------|
| veloc N  | 1       |         |         |         |         |         | 0,74  |       |       | -0,72    |          |          |          |          |          | -0,71 |       |      |
| veloc C  |         | 1       |         |         |         |         | 0,74  |       |       | -0,72    |          |          |          |          |          | -0,71 |       |      |
| veloc S  |         |         | 1       |         |         |         | 0,74  |       |       | -0,72    |          |          |          |          |          | -0,71 |       |      |
| nível N  |         |         |         | 1       |         |         | -0,97 | -0,85 |       | 0,89     | 0,80     |          | 0,77     | 0,80     |          | 0,88  | 0,73  |      |
| nível C  |         |         |         |         | 1       |         |       | -0,77 |       |          |          |          |          |          |          |       |       |      |
| nível S  |         |         |         |         |         | 1       | 0,79  |       |       | -0,86    | -0,76    |          | -0,75    | -0,77    |          | -0,84 | -0,73 |      |
| den N    |         |         |         |         |         |         | 1     |       |       | -0,93    | -0,93    |          | -0,83    | -0,81    |          | -0,85 | -0,86 |      |
| den C    |         |         |         |         |         |         |       | 1     |       |          |          |          |          |          |          |       |       |      |
| den S    |         |         |         |         |         |         |       |       | 1     |          |          |          |          |          |          |       |       |      |
| H'inds N |         |         |         |         |         |         |       |       |       | 1        | 0,93     |          | 0,85     | 0,80     |          | 0,97  | 0,80  |      |
| H'inds C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          | 1        |          | 0,74     |          |          | 0,88  | 0,91  |      |
| H'inds S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          | 1        |          | 0,74     |          |       |       | 0,85 |
| H'biom N |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          | 1        | 0,73     |          | 0,81  | 0,79  |      |
| H'biom C |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          | 1        |          | 0,74  |       |      |
| H'biom S |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          | 1        |       |       |      |
| S N      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          | 1     | 0,72  |      |
| S C      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |       | 1     |      |
| S S      |         |         |         |         |         |         |       |       |       |          |          |          |          |          |          |       |       | 1    |

veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, den N= densidade total do fitoplâncton no ponto Norte, den C= densidade total do fitoplâncton no ponto Centro, den S= densidade total do fitoplâncton no ponto Sul, H'ind. N= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H'ind. C= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H'ind. S= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Sul, H' biom N= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H' biom C= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H' biom S= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Sul, S N= riqueza no ponto Norte, S C= riqueza no ponto Centro, S S= riqueza no ponto Sul.

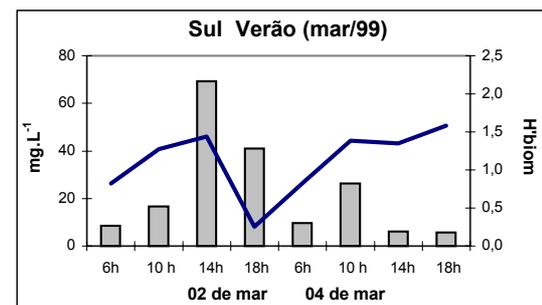
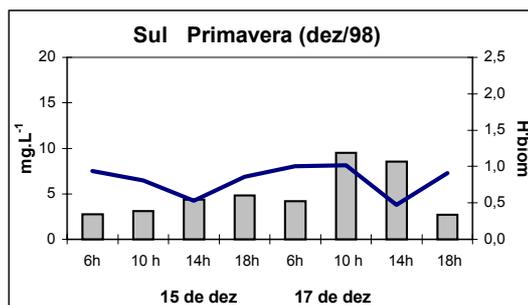
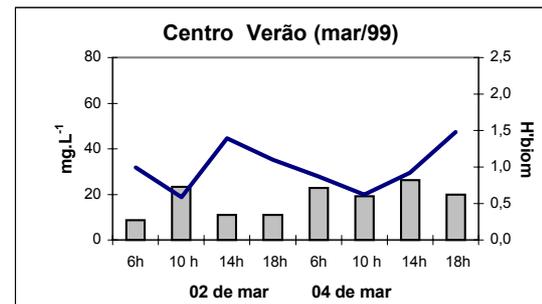
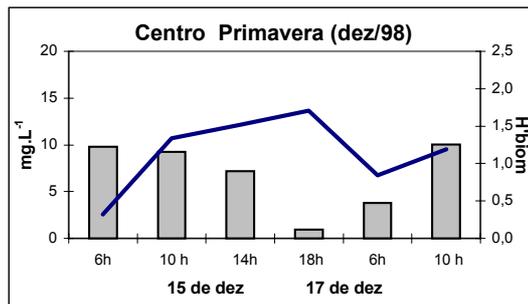
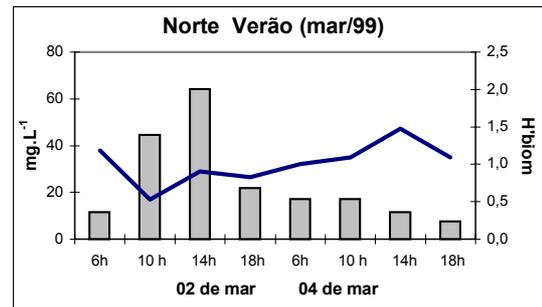
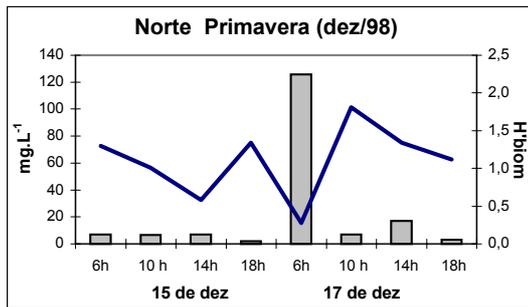




Figura 2.4. Diversidade de espécies por biomassa em relação à biomassa fitoplanctônica ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas campanhas de primavera e verão, nos turnos de amostragem na Lagoa Itapeva/RS.

$H'_{\text{biom}}$  = diversidade de Shannon-Wiener a partir da biomassa ( $\text{bits.mg}^{-1}$ )

Na primavera no ponto Centro não houve coleta às 14h e 18h.

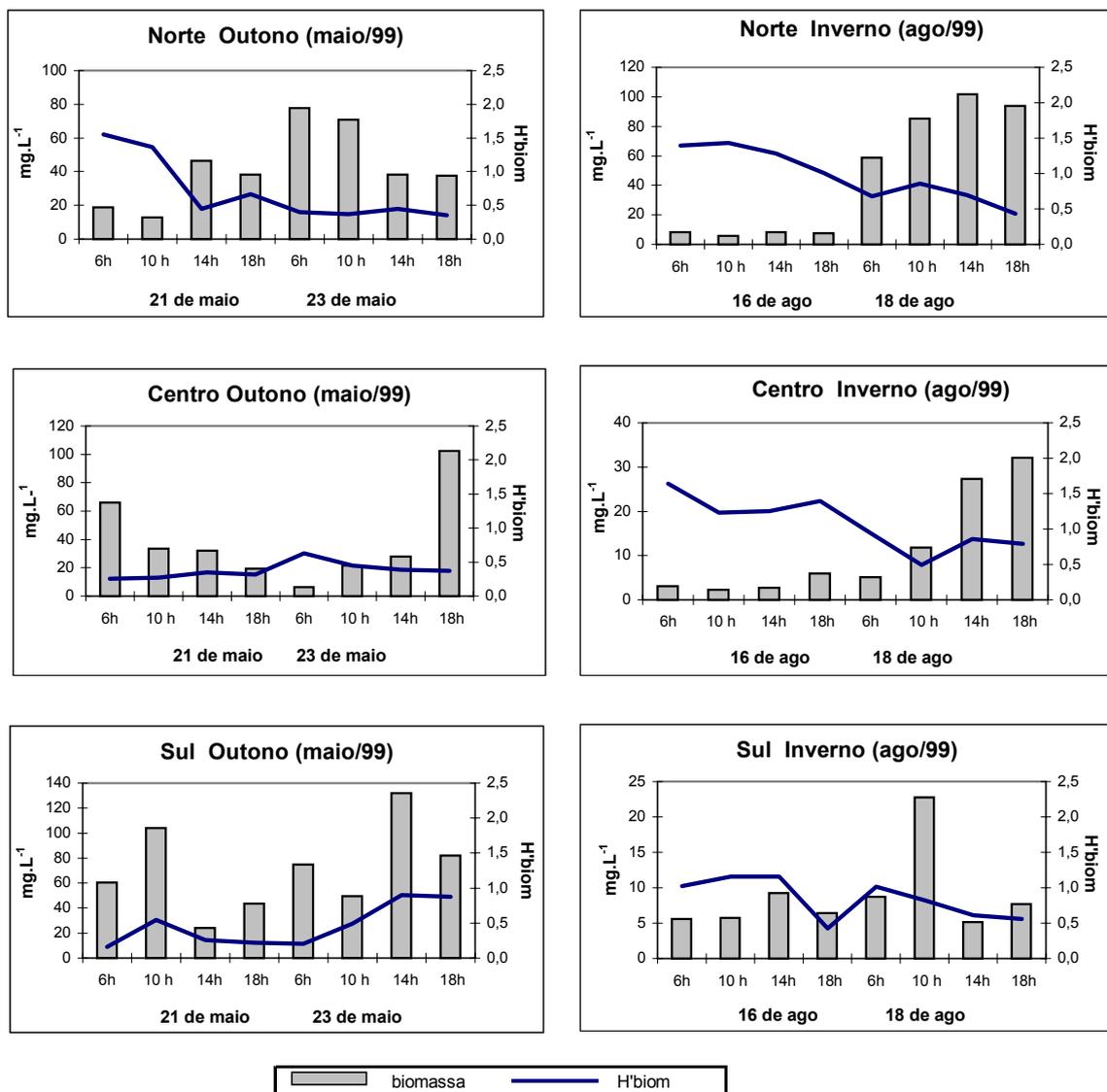


Figura 2.5. Diversidade de espécies por biomassa em relação à biomassa fitoplanctônica (mg.L<sup>-1</sup>) nas campanhas de outono e inverno, nos turnos de amostragem na Lagoa Itapeva/RS.

H'biom= diversidade de Shannon-Wiener a partir da biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>)

O início da campanha (21 Mai/99) foi caracterizado pela entrada de frente-fria na região, especialmente nos quadrantes SW e WSW. O *fetch* gerado neste sentido, S→N, deslocou uma maior quantidade de massa d'água, e possivelmente nutrientes e organismos, fazendo com que os maiores picos de riqueza e diversidade ocorressem no ponto Norte (19 spp., H'ind.= 2,06, H' biom= 1,55) (Figs.2.3 e 2.5). Assim, o nível d'água no Norte ficou elevado, evidenciando o sentido do *fetch* com uma correlação negativa com o nível do Sul ( $r = -0,86$ ) (Tabela 2.5). No Sul os valores de riqueza e diversidade por indivíduos foram os mais baixos, devido à estabilização da coluna d'água, que possibilitou uma maior estabilidade da floração de *A. circinalis*. No segundo dia da campanha (23 Mai/99), a direção de vento

predominante modificou para NE, alterando a ação do *fetch* no sentido N→S, propiciando assim, o ambiente para a estabilidade da floração da cianobactéria em questão no ponto Norte, havendo um decréscimo da riqueza e da diversidade (de indivíduos e de biomassa) (Figs. 2.3 e 2.5). A diversidade por biomassa apresentou uma correlação positiva com o nível no Norte ( $r=0,74$ ) (Tabela 2.5). A riqueza no Norte teve uma correlação positiva com a diversidade por indivíduos ( $r= 0,96$ ) e os índices de diversidade deste mesmo ponto também apresentaram alta correlação positiva entre eles ( $r=0,98$ ) (Tabela 2.5). A diversidade calculada através da biomassa apresentou correlação positiva com os dias de amostragem ( $r=0,73$ ) no Centro e a riqueza uma correlação negativa ( $r= - 0,78$ ) no Norte (Tabela 2.7).

Na campanha de inverno, observou-se a peculiaridade de cada dia amostrado, no que diz respeito aos fatores físicos e a comunidade fitoplanctônica. No primeiro dia (16 Ago/99) os valores de riqueza e diversidade (através de indivíduos e biomassa) foram elevados, comparando com o segundo dia de coleta (18 Ago/99) (Figs. 2.3 e 2.5). Isto ocorreu devido aos fatores físicos atuantes na hidrodinâmica da lagoa. No primeiro dia o vento oscilou de W-WSW pela manhã e ESE durante a tarde até chegar às 18h sem vento. No Centro os altos valores de riqueza e diversidade por indivíduos (Fig. 2.3) foram decorrentes ao fator contribuinte do Rio Três Forquilhas. No segundo dia, o vento predominante era de quadrante NE, causando um *fetch* efetivo no ponto Sul, deixando o ambiente no Norte mais estável, propiciando a floração de *A. circinalis*. Assim, a biomassa teve seus valores elevados, diminuindo a diversidade por biomassa (Fig. 2.5). Nos pontos Centro e Sul, a biomassa também teve os valores elevados devido à floração no Norte, havendo também a queda de diversidade por biomassa (Fig. 2.5). A velocidade de vento no Norte teve uma correlação positiva com a densidade de organismos ( $r= 0,74$ ) e negativa com a diversidade por indivíduos ( $r= -0,72$ ) (Tabela 2.6). A densidade de organismos neste ponto teve correlação negativa com a diversidade, por indivíduos ( $r= -0,93$ ) e por biomassa ( $r= -0,83$ ) (Tabela 2.6), confirmando que com a alta densidade e biomassa, derivada da dominância de uma espécie, neste caso do ponto Norte, devido à floração de *A. circinalis* promove um declínio da diversidade. As riquezas e os índices de diversidade por indivíduos e biomassa, dos respectivos pontos de amostragem (Norte, Centro e Sul) apresentaram alta correlação positiva (Tabela 2.6). No ponto Norte os índices de diversidade calculados através de indivíduos e biomassa, também apresentaram correlação positiva entre si ( $r= 0,85$ ) (Tabela 2.6).

No inverno, a análise de correlação confirmou a singularidade dos dias de coleta, já abordada anteriormente, que resultou num decréscimo dos valores de riqueza e diversidade. Assim, o Norte e o Centro apresentaram correlações negativas entre os dias de amostragem (Tabela 2.7).

Tabela 2.7. Correlação ( $r$ -Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n=32$ ) da riqueza e diversidade (calculada a partir de indivíduos e biomassa) do fitoplâncton nos pontos de amostragem, com os fatores dia e hora de amostragem, em cada campanha na Lagoa Itapeva/RS.

| campanhas           | fatores | H'inds N | H'inds C | H'inds S | H'biom N | H'biom C | H'biom S | S N   | S C   | S S |
|---------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-----|
| primavera<br>Dez-98 | DIA     |          |          |          |          |          |          |       |       |     |
|                     | HORA    |          |          |          |          |          |          |       |       |     |
| verão<br>Mar-99     | DIA     |          |          |          |          |          |          |       |       |     |
|                     | HORA    |          |          |          |          |          |          |       |       |     |
| outono<br>Mai-99    | DIA     |          |          |          |          | 0,73     |          | -0,78 |       |     |
|                     | HORA    |          |          |          |          |          |          |       |       |     |
| inverno<br>Ago-99   | DIA     | -0,92    | -0,82    |          | -0,89    | -0,88    |          | -0,87 | -0,79 |     |
|                     | HORA    |          |          |          |          |          | -0,71    |       |       |     |

H'ind. N= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H'ind. C= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H'ind. S= diversidade de Shannon-Wiener por indivíduos (bits.ind<sup>-1</sup>) no ponto Sul, H' biom N= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Norte, H' biom C= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Centro, H' biom S= diversidade de Shannon-Wiener por biomassa (bits.mg<sup>-1</sup>) no ponto Sul, riq N= riqueza no ponto Norte, riq C= riqueza no ponto Centro, riq S= riqueza no ponto Sul. (Dez/98= primavera, Mar/99= verão, Mai/99= outono, Ago/99= inverno)

A riqueza e as diversidade calculadas a partir de indivíduos e de biomassa não apresentaram variação espacial, nem variação nos turnos de amostragem.

As mesmas variáveis apresentaram uma variação temporal sazonal, altamente significativa  $p < 0,001$  ( $\alpha=0,05$ ). Para a riqueza, o teste de Tukey mostrou a diferença significativa entre a primavera e o outono ( $p < 0,001$ ), a primavera e o inverno ( $p=0,02$ ), entre o verão e o outono ( $p < 0,001$ ) e verão e inverno ( $p < 0,001$ ). Para a diversidade calculada através de indivíduos, o teste de Tukey apresentou a diferença significativa entre a primavera e o verão ( $p=0,03$ ), a primavera e o outono ( $p < 0,001$ ), entre o verão e o outono ( $p < 0,001$ ) e outono e inverno ( $p < 0,001$ ). O teste de Tukey, para a diversidade calculada através de biomassa, apresentou a diferença significativa entre a primavera e o outono ( $p=0,002$ ), verão e outono ( $p < 0,001$ ), outono e inverno ( $p < 0,001$ ). Para os índices de diversidade calculados, o outono, foi a estação do ano que apresentou diferença entre todas as outras estações, devido a floração da cianobactéria, *Anabaena circinalis*. A riqueza e a diversidade por indivíduos apresentaram variação temporal diária. Pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ), a riqueza apresentou diferença significativa entre os dois dias de amostragem ( $p=0,004$ ), bem como a diversidade ( $p=0,003$ ).

Como foi verificado pelas correlações, os índices de diversidade calculados neste estudo (indivíduos e biomassa) apresentaram estreitas relações positivas. A verificação da associação entre estas variáveis pode levar a um modelo produtivo, através de regressão linear

simples, da diversidade de espécies por biomassa a partir da diversidade de espécies por indivíduos na Lagoa Itapeva (Tabela 2.8 e 2.9).

Tabela 2.8. Estimativa da diversidade por biomassa em função da diversidade por indivíduos, em cada estação do ano, na Lagoa Itapeva/RS.

| campanhas          | equação                       | r <sup>2</sup> | p (b) | p (a) |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-------|-------|
| Primavera (Dez/98) | H' biom= 0,61 + 0,22*H' Inds  | 0,02           | 0,55  | 0,001 |
| Verão (Mar/99)     | H' biom= 0,62 + 0,21* H' Inds | 0,30           | 0,40  | 0,001 |
| Outono (Mai/99)    | H' biom= -0,19 + 0,74*H'inds  | 0,68           | 0,001 | 0,001 |
| Inverno (Ago/99)   | H' biom = 0,21 + 0,43*H' Inds | 0,31           | 0,005 | 0,001 |

r<sup>2</sup>-correlação, n= 24, α=0,05, p (b)= nível de significância de b (inclinação), p (a)= nível de significância de a (intercepção)

Tabela 2.9. Estimativa da diversidade por biomassa em função da diversidade por indivíduos, em cada ponto de amostragem, em cada estação do ano, na Lagoa Itapeva/RS.

| campanhas e pontos de amostragem | equação                       | r <sup>2</sup> | p (b) | p (a) |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------|-------|-------|
| Norte primavera (Dez/98)         | H' biom= 0,45 +0,35*H' inds   | 0,32           | 0,67  | 0,001 |
| Centro primavera (Dez/98)        | H' biom= 1,59 - 0,25*H' inds  | 0,15           | 0,82  | 0,004 |
| Sul primavera (Dez/98)           | H' biom= 0,54 + 0,16*H' inds  | 0,48           | 0,60  | 0,01  |
| Norte verão (Mar/99)             | H' biom= -0,76 + 0,96*H' inds | 0,9            | 0,001 | 0,001 |
| Centro verão (Mar/99)            | H' biom= 3,18 - 0,96*H' Inds  | 0,15           | 0,35  | 0,001 |
| Sul verão (Mar/99)               | H' biom= 0,06 + 0,58*H' Inds  | 0,01           | 0,51  | 0,001 |
| Norte outono (Mai/99)            | H' biom= -0,18 + 0,82*H' inds | 0,96           | 0,001 | 0,02  |
| Centro outono (Mai/99)           | H' biom= 0,12 + 0,26*H' inds  | 0,52           | 0,04  | 0,47  |
| Sul outono (Mai/99)              | H' biom= -0,68 + 1,39*H' inds | 0,6            | 0,001 | 0,02  |
| Norte inverno (Ago/99)           | H' biom= 0,19 + 0,53*H' inds  | 0,72           | 0,001 | 0,69  |
| Centro inverno (Ago/99)          | H' biom= -0,58 + 0,89*H' inds | 0,41           | 0,09  | 0,002 |
| Sul inverno (Ago/99)             | H' biom= -0,18 +0,54*H' inds  | 0,26           | 0,20  | 0,002 |

r<sup>2</sup>-correlação, n= 8, α=0,05, p (b)= nível de significância de b (inclinação), p (a)= nível de significância de a (intercepção)

A Hipótese do Distúrbio Intermediário, formulada por Connell (1978) para recifes de coral e florestas tropicais, tem sido recentemente considerada por diversos pesquisadores da ecologia do fitoplâncton (Harris, 1986; Reynolds, 1984; Chorus & Schlag, 1993; Descy, 1993; Pádisak, 1993; Reynolds, 1993; Rojo & Alvarez-Cobelas, 1993; Sommer et al., 1993). A hipótese de Connell (*op.cit.*) relaciona baixa diversidade com ausência de distúrbios ou com distúrbios muito intensos, e a alta diversidade com distúrbios de frequências ou intensidade intermediárias. Estes últimos determinam oportunidades repetidas para estabelecimento de populações pioneiras, fora de competição, e de populações competidoras com sucesso, que resistiriam ao distúrbio sem dominar a comunidade.

A alta diversidade ocorre em comunidades instáveis, em eventos de estresse de vento, com pequenas algas e grande pastejamento do zooplâncton. A baixa diversidade ocorre em períodos estáveis, propiciando condições a espécies seletivas, como a dominância de algas de

grande porte e pouco pasetajento por parte do zooplâncton (Holzmann, 1993). A diversidade é alta ou aumenta quando as taxas de reposição das espécies são rápidas, como por exemplo, em águas quentes. A diversidade é promovida quando algas com rápido crescimento (usualmente de pequeno tamanho) são abundantes. Por outro lado, a diversidade é baixa ou declina em sucessões avançadas onde uma grande biomassa é dominada por uma única espécie de alga e geralmente de tamanho grande ( $> 200 \mu\text{m}$ ). A diversidade é raramente alta em ambientes fortemente seletivos, tais como sistemas ou lagos caracterizados por extremos de turbidez (Reynolds, 1993).

A ocorrência da dominância de *Oscillatoria* ssp. no Lago Batata (AM) apresentou baixos valores de diversidade, calculada através de biomassa (Huszar, 1994). Um estudo nos lagos de Berlim, na Alemanha, apresentou o mesmo comportamento de dominância de espécies x diversidade por biomassa. A dominância de *Planktothrix agardhii* no verão, resultou em baixos valores de diversidade (Chorus & Schlag, 1993). Este é um exemplo de exclusão competitiva de espécies clímax (Hardin, 1960), sobre as condições físicas e limitação de algum recurso. Condições ambientais estáveis no Lago Gødstrup (Dinamarca) propiciaram uma floração da cianobactéria filamentosa *Aphanizomenon flos-aquae*, que constituiu 99% da biomassa fitoplanctônica, coincidindo com baixos valores de diversidade de espécies e equitabilidade do fitoplâncton (Jacobsen & Simonsen, 1993).

Na Lagoa Itapeva, a dominância de *Anabaena circinalis*, que abrangeu toda a lagoa na floração de outono, além de episódios como este em alguns pontos nas demais campanhas, também apresentou este comportamento, que caracterizou uma densa biomassa, baixa riqueza e baixos valores de diversidade por biomassa. Assim, pode-se dizer que este estudo na Lagoa Itapeva apesar de não conter dados em pequenas escalas intermediárias (200-20h), que tornem possível a verificação da Hipótese do Distúrbio Intermediário, conforme Reynolds et al. (1993) e Sommer et al. (1993), possui informações na escala temporal que levam à aceitação da Hipótese de Connell (1978). A baixa diversidade esteve relacionada com a ausência de distúrbios ou com distúrbios muito intensos nos pontos de amostragem, e a alta diversidade com distúrbios de frequências ou intensidade intermediárias. Durante o estudo pôde-se verificar que o fator direção do vento foi um importante aliado ao efeito que sua velocidade causa no comportamento hidrodinâmico da Lagoa Itapeva (Cardoso, 2001).

Assim, no caso da Lagoa Itapeva, o efeito intenso do distúrbio, nos pontos de amostragem, devido ao *fetch* em situações de ventos fortes, e a falta destes, promoveram baixa diversidade devido ao domínio das cianobactérias, que atingiram o clímax. Reynolds (1993) julgou adequado considerar a etapa final de uma sucessão (clímax), como sendo um estado próximo ao equilíbrio de uma etapa relativamente mais estacionária.

## CONCLUSÕES

A riqueza e a diversidade (por indivíduos e por biomassa), não apresentaram variação espacial nem variação nos turnos de amostragem. A riqueza e a diversidade (por indivíduos e por biomassa) apresentaram uma variação temporal sazonal. Para os índices de diversidade calculados, o outono foi a estação do ano que apresentou diferença em relação às outras, devido a floração da cianobactéria *Anabaena circinalis*. Na Lagoa Itapeva, a dominância de *Anabaena circinalis*, que abrangeu toda a lagoa na floração de outono, além de episódios em alguns pontos nas demais campanhas, caracterizou uma densa biomassa, baixa riqueza e baixos valores de diversidade calculados através da biomassa.

Os índices de diversidade calculados neste estudo, por indivíduos ( $H'$ ind) e por biomassa ( $H'$  biom) apresentaram estreitas relações positivas entre si. A partir disto, foram ajustadas equações de regressão linear simples, permitindo o prognóstico de diversidade de espécies por biomassa a partir de diversidade de espécies por indivíduos para as condições da Lagoa Itapeva.

Estas variáveis apresentaram relações diretas e significantes com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento), pela ação dos quadrantes predominantes do *fetch* efetivo. Assim, no caso da Lagoa Itapeva, o efeito intenso do distúrbio, nos pontos de amostragem, devido ao *fetch* em situações de ventos fortes, e a falta deste, promoveram baixa diversidade devido ao domínio das cianobactérias que atingiram o clímax. Isto sugere que a comunidade de fitoplâncton da Lagoa Itapeva tem um comportamento de acordo com a Hipótese de Connell (1978).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), 1992, *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington, 1268p.
- BOURRELLY, P., 1968, *Les Algues d'eau douce – algues jaunes et brunes*. N. Boubée & Cie, Paris, 438p.
- BOURRELLY, P., 1970, *Les Algues d'eau douce – algues bleues et rouges*. N. Boubée & Cie, Paris, 512p.
- CALLEGARO, V.L.M., SILVA, K.R.L.M. & SALOMONI, S.E., 1993, Flórula diatomológica de ambientes lênticos e lóticos do Parque Florestal Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (43): 89-134.
- CAMPOS, I., F. P. & SENNA, P. A. C., 1988, Nostocophyceae (Cyanophyceae) da Lagoa Bonita, Distrito Federal, Brasil. Parte 1. *Acta Bot. Bras.*, 2 (1-2): 7-30.

- CARDOSO, L.S., 2001, *Variações da estrutura planctônica da Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica*. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.
- CHORUS, I. & SCHLAG, G., 1993, Importance of intermediate disturbances for the species composition and diversity of phytoplankton in two very different Berlin lakes. *Hydrobiologia*, 249: 67-92.
- CONNELL, J.H., 1978, Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199 (24): 1302-1310.
- COSTA, J.C.F. da, 1995, Diatomáceas (Bacillariophyceae) da Reserva Biológica de Poço das Antas, município de Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (46): 57-143.
- DESCY, J-P., 1993, Ecology of phytoplankton of the River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity. *Hydrobiologia*, 249: 111-116.
- DESIKACHARY, T. V., 1959, *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, 686p.
- FERRARIO, M.E., SAR, E.A. & SALA, S.E., 1995, Metodologia básica para el estudio del fitoplancton com especial referencia a las diatomeas. In: K. Alveal, M.E. Ferrario, E.C. Oliveira & E. Sar (eds.), *Manual de Métodos Ficológicos*, Universidad de Concepcion, Concepcion, p.1-23.
- FRANCESCHINI, I.M., 1992, *Algues d'eau douce de Porto Alegre, Brésil (les Diatomophycees exclues)*. J. Cramer, Berlin, 73p.
- GEITLER, L., 1932, *Cyanophyceae*. In: L. Rabenhorst, L. kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. 2 ed.: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig, 1196p.
- GERMAIN, H., 1981, *Flore des Diatomées-Diatomophycées*. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris, 444p.
- HARDIN, G., 1960, The competitive exclusion principle. *Science* 131: 1292-1297.
- HARRIS, G.P., 1986, *Phytoplankton Ecology – Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London, 384p.
- HOLZMANN, R., 1993, Seasonal fluctuations in the diversity and compositional stability of phytoplankton communities in small lakes in upper Bavaria. *Hydrobiologia*, 249: 101-109.
- HUBER-PESTALOZI, G., 1968, *Cryptophyceae, Chloromonadophyceae, Dinophyceae. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. pt. 3, 310p. (Die Binnengewässer, August Thienemann, v.16).
- HUSZAR, V.L.M., 1994, *Fitoplâncton de um lago Amazônico impactado por rejeito de bauxita (Lago Batata, Pará, Brasil): Estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais*. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 219p.
- JACOBSEN, B.A. & SIMONSEN, P. 1993, Disturbance events affecting phytoplankton biomass, composition and species diversity in a shallow, eutrophic, temperate lake. *Hydrobiologia*, 249: 9-14.
- KOMÁREK, J. & FOTT, B., 1983, *Chlorophyceae-Chlorococcales*. In: G. Huber-Pestalozzi, *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. E.

- Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pt. 7, 1044p. (Die Binnengewässer, v.16).
- KOMÁREK, J. & KLING, H., 1991, Variation in six planctonic cyanophyte genera in Lake Victoria (East Africa). *Algological Studies*, 6: 21-45.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & CRONBERG, G., 1992, New and recombined filamentous Cyanophytes from lakes in South Scania, Sweden. *Algological Studies*, 67: 21-31.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1986, *Bacillariophyceae: Naviculaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, Süßwasserflora von Mitteleuropa. G. Fischer Verlag, Stuttgart, v.2, pt.1, 1876p.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1988, *Bacillariophyceae: Bacillariophyceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, Süßwasserflora von Mitteleuropa. G. Fischer Verlag, Stuttgart, v.2, pt.2, 596p.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H., 1991, *Bacillariophyceae: Centrales, Fragillariaceae, Eunotiaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, D. Mollenhauer, Süßwasserflora von Mitteleuropa. G. Fischer Verlag, Stuttgart, v.2, pt.3, 576p.
- KREBS, C.J., 1978, *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. 2 ed. Harper & Row, New York, 678p.
- LOPARDO, N., (em preparação), *Estudo hidrodinâmico e correlações com variáveis ambientais na Lagoa Itapeva no Litoral Norte do rio grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, IPH/UFRGS, Porto Alegre.
- MARGALEF, R., 1983, *Limnologia*. Omega, Barcelona, 1010p.
- MCCUNE, B & MEFFORD, M.J., 1999, *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data – Version 4*. MJM Software Design, Gleneden Beach, 273 p.
- ODUM, E.P., 1988, *Ecologia*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 434 p.
- PADISÁK, J., 1993, The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity, and equitability of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 249: 135-156.
- PAPPAS, J.L. & STOERMER, E.F., 1996, Quantitative method for determining a representative algal sample count. *J. Phycol.* 32: 693-696.
- PIELOU, E.C., 1966, Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *J. theor. Biol.*, 10: 370-383.
- REYNOLDS, C.S., 1984, *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 384p.
- REYNOLDS, C.S., 1993, Scales of disturbance and their role in plankton ecology. *Hydrobiologia*, 249: 157-171.
- ROJO, C. & ALVAREZ-COBELAS, M., 1993, Hypertrophic phytoplankton and the Intermediate Disturbance Hypothesis. *Hydrobiologia*, 249: 43-57.
- SALOMONI, S.E., 1997, *Aspectos da limnologia e poluição das lagoas costeiras Marcelino, Peixoto e Pinguela (Osório, RS): Uma abordagem baseada no fitoplâncton*. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 141p.
- SCHWARZBOLD, A. & SCHÄFER, A., 1984, Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazoniana*, 9 (1): 87-104.

- SCHILLER, J., 1937, *Dinoflagellatae (Peridineae) in monographischer Behandlung*. In: L. Rabenhorst, Kryptogamen-Flora. Academic Verlag, Leipzig, teil 2, 617p.
- SIMONSEN, R., 1974, The diatoms plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V "Meteor", 1964-1965. "Meteor" Forsch.-Ergebnisse Reihe D- *Biol. Berlin* (19):1-66.
- SOMMER, U., PADISÁK, J., REYNOLDS, C.S. & JUHÁSZ-NAGY, P., 1993, Hutchinson's heritage: the diversity-disturbance relationship in phytoplankton. *Hydrobiologia*, 249: 1-7.
- SOURNIA, A. (ed.), 1978. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris, 337p.
- TORGAN, L. C. & AGUIAR, L. W., 1978, Diatomáceas do "rio" Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (23): 19-63.
- TORGAN, L. C., 1985, Estudo taxonômico de diatomáceas (Bacillariophyceae) da represa de Águas Belas, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, Sér. Botânica, (33): 17-104.
- TORGAN, L. C., 1997, *Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um ciclo anual*. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 284p.
- TORGAN, L.C., BECKER, V. & PRATES, H.M., 1999, Checklist das diatomáceas (Bacillariophyta) de ambientes de águas continentais e costeiras do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia - Série Botânica*, (52):.89-144.
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E., 2000, *Limnological Analyses*. 3 ed. Springer-Verlag, New York, 429p.

### CAPÍTULO 3

## ESTRUTURA DE TAMANHO DO FITOPLÂNCTON NA LAGOA ITAPEVA, RS.

### RESUMO

As principais ferramentas utilizadas para caracterizar a estrutura da comunidade fitoplanctônica são, além da composição taxonômica, da riqueza e da diversidade de espécies, a classificação dos organismos de acordo com o seu tamanho. O tamanho da célula fitoplanctônica pode influenciar as taxas de assimilação de nutrientes, fotossíntese, respiração e crescimento. Este trabalho teve como objetivo principal caracterizar a estrutura de tamanho do fitoplâncton da Lagoa Itapeva (RS), em função da biomassa, no período de dezembro de 1998 a agosto de 1999, e estabelecer relações entre as frações de tamanho determinadas e os fatores físicos que atuaram diretamente na lagoa. A Lagoa Itapeva forma por si só a maior área de drenagem e captação de água no Sistema Lagunar de Tramandaí, com uma área total de 124,75 km<sup>2</sup> e um volume de 245,5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Foram escolhidos três pontos de amostragem (Ponto Norte, Ponto Centro e Ponto Sul) de acordo com o eixo longitudinal da lagoa. A amostragem foi realizada durante dois dias não consecutivos, em quatro turnos (6h, 10h, 14h e 18h) durante quatro campanhas sazonais. A coleta do material foi realizada através de garrafa horizontal de Van Dorn. A biomassa foi estimada através do biovolume. As categorias de tamanho foram determinadas pela Maior Dimensão Linear Axial (GALD, "Greatest Axial Linear Dimension") utilizando o programa ALGAMICA. Foram apresentadas três frações de tamanho que melhor representaram a comunidade fitoplanctônica na Lagoa Itapeva: Nanoplâncton, Microplâncton e Netplâncton. As frações *μ*-Ultraplâncton e Ultraplâncton estiveram presentes em alguns momentos do estudo, mas foram irrelevantes nas análises estatísticas. A fração netplanctônica predominou sobre as demais frações de tamanho neste estudo. As sucessões das frações de tamanho do fitoplâncton, durante cada campanha, estiveram relacionadas à ação de distúrbios intensos (provocados pelos fortes ventos e *fetch* longo nos pontos de amostragem) ou a falta deste (criando um ambiente estável para as cianobactérias) que ocorrem na coluna d'água e afetaram diretamente na estrutura de tamanho da comunidade.

### ABSTRACT

The main tools used to characterize the structure of the phytoplankton community are, besides taxonomic composition, wealth and diversity of species, the classification of organisms according to their size. The size of the phytoplankton cell may influence the nutrient assimilation rates, photosynthesis, respiration and growth. Water movements in pelagic zones are strongly influenced by changes in the weather, which cause changes in the plankton. The main objective of this study was to characterize the size structure of the phytoplankton in Itapeva Lake (RS), considering the biomass, during the period from December 1998 to August 1999, and to establish relationships between the fractions of a given size and the physical factors that act directly on the Lake. Itapeva Lake in itself forms the largest drainage and water intake area in the Tramandaí Lagoon System, with a total area of 124.75 km<sup>2</sup> and a volume of 245.5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Three sampling points were chosen (North Point, Center Point and South Point), according to the longitudinal axis of the Lake. The sampling was performed on two non-consecutive days, in four shifts (6h, 10h, 14h, 18h), over four seasonal campaigns. The material was collected with a horizontal Van Dorn bottle. The biomass was estimated by biovolume. The Greatest Axial Linear Dimension (GALD), using the ALGAMIC program, determined the size categories. Three size fractions were presented which were most representative of the phytoplankton community in Itapeva Lake: Nanoplankton, Microplankton and Netplankton. The *u*-Ultraplankton and Ultraplankton fractions were present at some moments in the study, but they were irrelevant in the statistical analyses. The netplankton fraction predominated over the other size fractions in this study. The successions of phytoplankton size fractions during each campaign were related to action of intense disturbances (caused by the strong winds and long fetch at the sampling points), or the lack of them (creating a stable environment for the cyanobacteria) which occur in the water column and directly affected the size structure of the community.

## INTRODUÇÃO

A cadeia alimentar planctônica é claramente estruturada, em parte, pelo tamanho dos organismos (Harris, 1986). O tamanho da célula fitoplanctônica pode influenciar as taxas de assimilação de nutrientes, fotossíntese, respiração e crescimento (Lane & Goldman, 1984). A razão superfície/volume da biomassa influencia a troca de energia (luz e calor) e nutrientes (Lewis, 1976; Malone, 1980; Lane & Goldman, 1984; Reynolds, 1984a).

A diversidade da morfologia do fitoplâncton é realçada por espécies que habitualmente formam cenóbios ou estruturas coloniais. Esses arranjos das células individuais geram novas formas. Assim, as estruturas minimizam a área de contato entre as células individuais, sendo a razão S/V conservada. Na tentativa de estabilizar-se, isto é manter-se em bom estado fisiológico, o fitoplâncton responde por diferentes adaptações morfológicas individuais de espécies (formas, tamanhos, organizações estruturais das colônias e pigmentações, relativo a clorofila e pigmentos fotossintéticos acessórios) à variabilidade ambiental (Reynolds, 1984a).

As principais ferramentas utilizadas para caracterizar a estrutura da comunidade fitoplanctônica são, além da composição taxonômica, da riqueza e da diversidade de espécies, a classificação dos organismos de acordo com o seu tamanho. Esta última é uma ferramenta útil em estudos da comunidade de microalgas, devido às implicações fisiológicas e ecológicas que o tamanho apresenta (Torgan et al., 2000). As classes de tamanho têm sido freqüentemente utilizadas para partição da comunidade algal em função do potencial de influência do tamanho da partícula na dinâmica da cadeia alimentar e também porque espécies dentro das classes de tamanho tendem a responder com comportamentos similares a mudanças ambientais (Lane & Goldman, 1984). Assumir uma distribuição de biomassa aproximadamente uniforme com o tamanho corporal do indivíduo, implica em uma aproximação regular da distribuição da biomassa sobre um contínuo de guildas funcionais que podem ajudar a explorar a estabilidade do ecossistema. Pode-se encontrar nichos funcionais juntamente com um gradiente de tamanho, devido à similaridade de diferentes grupos de organismos planctônicos, o qual poderá ser visualizado como um contínuo de guildas funcionais (Gaedke, 1992b). Fatores externos podem influenciar a forma da distribuição de tamanho da biomassa bem como flutuações do ambiente podem ampliar a irregularidade do tamanho do espectro (Gaedke, 1992a).

Este estudo teve como objetivo principal caracterizar as categorias de tamanho da comunidade fitoplanctônica na Lagoa Itapeva em função da biomassa, no período de dezembro de 1998 a agosto de 1999, e estabelecer relações com os fatores físicos (velocidade e direção de vento, e nível d'água) que atuam diretamente na lagoa.

## MATERIAL E MÉTODOS

A Lagoa Itapeva (a primeira lagoa do sistema no sentido N→S) forma por si só a maior área de drenagem e captação de água no Sistema Lagunar de Tramandaí. A lagoa apresenta um formato alongado com uma profundidade máxima de 3,5 m e profundidade média de 2,23 m. (Schwarzbold & Schäfer, 1984). A área total da lagoa corresponde a 124,75 km<sup>2</sup> e um volume de 245,5 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Lopardo, em preparação).

Foram escolhidos três locais de amostragem, ao longo da Lagoa Itapeva (*capítulo 1*, Fig.1.1), alinhados de acordo com o eixo longitudinal e direção predominante de ventos na região (NE-SW): **Ponto Norte** (0615690E – 6747815N), **Ponto Centro** (0603350E – 6732254N) e **Ponto Sul** (0597474E – 6725967N). Em cada um destes pontos foi instalada uma torre que continha os seguintes equipamentos: linígrafo (datalogger IPH), régua linimétrica e estação meteorológica (DAVIS, Weather Wizard III, Weather Link). A régua linimétrica foi nivelada em relação a RN do IBGE (referência de nível) situado no entroncamento de Curumim-Terra de Areia na interpraiais (RS-389).

O trabalho constou de quatro campanhas, abrangendo as quatro estações do ano, efetuadas nas seguintes datas:

- ⇒ 14 a 20 de dezembro de 1998- primavera (Dez/98)
- ⇒ 01 a 07 de março de 1999 – verão (Mar/99)
- ⇒ 20 a 26 de maio de 1999 – outono (Mai/99)
- ⇒ 13 a 19 de agosto de 1999 – inverno (Ago/99)

Os dados da estação meteorológica (temperatura do ar, precipitação, velocidade e direção de vento) e linígrafo (nível d'água) foram registrados nos sete dias consecutivos das campanhas sazonais, em intervalos curtos de tempo (30 e 15 minutos) (Cardoso, 2001). Os dados meteorológicos utilizados foram da torre amostral do ponto Centro.

Cardoso (2001) realizou o cálculo do *fetch* efetivo ( $L_f$  em km) e a altura da onda produzida no sistema, para cada ponto de amostragem na Lagoa Itapeva. Estes dados foram utilizados neste estudo buscando verificar o efeito do *fetch* na variação espaço-temporal da biomassa.

A coleta de fitoplâncton teve uma frequência amostral de quatro vezes ao longo do dia (6h, 10h, 14h, 18h), durante dois dias com 24h de intervalo entre os dias de amostragens. A coleta foi realizada na superfície da água, através de uma garrafa horizontal de Van Dorn de 2 L (Wetzel & Likens, 2000). Após o material foi fixado com Lugol (Sournia, 1978) e conservado em vidro âmbar.

A análise quantitativa foi realizada através de câmara de Sedwick-Rafter (APHA, 1992), em microscópio óptico Zeiss Jenaval, com oculares de 16x, sendo considerados o número de indivíduos e células dos organismos com cromoplastos.

A análise qualitativa do material foi também realizada ao microscópio óptico Zeiss Jenaval, com oculares de 16x, identificando, sempre que possível a nível específico. Para as diatomáceas foi realizada a preparação de lâminas permanentes (Ferrario et al., 1995), tendo sido montadas com Entellan (Índice de refração 1,49-1,50) após a oxidação do material. Para essa oxidação empregou-se a técnica de Simonsen (1974).

No capítulo 1 foram apresentados os fatores físicos (velocidade e direção de vento) (Tabela 1.2, Fig. 1.11), bem como os dados de biomassa (Figs.1.3, 1.4, 1.12, 1.13, 1.14 e 1.15) que serão utilizados neste capítulo.

Para as frações de tamanho, optou-se pela determinação da Maior Dimensão Linear Axial (GALD, Greatest Axial Linear Dimension) (Lewis, 1976). Para a classificação dos organismos foi utilizado o programa ALGAMICA (Gosselain & Hamilton, 2000; Gosselain et al., 2000), o qual facilita a determinação do fracionamento pelo GALD. As classes consideradas neste programa são: picoplâncton (0-2,0  $\mu\text{m}$ ), *u*-ultraplâncton (2,1-5,0  $\mu\text{m}$ ), ultraplâncton (5,1-10,0  $\mu\text{m}$ ), nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ ), micropoplâncton (22,1-64,0  $\mu\text{m}$ ) e netplâncton (>64,1  $\mu\text{m}$ ). Nas quatro campanhas sazonais as espécies estiveram definidas pela forma e tamanho das células que compreendem a unidade de biomassa (organismos unicelulares) e pelo arranjo das células, umas em relações às outras, que resulta das conexões físicas entre elas (organismos coloniais, cenobiais, tricomas e filamentos).

Foram realizadas as análises descritivas e de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ). Também se efetuou análise de variância (ANOVA “one way”), aplicando o teste de Tukey, onde foram utilizados os fatores ponto, dia e estação do ano.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A contribuição das diferentes categorias de tamanho estimada pela Maior Dimensão Linear Axial (GALD), em função da biomassa na Lagoa Itapeva, ressaltou três frações que melhor representaram a comunidade fitoplanctônica: Nanoplâncton, Micropoplâncton e Netplâncton. As frações *u*-Ultraplâncton e Ultraplâncton estiveram presentes em alguns momentos do estudo, mas foram irrelevantes nas análises estatísticas. A contribuição relativa, em biomassa, na Lagoa Itapeva, das três frações de tamanho mais representativas, resultou numa maior percentagem da fração netplanctônica (66%), seguida da fração micropoplânctônica (30%) e da fração nanoplanctônica (4%) (Fig.3.1)

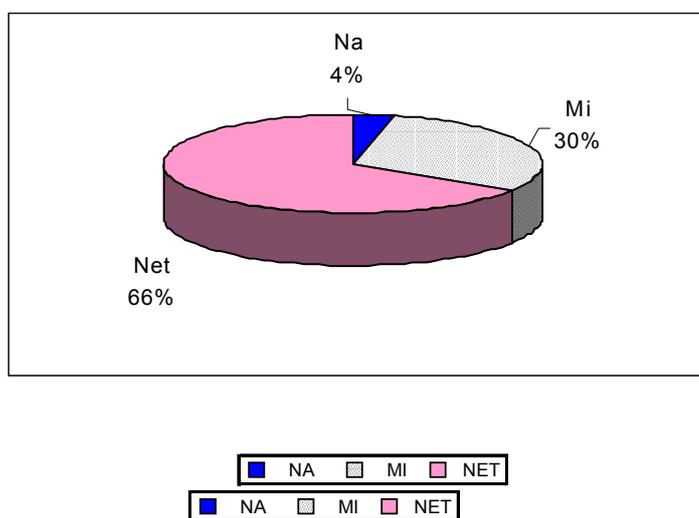
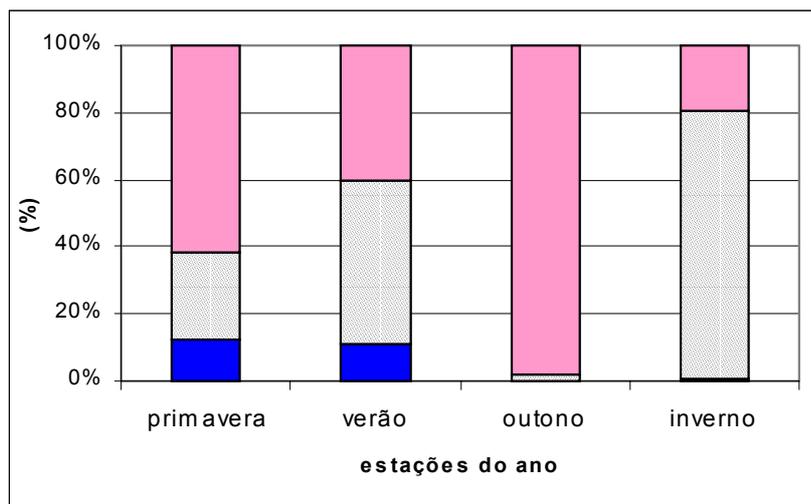


Figura 3.1. Contribuição relativa da biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) das frações nanoplânctônica, microplânctônica e netplânctônica, durante o estudo na Lagoa Itapeva, RS, no período de dezembro de 1998 a agosto de 1999.

NA=nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ ), MI= microplâncton (22,1-64,0  $\mu\text{m}$ ), NET= netplâncton (>64,1  $\mu\text{m}$ )

Em termos sazonais, verificou-se que na primavera a contribuição da biomassa foi maior na fração netplânctônica (61,6%), seguida da fração microplânctônica (26,2%) e da fração nanoplânctônica (12,2%) (Fig.3.2). No verão observou-se uma maior expressão da biomassa na fração micro (48,5%), seguido da fração net (40,2%) e da fração nano (11,3%) (Fig.3.2). Para o outono verificou-se uma densa contribuição da fração netplânctônica, resultando numa quase totalidade da biomassa total da comunidade fitoplânctônica (98,0%), seguida pelas frações microplânctônica (1,9%) e nanoplânctônica (0,1%) (Fig.3.2). No inverno, a maior percentagem de biomassa foi da fração de tamanho microplânctônica (80,2%), seguida da net (19,3%) e nano (0,5%) (Fig.3.2).

Na primavera (Dez/98) a fração nanoplânctônica apresentou um gradiente espacial crescente no sentido N→S na Lagoa Itapeva, fluuando de 0,001 a 6,43  $\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 3.1). Esta fração teve maior expressão no Ponto Norte às 10h e 14h do segundo dia de amostragem (17 Dez/98) representando 35,5% e 26,4% da biomassa total, respectivamente (Fig.3.3). No Ponto Centro a fração nanoplânctônica apresentou sua maior percentagem às 6h do primeiro dia de amostragem (15 Dez/98) com 63,2% da biomassa total, e no ponto Sul às 10h e 14h do primeiro dia de coleta, com 72,0% e 85,1%, respectivamente (Fig.3.3). Os organismos responsáveis pelos picos de biomassa desta fração na primavera foram as clorofíceas e a cianobactéria *Cyanodiction imperfectum*.



■ NA ■ MI ■ NET

Figura 3.2. Contribuição relativa da biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) das frações nanoplânctônica, microplânctônica e netplânctônica, durante as campanhas sazonais na Lagoa Itapeva, RS. (primavera= Dez/98, verão= Mar/99, outono=Mai/99, inverno= Ago/99)

NA=nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ ), MI= microplâncton (22,1-64,0  $\mu\text{m}$ ), NET= netplâncton (>64,1  $\mu\text{m}$ )

Tabela 3.1. Análise descritiva da fração nanoplânctônica nos pontos de amostragem, nas campanhas sazonais, na Lagoa Itapeva, RS.

| NA            | Primavera (Dez/98) |             |             |             | Verão (Mar/99)   |             |             |             |
|---------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
|               | campanha           | Norte       | Centro      | Sul         | campanha         | Norte       | Centro      | Sul         |
| n             | 22                 | 8           | 6           | 8           | 24               | 8           | 8           | 8           |
| média         | <b>1,41</b>        | <b>0,93</b> | <b>1,09</b> | <b>2,14</b> | <b>2,46</b>      | <b>0,80</b> | <b>0,16</b> | <b>6,41</b> |
| soma          | 31,09              | 7,45        | 6,53        | 17,11       | 58,96            | 6,40        | 1,26        | 51,30       |
| mínimo        | 0,001              | 0,01        | 0,002       | 0,001       | 0,01             | 0,03        | 0,01        | 0,02        |
| máximo        | 6,43               | 2,49        | 6,18        | 6,43        | 38,73            | 2,15        | 0,94        | 38,73       |
| variância     | 3,95               | 1,16        | 6,24        | 5,28        | 61,20            | 1,07        | 0,10        | 172,86      |
| desvio padrão | 1,99               | 1,08        | 2,50        | 2,30        | 7,82             | 1,04        | 0,32        | 13,15       |
|               | Outono (Mai/99)    |             |             |             | Inverno (Ago/99) |             |             |             |
|               | campanha           | Norte       | Centro      | Sul         | campanha         | Norte       | Centro      | Sul         |
| n             | 24                 | 8           | 8           | 8           | 24               | 8           | 8           | 8           |
| média         | <b>0,06</b>        | <b>0,01</b> | <b>0,10</b> | <b>0,07</b> | <b>0,12</b>      | <b>0,15</b> | <b>0,07</b> | <b>0,12</b> |
| soma          | 1,44               | 0,08        | 0,81        | 0,55        | 2,76             | 1,21        | 0,59        | 0,96        |
| mínimo        | 0                  | 0           | 0,001       | 0,001       | 0                | 0           | 0,03        | 0,02        |
| máximo        | 0,36               | 0,05        | 0,36        | 0,29        | 0,44             | 0,44        | 0,12        | 0,41        |
| variância     | 0,01               | 2,3E-04     | 0,02        | 0,01        | 0,02             | 0,03        | 0,001       | 0,02        |
| desvio padrão | 0,10               | 0,02        | 0,13        | 0,10        | 0,12             | 0,17        | 0,03        | 0,13        |

NA= nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ )

No Verão (Mar/99) a fração nano apresentou um gradiente decrescente do ponto Norte ao Centro e crescente do Centro ao Sul, onde a biomassa variou de 0,01 a 38,73  $\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 3.1). A fração nanoplânctônica nos pontos Norte e Centro apresentaram baixa

expressão de biomassa fitoplanctônica. No ponto Norte a fração registrou a percentagem máxima de 18,5% no segundo dia de amostragem (04 Mar/99) às 14h (Fig. 3.3), e no ponto Centro a máxima percentagem foi de 4,9% também no segundo dia de amostragem, mas no turno das 10h (Fig. 3.3). O ponto Sul foi o ponto de amostragem que apresentou maior biomassa da fração nanoplanctônica chegando a atingir 94,5% da biomassa total às 18h do primeiro dia de amostragem (02 Mar/99) (Fig. 3.3).

Na campanha de outono (Mai/99) a biomassa da fração nano apresentou um gradiente espacial crescente do Norte para o Centro e decrescente do Centro para o Sul (Tabela 3.1). A fração teve pouca expressão de biomassa nesta época do ano, onde os valores variaram de zero a 0,36 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.1). As maiores percentagens de biomassa da fração nano foram apresentadas no ponto Norte às 10h do primeiro dia de coleta (21 Mai/99) (0,4%), no Centro às 6h do segundo dia de coleta (23 Mai/99) (3,1%) e no ponto Sul às 10h do segundo dia de coleta (0,6%) (Fig.3.4).

No inverno (Ago/99) a fração nanoplanctônica apresentou um gradiente decrescente de biomassa do ponto Norte ao Centro e crescente do Centro ao Sul, e apresentou uma variação de zero a 0,44 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.1). A fração teve pouca expressão da biomassa, representando no máximo 6,2% no ponto Norte às 10h do primeiro dia de coleta (16 Ago/99), 2,7% da biomassa total no ponto Centro às 14h também no primeiro dia de coleta, e 5,4% no ponto Sul às 18h no segundo dia de coleta (18 Ago/99) (Fig.3.4).

Foi verificado um padrão, no qual a média das campanhas sazonias são sempre maiores que as médias nos pontos Norte e Centro, e menores que o ponto Sul, com exceção da campanha de outono (Tabela 3.1)

Para a fração microplanctônica na campanha da primavera (Dez/98) evidenciou-se um gradiente espacial da biomassa decrescente no sentido N→S na Lagoa Itapeva, variando de 0,34 a 11,47 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.2). No ponto Norte a fração teve maior expressão no primeiro dia de amostragem (15 Dez/98), principalmente às 10h e 18h, representando 93,8% e 89,9% da biomassa total, respectivamente (Fig.3.3). No Centro o turno que obteve maior percentagem da biomassa da fração microplanctônica foi às 6h do segundo dia de amostragem (17 Dez/98) com 63,2% (Fig.3.3). No ponto Sul o segundo dia de coleta também favoreceu esta fração, e os turnos de maior expressão foram às 6h e às 14h, com 94,1% e 91,7% da biomassa total, respectivamente (Fig.3.3). As espécies *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Anabaena circinalis* e *Anabaena spiroides* foram as principais colaboradoras da biomassa da fração microplanctônica nesta campanha.

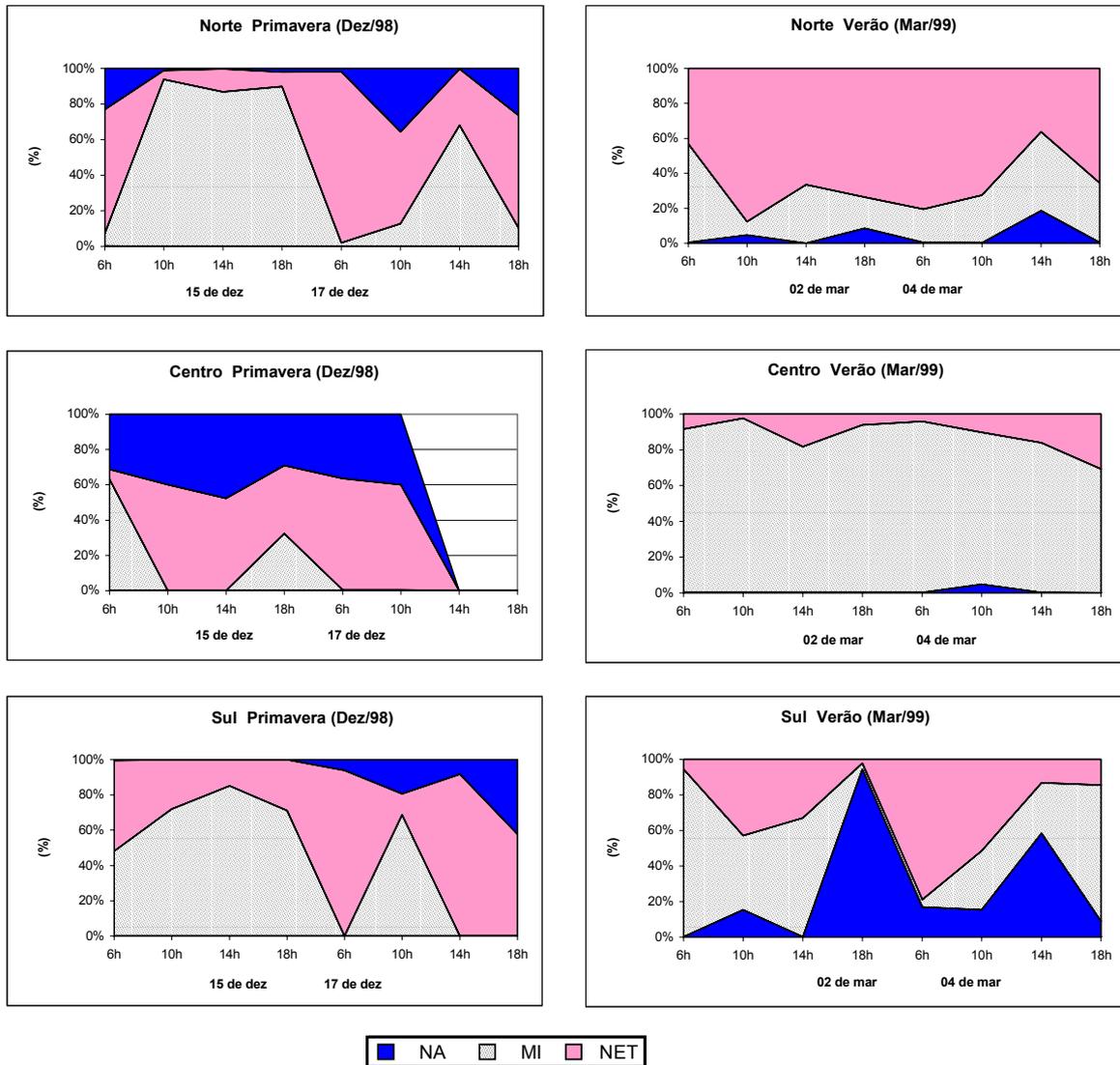


Figura 3.3. Variação espaço-temporal das categorias de tamanho do fitoplâncton em função da percentagem da biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nas campanhas de primavera e verão na Lagoa Itapeva, RS.

NA=nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ ), MI= microplâncton (22,1-64,0  $\mu\text{m}$ ), NET= netplâncton (>64,1  $\mu\text{m}$ )

Não houve coleta no ponto Centro na primavera no dia 17 Dez/98 às 14 e 18h.

OBS: As frações  $u$ -Ultraplâncton e Ultraplâncton estão presentes na análise, mas como apresentam baixa biomassa não aparecem na figura.

No Verão (Mar/99) a fração microplancônica apresentou um gradiente crescente do Norte para o Centro e decrescente do Centro para o Sul. A biomassa variou entre 0,41 e 46,24  $\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela 3.2). O ponto Centro foi o ponto de amostragem que apresentou quase a totalidade da biomassa concentrada na fração micro, em todos os turnos da campanha de verão, exceto às 18h do segundo dia de amostragem (04 Mar/99) que registrou 69,2% da biomassa total (Fig.3.3). No ponto Norte os picos de biomassa registrados pela fração microplancônica foram às 6h do primeiro dia de coleta (02 Mar/99), 56,4%, e às 18h do

segundo dia de coleta (04 Mar/99), 45,3%. No Sul a fração alcançou 94,3% da biomassa total no primeiro dia de coleta às 6h (Fig.3.3).

Para esta campanha de verão, efetuou-se análise de variância (ANOVA “one way”) e verificou-se que fração micro apresentou variação espacial ( $p=0,02$ ). Com o teste de Tukey observou-se que o ponto Norte apresentou uma diferença significativa em relação ao ponto Sul ( $p=0,02$ ), constatando o gradiente espacial da fração de tamanho em função do *fetch*.

Tabela 3.2. Análise descritiva da fração microplânctônica nos pontos de amostragem, nas campanhas sazonais, na Lagoa Itapeva, RS.

| MI            | Primavera (Dez/98) |             |             |             | Verão (Mar/99)   |              |              |             |
|---------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
|               | campanha           | Norte       | Centro      | Sul         | campanha         | Norte        | Centro       | Sul         |
| n             | 22                 | 8           | 6           | 8           | 24               | 8            | 8            | 8           |
| média         | <b>3,05</b>        | <b>3,72</b> | <b>3,10</b> | <b>2,34</b> | <b>10,53</b>     | <b>6,38</b>  | <b>15,48</b> | <b>9,73</b> |
| soma          | 67,02              | 29,72       | 18,61       | 18,69       | 252,69           | 51,04        | 123,81       | 77,84       |
| mínimo        | 0,34               | 0,34        | 0,37        | 0,65        | 0,41             | 2,55         | 8,01         | 0,41        |
| máximo        | 11,47              | 11,47       | 6,00        | 7,79        | 46,25            | 21,54        | 22,58        | 46,25       |
| variância     | 8,80               | 15,19       | 5,89        | 5,91        | 107,56           | 39,13        | 37,97        | 227,93      |
| desvio padrão | 2,97               | 3,90        | 2,43        | 2,43        | 10,37            | 6,26         | 6,16         | 15,10       |
|               | Outono (Mai/99)    |             |             |             | Inverno (Ago/99) |              |              |             |
|               | campanha           | Norte       | Centro      | Sul         | campanha         | Norte        | Centro       | Sul         |
| n             | 24                 | 8           | 8           | 8           | 24               | 8            | 8            | 8           |
| média         | <b>0,97</b>        | <b>2,00</b> | <b>0,38</b> | <b>0,53</b> | <b>17,74</b>     | <b>36,32</b> | <b>10,31</b> | <b>6,60</b> |
| soma          | 23,29              | 16,03       | 3,04        | 4,22        | 425,86           | 290,60       | 82,48        | 52,78       |
| mínimo        | 0                  | 0,20        | 0           | 0,04        | 0,02             | 2,34         | 2,19         | 0,02        |
| máximo        | 3,80               | 3,80        | 0,90        | 1,15        | 92,81            | 92,81        | 31,46        | 18,59       |
| variância     | 1,31               | 2,16        | 0,10        | 0,22        | 656,69           | 1404,95      | 120,60       | 32,45       |
| desvio padrão | 1,15               | 1,47        | 0,32        | 0,46        | 25,63            | 37,48        | 10,98        | 5,70        |

MI= microplâncton (22,1-64,0 µm)

A fração microplânctônica no outono (Mai/99) também apresentou baixos valores de biomassa. Esta variou de zero a 3,80 mg.L<sup>-1</sup> e apresentou um gradiente contrário ao da fração nano, decrescente do ponto Norte ao Centro e crescente do Centro ao Sul (Tabela 3.2). Os valores de maior expressão de biomassa da fração micro ocorreram no ponto Norte às 10h do primeiro dia de amostragem (21 Mai/99), 27,1%, no ponto Centro às 6h do segundo dia de amostragem (23 Mai/99), 3,2%, e no ponto Sul às 18h do segundo dia de amostragem (Fig.3.4). Para esta campanha a fração microplânctônica apresentou variação espacial ( $p=0,003$ ), sendo que o ponto Norte apresentou uma diferença significativa do ponto Centro ( $p=0,005$ ) e do ponto Sul ( $p=0,001$ ).

No inverno (Ago/99) a fração micro apresentou um gradiente espacial da biomassa decrescente no sentido N→S, onde os valores flutuaram de 0,02 a 92,81 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.2). No ponto Norte e Sul esta fração apresentou o mesmo comportamento durante a campanha. Nos turnos das 10h do primeiro dia de coleta (16 Ago/99), e às 14h do segundo dia (18

Ago/99) houve um decréscimo da biomassa nesses pontos (Fig.3.4). Nos outros turnos de amostragem obteve-se a dominância da fração micro, chegando a 100% às 10h do segundo dia de coleta no ponto Norte e 99,8% às 6h no ponto Sul do mesmo dia de coleta (Fig.3.4). No Centro a fração dominou em todos os turnos de amostragem (Fig.3.4).



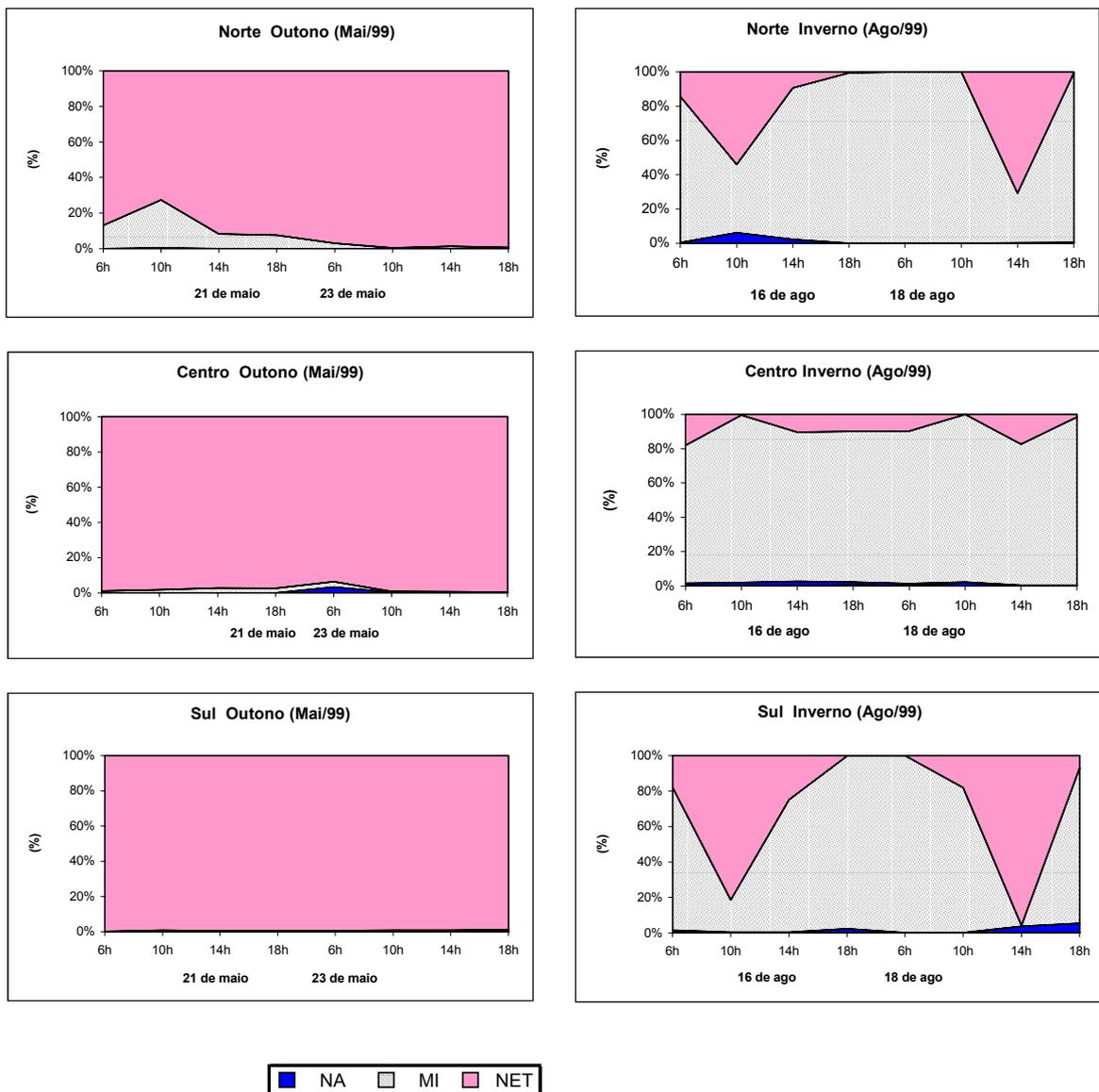


Figura 3.4. Variação espaço-temporal das categorias de tamanho do fitoplâncton em função da percentagem da biomassa ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), nas campanhas de outono e inverno na Lagoa Itapeva, RS.

NA=nanoplâncton (10,1-22,0  $\mu\text{m}$ ), MI= microplâncton (22,1-64,0  $\mu\text{m}$ ), NET= netplâncton (>64,1  $\mu\text{m}$ )

**OBS:** As frações *u*-Ultraplâncton e Ultraplâncton estão presentes na análise, mas como apresentam baixa biomassa não aparecem na figura.

No inverno, a fração micro apresentou uma variação espacial da biomassa ( $p=0,03$ ) e mostrou diferença significativa entre o ponto Norte e o ponto Sul ( $p=0,04$ ), além de apresentar uma variação temporal diária na campanha de inverno ( $p=0,01$ ).

A fração micro apresentou um padrão no qual as médias das campanhas foram sempre maiores do que as médias nos pontos Centro e Sul, exceto na campanha de verão (Tabela 3.2).

Na primavera (Dez/98) também se observou um gradiente espacial da biomassa decrescente no sentido N→S na Lagoa Itapeva para a fração netplancônica, onde a biomassa variou de zero a  $120,77 \text{ mg.L}^{-1}$  (Tabela 3.3). No Norte a fração net teve o seu pico de biomassa às 6h do segundo dia de amostragem (17 Dez/98), representando 96,1% da

biomassa total (Fig.3.3). Este fato ocorreu devido à floração de *Anabaena circinalis*, que se enquadrou na fração netplanctônica devido os longos filamentos de células. No ponto Centro a maior expressão da biomassa da fração netplanctônica foi às 14h do primeiro dia de coleta (15 Dez/98), com 47,6% da biomassa total (Fig.3.3), devido principalmente às grandes cadeias de *Aulacoseira granulata*. No primeiro dia da primavera no ponto Sul a fração netplanctônica foi quase inexistente, registrando um pequeno crescimento no segundo dia de amostragem com a maior percentagem ocorrendo às 18h com 42,2% da biomassa (Fig.3.3) devido também à espécie *A. granulata*.

Tabela 3.3. Análise descritiva da fração netplanctônica nos pontos de amostragem, nas campanhas sazonais, na Lagoa Itapeva, RS.

| NET           | Primavera (Dez/98) |              |              |              | Verão (Mar/99)   |              |             |             |
|---------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|-------------|-------------|
|               | campanha           | Norte        | Centro       | Sul          | campanha         | Norte        | Centro      | Sul         |
| n             | 22                 | 8            | 6            | 8            | 24               | 8            | 8           | 8           |
| média         | <b>7,17</b>        | <b>17,26</b> | <b>2,64</b>  | <b>0,48</b>  | <b>8,73</b>      | <b>17,26</b> | <b>2,16</b> | <b>6,77</b> |
| soma          | 157,73             | 138,05       | 15,82        | 3,86         | 209,51           | 138,10       | 17,27       | 54,14       |
| mínimo        | 0                  | 0,16         | 0,28         | 0            | 0,46             | 4,20         | 0,56        | 0,46        |
| máximo        | 120,77             | 120,77       | 4,00         | 1,80         | 42,62            | 42,62        | 6,12        | 22,81       |
| variância     | 646,81             | 1753,44      | 2,18         | 0,45         | 133,25           | 232,85       | 4,05        | 63,99       |
| desvio padrão | 25,43              | 41,87        | 1,48         | 0,67         | 11,54            | 15,26        | 2,01        | 8,00        |
|               | Outono (Mai/99)    |              |              |              | Inverno (Ago/99) |              |             |             |
|               | campanha           | Norte        | Centro       | Sul          | campanha         | Norte        | Centro      | Sul         |
| n             | 24                 | 8            | 8            | 8            | 24               | 8            | 8           | 8           |
| média         | <b>49,83</b>       | <b>40,59</b> | <b>38,14</b> | <b>70,75</b> | <b>4,27</b>      | <b>9,71</b>  | <b>0,90</b> | <b>2,20</b> |
| soma          | 1195,81            | 324,68       | 305,14       | 565,98       | 102,49           | 77,67        | 7,22        | 17,59       |
| mínimo        | 6,01               | 9,34         | 6,01         | 24,19        | 0                | 0            | 0           | 0,00        |
| máximo        | 130,60             | 75,16        | 102,03       | 130,60       | 71,99            | 71,99        | 4,72        | 4,93        |
| variância     | 1041,01            | 530,40       | 955,72       | 1180,49      | 210,88           | 634,34       | 2,44        | 4,45        |
| desvio padrão | 32,26              | 23,03        | 30,91        | 34,36        | 14,52            | 25,19        | 1,56        | 2,11        |

NET= netplâncton (>64,1 µm)

Para a fração netplanctônica no verão (Mar/99), foi registrado um gradiente espacial da biomassa decrescente do ponto Norte ao Centro e crescente do Centro ao Sul, flutuando entre 0,46 a 42,62 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.3). No ponto Norte a fração net apresentou as maiores percentagens de biomassa, principalmente as registradas no turno das 10h (87,8%) e 18h (73,6%) do primeiro dia de amostragem (02 Mar/99) (Fig.3.3). O ponto Centro expressou os menores valores de biomassa, representando o máximo de 30,7% da biomassa total às 18h do segundo dia de amostragem (04 Mar/99) (Fig.3.3). O Sul registrou o maior valor para a fração net às 6h do primeiro dia de coleta com 94,5% da biomassa total (Fig.3.3).

A fração netplanctônica foi dominante em toda a campanha de outono (Mai/99) devido à floração da espécie *Anabaena circinalis*, que abrangeu toda a extensão da Lagoa Itapeva.

Esta fração apresentou o mesmo gradiente espacial da fração micro (Tabela 3.3) A biomassa variou entre 6,01 a 130,60 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.3). As percentagens da biomassa desta fração chegaram a 99,6% no ponto Norte às 14h, e 99,7% no ponto Centro às 18h do segundo dia de amostragem (23 Mai/99) (Fig.3.4). No ponto Sul a floração foi mais intensa, em todos os turnos de amostragem a percentagem da biomassa foi maior que 98%, onde o pico foi registrado às 6h do primeiro dia de amostragem (21 Mai/99) com 99,7% (Fig.3.4).

No inverno (Ago/99) a fração netplancônica também apresentou um gradiente espacial da biomassa decrescente no sentido N→S, onde os valores flutuaram de zero a 71,99 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3.3). Como a fração microplancônica, a fração net apresentou o mesmo comportamento nos pontos Norte e Sul, apresentando os picos de biomassa às 10h do primeiro dia de coleta (16 Ago/99), e às 14h do segundo dia (18 Ago/99) nesses pontos de amostragem (Fig.3.4). O ponto Centro apresentou uma pequena percentagem da fração net, onde o pico de biomassa representou 18,2 % às 6h do primeiro dia de amostragem (18 Ago/99) (Fig.3.4).

Para a fração net o padrão observado foi que as médias das campanhas foram maiores que as médias dos pontos Centro e Sul e menores que o ponto Norte, exceto na campanha de outono, onde a média da campanha foi maior que as médias nos pontos Norte e centro e menor que a média do ponto Sul (Tabela 3.3).

Pode-se observar que na primavera o ponto Norte apresentou um comportamento oposto ao ponto Sul, em relação às frações de tamanho da comunidade fitoplanctônica na Lagoa Itapeva. No primeiro dia de amostragem (15 Dez/98) enquanto a maior percentagem de biomassa no Norte era registrada pela fração microplancônica, no ponto Sul era registrada pela fração nanoplancônica, e no segundo dia de amostragem (17 Dez/98), enquanto a fração netplancônica apresentava a maior expressão de biomassa no Norte, no Sul esta era representada pela fração microplancônica (Fig.3.3).

Este comportamento oposto pode ser explicado pela ação do *fetch*. No primeiro dia de amostragem nos turnos das 10h, 14h e 18h a direção do vento oscilava em SSW-SSE (*capítulo 1*, Tabela 1.2), onde a ação do *fetch* no ponto Norte é mais intensa. Com a turbulência no local, os organismos que melhor se adaptaram foram os pertencentes à fração microplancônica, como a espécie *Aulacoseira granulata* (Fig.3.3). No ponto Sul o ambiente se tornou mais estável, possibilitando a permanência dos organismos de menor porte (nanoplancônicos) na superfície d'água (Fig.3.3). No segundo dia de amostragem, às 6h o vento de quadrante N, com uma velocidade média de 4,5 m.s<sup>-1</sup> (*capítulo 1*, Tabela 1.2) gerou um *fetch* efetivo maior nos pontos Centro e Sul. No mesmo turno, sob o efeito do *fetch*, o

nível d'água no ponto Norte foi mais baixo em relação aos demais (*capítulo 1*). Devido a esses fatores o ponto Norte se tornou mais calmo e estável, propiciando a boiância de cianobactérias providas de aerótopos, como *Anabaena circinalis*, *A. spiroides* e *Microcystis aeruginosa*. Com este fato, a biomassa apresentou um pico neste turno (*capítulo 1*, Figs. 1.12 e 1.13), principalmente devido às grandes colônias que estas espécies apresentavam, estando enquadradas na fração netplanctônica nesta ocasião (Fig.3.3). No entanto, o Sul se tornou um ambiente mais turbulento e a fração microplanctônica foi a que se sobressaiu, devido a uma melhor adaptação (Fig.3.3). Às 10h deste mesmo dia de coleta, a velocidade média do vento aumentou para  $7,6 \text{ m.s}^{-1}$ , e a direção de vento mudou para WNW, agitando as águas do Ponto Norte, causando um decréscimo da biomassa da comunidade. Com isso, o deságüe do Rio Três Forquilhas na lagoa foi intensificado pela ação do vento, elevando o nível d'água no ponto Centro. Assim, a fração net diminuiu no Norte, e a fração nano novamente aumentou no Sul (Fig.3.3).

Na campanha de verão o ponto Norte teve a fração netplanctônica dominando a biomassa durante toda a campanha, enquanto que no Centro este comportamento esteve relacionado com a fração microplanctônica (Fig. 3.3). Nesta campanha a direção do vento foi a mais constante entre as campanhas sazonais, havendo uma pequena oscilação entre os quadrantes NNE-ENE, com uma maior velocidade no final do dia (*capítulo 1*, Tabela 1.2, Fig. 1.11). Assim, devido aos quadrantes de vento NE-NNE provocarem um *fetch* efetivo maior no ponto Sul ( $L_f=12,4 \text{ km}$ ), refletindo numa maior estabilidade da coluna d'água no ponto Norte. O ambiente calmo propiciou a boiância da cianobactéria *Anabaena circinalis*, que provida de grandes filamentos de células, provocou o aumento da biomassa da fração netplanctônica.

Na campanha do outono, o vento foi um fator muito importante na desestabilização da coluna d'água, bem como na distribuição espacial do fitoplâncton. No primeiro dia de coleta, os turnos da manhã, as velocidades de vento foram as maiores registradas na campanha, entre os quadrantes WSW-W (*capítulo 1*, Tabela 1.2), provocado por um *fetch* efetivo maior no Norte e no Centro, tornando o ponto Sul da lagoa um ambiente mais estável e por isso o ponto de amostragem que apresentou os picos de biomassa na floração de *A. circinalis* (*capítulo 1*). Esta espécie foi enquadrada na fração net devido ao tamanho de suas colônias (filamentos).

Na campanha de inverno cada dia de amostragem foi peculiar, tanto em relação à biomassa e densidade de indivíduos (*capítulo 1*) quanto aos fatores físicos atuantes na lagoa. No primeiro dia de coleta o vento oscilou de W-WSW no turno da manhã (*capítulo 1*, Tabela 1.2), causando um distúrbio maior no ponto Norte devido ao *fetch* efetivo. Assim, observou-se no ponto Sul a dominância da fração netplanctônica (Fig.3.4), já comentada anteriormente,

devido à floração de *Anabaena circinalis*. No segundo dia de coleta, os ventos mudaram de direção, os quadrantes predominantes foram NE-ENE (*capítulo 1*, Tabela 1.2), produzindo um efeito mais intenso do ponto Centro em direção ao ponto Sul.

Verificou-se através de ANOVA (“one way”) a variação sazonal das frações de tamanho estudadas. A fração microplânctônica apresentou variação temporal sazonal ( $p < 0,001$ ), sendo verificada diferença significativa entre o inverno e a primavera ( $p = 0,004$ ) e o outono ( $p = 0,001$ ). Para a fração netoplânctônica também se verificou uma variação sazonal, e o teste de Tukey averiguou que o outono se diferenciou de todas as outras estações do ano estudadas com  $p < 0,001$ . A fração nanoplânctônica não apresentou diferença significativa entre as estações do ano.

Na análise de correlação averiguou-se relações das frações de tamanho com os fatores físicos atuantes na Lagoa Itapeva nos pontos de amostragem (Tabela 3.4). A fração nano do ponto Norte e do ponto Centro apresentaram correlação negativa com o nível d’água dos respectivos pontos (Norte  $r = -0,36$ , Centro  $r = -0,87$ ) (Tabela 3.4). A fração nano do ponto Sul apresentou correlação positiva com o nível d’água no ponto ( $r = 0,41$ ) (Tabela 3.4). A fração micro e net do ponto Centro apresentaram correlação significativa com o nível d’água do Norte,  $r = -0,66$  e  $r = 0,54$ , respectivamente (Tabela 3.4). A fração net do Sul apresentou uma correlação positiva com o nível d’água do mesmo ponto ( $r = 0,54$ ) (Tabela 3.4).

Estas relações são o reflexo de distúrbios intensos (provocados pelos fortes ventos e *fetch* longo nos pontos de amostragem) ou a falta deste (criando um ambiente estável para as cianobactérias) que ocorrem na coluna d’água e afetam determinadas frações de tamanho da comunidade fitoplânctônica. A relação causa-efeito do vento na biomassa fitoplânctônica da Lagoa Itapeva pode ser indireta, removendo nutrientes da coluna d’água e até mesmo da camada superficial do sedimento.

A coluna d’água pode em muitos lagos interagir prontamente com a camada superficial do sedimento, especialmente em lagos rasos, a qual é suscetível a mudanças nos campos de luz devido à mistura de fundo. Não é claro que mudanças na biomassa fitoplânctônica sejam associadas com pulsos de libertação de nutrientes do sedimento para as camadas superiores da água, durante eventos de ressuspensão, ou direta inoculação de alga do fundo do lago, ou ainda em ambos fatores (Carrick et al., 1993).

Tabela 3.4. Matriz de correlação ( $r$ - Pearson,  $p < 0,05$ ,  $n = 32$ ) das variáveis físicas (velocidade de vento e nível d’água) e frações de tamanho em função da biomassa do fitoplâncton nos pontos de amostragem na Lagoa Itapeva, RS.

|         | veloc N | veloc C | veloc S | nível N | nível C | nível S | NA N  | NA C  | NA S | MI N | MI C | MI S | NET N | NET C | NET S |       |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| veloc N | 1       |         |         |         | -0,55   |         |       |       |      |      |      |      |       |       |       |       |
| veloc C |         | 1       |         |         | -0,55   |         |       |       |      |      |      |      |       |       |       |       |
| veloc S |         |         | 1       |         | -0,55   |         |       |       |      |      |      |      |       |       |       |       |
| nível N |         |         |         | 1       |         | 0,45    | -0,36 |       |      |      |      |      |       |       | 0,54  | 0,54  |
| nível C |         |         |         |         | 1       |         |       |       |      |      |      |      |       |       |       | 0,35  |
| nível S |         |         |         |         |         | 1       |       | -0,87 |      |      |      |      |       |       |       | 0,39  |
| NA N    |         |         |         |         |         |         | 1     |       | 0,41 |      |      |      |       |       |       |       |
| NA C    |         |         |         |         |         |         |       | 1     |      |      |      |      |       |       |       |       |
| NA S    |         |         |         |         |         |         |       |       | 1    |      |      |      |       |       |       |       |
| MI N    |         |         |         |         |         |         |       |       |      | 1    | 0,47 | 0,37 |       |       |       |       |
| MI C    |         |         |         |         |         |         |       |       |      |      | 1    |      |       |       |       | -0,37 |
| MI S    |         |         |         |         |         |         |       |       |      |      |      | 1    |       |       |       |       |
| NET N   |         |         |         |         |         |         |       |       |      |      |      |      | 1     |       |       |       |
| NET C   |         |         |         |         |         |         |       |       |      |      |      |      |       | 1     | 0,67  |       |
| NET S   |         |         |         |         |         |         |       |       |      |      |      |      |       |       |       | 1     |

veloc N= velocidade média de vento no ponto Norte, veloc C= velocidade média de vento no ponto Centro, veloc S= velocidade média de vento no ponto Sul, nível N= nível d'água no ponto Norte, nível C= nível d'água no ponto Centro, nível S= nível d'água no ponto Sul, NA N= fração nanoplantônica no ponto Norte, NA C= fração nanoplantônica no ponto Centro, NA S= fração nanoplantônica no ponto Sul, MI N= fração microplantônica no ponto Norte, MI C= fração microplantônica no ponto Centro, MI S= fração microplantônica no ponto Sul, NET N= fração netplantônica no ponto Norte, NET C= fração netplantônica no ponto Centro, NET S= fração netplantônica no ponto Sul.

Vários trabalhos (Bergesch, 1990; Bergesch & Odebrecht, 1995; Bergesch & Odebrecht, 1997; Odebrecht et al. 1998 e Torgan et al., 2000) foram realizados na Laguna dos Patos (RS) com o intuito de verificar a estrutura de tamanho da comunidade fitoplanctônica em função da biomassa, com base na análise do teor de clorofila *a* e a taxa de produção primária. Bergesch (1990) discutiu as limitações do método de clorofila *a* como estimativa de biomassa, pois a quantidade de clorofila não apresenta uma correlação linear perfeita com o tamanho da célula, interferindo principalmente na avaliação da fração microplantônica. Além disso, o teor de clorofila pode ser influenciado por alterações de intensidade luminosa e conservação do estado fisiológico da alga, quando em amostras fixadas. No entanto o método da clorofila é muito valioso para a avaliação de organismos picoplantônicos (<2 µm). Torgan (1997) também efetuou o estudo da estrutura de tamanho dos organismos fitoplanctônicos da Laguna dos Patos, utilizando o biovolume como estimativa da biomassa e o GALD para o fracionamento de tamanho. O estudo constatou a predominância do microplâncton sobre as demais categorias de tamanho devido à alta disponibilidade de nutrientes orgânicos, a manutenção dos organismos maiores nas camadas mais superficiais (ausência de estratificação vertical) e à baixa taxa de herbivoria sobre essa categoria de tamanho. A categoria de tamanho considerada por Torgan (*op.cit.*), entretanto, foi baseada em Dussart (1965), em que o microplâncton corresponde a organismos entre 20 e 200 µm. Se fosse utilizada esta classificação para o fitoplâncton da Lagoa Itapeva, provavelmente a fração dominante seria a micro. Huszar (1994), registrou para os ambientes

amazônicos (Lago Batata, Lago Mussurá e Rio Trombetas) 62% de organismos nanoplantônicos (GALD 2,5-20 µm) como fração dominante. O domínio de uma fração de tamanho sobre as outras pode ser a consequência da taxa de sedimentação na zona eufótica (Malone, 1980). O tamanho, a forma e a razão superfície/volume dos organismos fitoplantônicos têm grande influência em sua taxa de sedimentação na coluna d'água (Lewis, 1976). Células grandes crescem mais rápido que as células pequenas quando a concentração de nutrientes e intensidade de luz são altas. Enquanto que, em ambientes com baixa quantidade de nutriente e baixa intensidade de luz, as células grandes crescem com os nutrientes de reservas, em uma taxa maior do que as células menores (Parsons & Takahashi, 1973). A sedimentação é um dos processos mais importantes de perda para comunidade fitoplantônica em função da maior densidade das algas em relação ao meio líquido circundante. Diferentes estratégias foram desenvolvidas por várias espécies de algas plantônicas visando reduzir a taxa de sedimentação, sendo talvez o tamanho microscópico a adaptação mais difundida nessa comunidade (Reynolds, 1984b).

O fracionamento das classes de tamanho em função do GALD foi determinado pelo tamanho do indivíduo. É sabido que as estratégias de reprodução adotadas pelas algas microscópicas estão vinculadas à célula ou pelo menos à parte deste filamento (Round, 1983). O maior tamanho da célula pode ser, ainda, um mecanismo que ofereça vantagens pela baixa herbivoria do zooplâncton, pois a fração nanoplantônica sofre mais pressão de pastejamento (Lewis, 1976). Algas maiores compensam a sedimentação pelo aumento na resistência através da forma como, por exemplo, corpo alongado, presença de processos, espinhos, protuberâncias, etc. (Reynolds, 1984b). Na Lagoa Itapeva a fração netplantônica predominou sobre as outras frações estudadas, e provavelmente a causa seja a mesma abordada por Torgan (1997), pois os organismos responsáveis pelos altos valores de biomassa da fração foram principalmente às espécies de colônias filamentosas como *Aulacoseira granulata*, *Anabaena circinalis* e *A. spiroides*. A alta razão superfície /volume, estratégia essa que propicia a espécie *Aulacoseira granulata*, a suspensão e um maior tempo de residência nas camadas superficiais do corpo d'água, onde há mais luz, favorecendo dessa forma o seu desenvolvimento. Essas características identificam os estrategistas R, ou seja, aqueles organismos apresentam rápidas taxas de reprodução em ambientes turbulentos (1 a 3 dias) (Harris, 1986). De acordo com os trabalhos de Reynolds (1988, 1997) (*Apud* Huzsar & Caraco, 1998), as estratégias do fitoplâncton são divididas pela morfologia-funcional. Assim, por este critério as espécies *Anabaena circinalis* e *Anabaena spiroides* integrariam o grupo S-estrategista, o qual é significativamente tolerante ao stress. Integram este grupo colônias grandes formadas por pequenas células (ex. *Microcystis*) e filamentos com estruturas secundárias,

como é o caso de *Anabaena* spp. Esses organismos possuem um crescimento lento, e baixa relação superfície/volume. Podem dominar o ambiente em condições de alta luminosidade e baixa concentração de nutrientes (Huzsar & Caraco, 1998).

O gênero *Aulacoseira*, e especialmente *A. granulata* são organismos expostos á baixa pressão de pastejamento, devido à organização de suas células em colônias filamentosas e pela presença de longos espinhos (Reynolds, 1987). Além disso, os organismos filamentosos podem representar uma barreira para a maioria das espécies zooplânctônicas, sendo capazes de obstruir o mecanismo filtrador de Cladocera e Copepoda (Infante & Riehl, 1984). As cianobactérias além da capacidade de boiância, regulação e fixação de nitrogênio, provavelmente apresentam um baixo valor alimentar para o zooplâncton (Lewis, 1976), além de provocar efeitos deletérios nestes organismos (Sivonen & Jones, 1999). Assim, no caso das florações de *Anabaena circinalis* que ocorreram neste estudo, principalmente na campanha de outono, obteve-se altos valores de biomassa da fração netplânctônica.

## CONCLUSÕES

Na Lagoa Itapeva, a contribuição das diferentes categorias de tamanho em relação à biomassa, estimada através do biovolume, ressaltou três frações que melhor representaram a comunidade fitoplânctônica: Nanoplâncton, Microplâncton e Netplâncton. As frações *u*-Ultraplâncton e Ultraplâncton estiveram presentes em alguns momentos do estudo, mas foram irrelevantes nas análises estatísticas. A fração netplânctônica predominou sobre as demais frações de tamanho no estudo da estrutura de tamanho do fitoplâncton da Lagoa Itapeva. A predominância da fração netplânctônica sobre as outras frações estudadas deu-se principalmente às espécies de colônias filamentosas como *Aulacoseira granulata*, *Anabaena circinalis* e *A. spiroides*. Estes organismos filamentosos são mais resistentes á turbulência da coluna d'água e á sedimentação, principalmente as cianobactérias providas de aerótopos (Ex. *Anabaena* spp.). Além disso, as cianobactérias provavelmente apresentam um baixo valor alimentar para o zooplâncton (Lewis, 1976).

Em termos sazonais verificou-se uma sucessão de frações de tamanhos durante as campanhas estudadas. Na primavera e no outono a maior contribuição da biomassa esteve na fração netplânctônica (no outono chegou a representar 98% da biomassa total), e no verão e no inverno a maior percentagem de biomassa foi da fração de tamanho microplânctônica. A fração microplânctônica apresentou uma variação espacial no verão, no outono e no inverno. A fração netplânctônica apresentou uma variação espacial somente no inverno. Além disso, as frações micro e net apresentaram variação temporal sazonal.

As sucessões das frações de tamanho do fitoplâncton estiveram relacionadas à ação de distúrbios intensos (provocados pelos fortes ventos e *fetch* longo nos pontos de amostragem) ou a falta deste (criando um ambiente estável para as cianobactérias) que ocorrem na coluna d'água e afetaram diretamente na estrutura de tamanho da comunidade. A coluna d'água pode em muitos lagos interagir prontamente com a camada superficial do sedimento, especialmente em lagos rasos, as quais são suscetíveis a mudanças nos campos de luz devido à mistura de fundo. (Carrick et al., 1993). A ação do vento na coluna d'água pode interferir na biomassa fitoplanctônica da Lagoa Itapeva de forma indireta, pois pode provocar uma remoção de nutrientes da coluna d'água e até mesmo da camada superficial do sedimento, propiciando o aumento da biomassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), 1992, *Standard Methods of Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington, 1268p.
- BERGESCH, M., 1990, *Variações de biomassa e composição do fitoplâncton na área estuarina rasa da Lagoa dos Patos e suas relações com fatores de influência*. Dissertação de Mestrado, FURG, Rio Grande, 84p.
- BERGESCH, M. & ODEBRECHT, C., 1995, Estrutura de tamanho do fitoplâncton no estuário da Lagoa dos Patos: Uma comparação entre três métodos de análise. *Atlântica*, 17: 53-62.
- BERGESCH, M. & ODEBRECHT, C., 1997, Análise do fitoplâncton, protozooplâncton e de alguns fatores abióticos no estuário da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 19: 31-50.
- CARDOSO, L.S., 2001, *Variações da estrutura planctônica da Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica*. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.
- CARRICK, H.J., ALDRIDGE, F.J. & SCHELSKE, C.L., 1993, Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnol. Oceanogr.*, 38 (6): 1179-1192.
- DUSSART, B.H., 1965, Les différentes catégories de plancton. *Hydrobiologia*, 26 (1/2): 72-74.
- FERRARIO, M.E., SAR, E.A. & SALA, S.E., 1995, Metodologia básica para el estudio del fitoplancton com especial referencia a las diatomeas. pp. 1-23. In: K. Alveal, M.E. Ferrario, E.C. Oliveira & E. Sar (eds.), *Manual de Métodos Ficológicos*, Universidad de Concepcion, Concepcion.
- GAEDKE, U., 1992a, The size distribution of plankton biomass in a large lake and its seasonal variability. *Limnol. Oceanogr.*, 37(6): 1202-1220.
- GAEDKE, U., 1992b, Identifying ecosystem properties: a case study using plankton biomass size distribution. *Ecological Modelling*, 63: 277-298.
- GOSSELAIN, V. & HAMILTON, P.B., 2000, Algamica: revisions to a key-based computerized counting program for free-living, attached, and benthic algae. *Hydrobiologia*, 438: 139-142.

- GOSSELAIN, V., HAMILTON, P.B. & DESCY, J., 2000, Estimating phytoplankton carbon from microscopic counts: an application for riverine systems. *Hydrobiologia*, 438: 75-90.
- HARRIS, G.P., 1986, *Phytoplankton Ecology – Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London, 384p.
- HUSZAR, V.L.M., 1994, *Fitoplâncton de um lago Amazônico impactado por rejeito de bauxita (Lago Batata, Pará, Brasil): Estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais*. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 219p.
- HUSZAR, V.L.M. & CARACO, N.F., 1998, The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional descriptors in six temperate lakes. *Freshwater Biology*, 40: 679-696.
- INFANTE, A. & RIEHL, W., 1984, The effect of Cyanophyta upon zooplankton in a eutrophic tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Hydrobiologia*, 113: 293-142.
- LANE, J.L. & GOLDMAN, C.R., 1984, Size-fractionation of natural phytoplankton communities in nutrient bioassay studies. *Hydrobiologia*, 118: 219-223.
- LEWIS, W.M., 1976, Surface/Volume Ratio: implications for phytoplankton morphology. *Science*, 192: 885-887.
- LOPARDO, N., (em preparação), *Estudo hidrodinâmico e correlações com variáveis ambientais na Lagoa Itapeva no Litoral Norte do rio grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, IPH/UFRGS, Porto Alegre.
- MALONE, T.C., 1980, Algal Size, pp. 433-463. In: I. Morris (ed.), *The physiological ecology of phytoplankton*. Black Sci.Publ., Oxford.
- ODEBRECHT, C., MÖLLER, O.O. & NIENCHESKI, L.F., 1988, Biomassa e categorias de tamanho do fitoplâncton total na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil verão de 1986). *Acta limnol. Bras.* 2: 367-386.
- PARSONS, T.R. & TAKAHASKI, M., 1973, Environmental control of phytoplankton cell size. *Limnol. Oceanogr.* 18: 511-515.
- REYNOLDS, C.S., 1984a, Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology*, 14: 111-142.
- REYNOLDS, C.S., 1984b, *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 384p.
- REYNOLDS, C.S., 1987, The response of phytoplankton communities to changing lake environments. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 49(2): 220-236.
- ROUND, F.E., 1983, *Biologia das Algas*. Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, 261 p.
- SCHWARZBOLD, A. & SCHÄFER, A., 1984, Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazoniana*, 9 (1): 87-104.
- SIMONSEN, R., 1974, The diatoms plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V "Meteor", 1964-1965. "Meteor" Forsch.-Ergebnisse Reihe D- *Biol. Berlin* (19):1-66.
- SIVONEN, K. & JONES, G., 1999, Cyanobacterial toxins pp. 41-111. In: I. Chorus & J. Bartram (eds.), *Toxic cyanobacteria in water*, 416p., E & FN Spoon, London.
- SOURNIA, A. (ed.), 1978. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris, 337p.

- TORGAN, L. C., 1997, *Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um ciclo anual*. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 284p.
- TORGAN, T., ODEBRECHT, C. & NIENCHESKI, L.F.H., 2000, Variação espacial da estrutura de tamanho fitoplanctônica na Laguna dos patos, sul do Brasil. *Atlântica*, 22: 95-111.
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E., 2000, *Limnological Analyses*. 3 ed. Springer-Verlag, New York, 429p.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## **Variação da estrutura e da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva em função da hidrodinâmica**

Em sistemas rasos e perturbados, o vento é a principal fonte de energia cinética produzindo movimento de água (Millet, 1989 *apud* Millet & Cecchi, 1992). O estudo na Lagoa Itapeva teve como base a hipótese de que o vento age como principal fator determinante na hidrodinâmica da lagoa, influenciando a comunidade planctônica. Estudos têm reconhecido a hidrodinâmica como uma força que dirige os ecossistemas aquáticos (Legendre & Demers, 1984). O nível de turbulência é menos importante na seleção da fitoflora em sistemas cinéticos intensivamente misturados, do que sua extensão espacial ou mesmo sua permanência temporal. Embora a alga possa estar circundada por um meio viscoso, é improvável que permaneça estacionária: enquanto a turbulência persiste, estas estão sempre sujeitas a serem deslocadas ou absorvidas dentro do movimento. Se as células afundam, flutuam ou se movimentam em relação às águas adjacentes, suas posições estão constantemente sujeitas ao reajuste (Reynolds, 1994).

Em pesquisas de fitoplâncton, as principais ferramentas utilizadas para caracterizar a estrutura da comunidade são, a composição taxonômica, a riqueza, a diversidade de espécies e a classificação dos organismos de acordo com o seu tamanho. O tamanho da célula fitoplanctônica pode influenciar as taxas de assimilação de nutrientes, fotossíntese, respiração e crescimento.

Neste trabalho os assuntos abordados estiveram relacionados à biomassa fitoplanctônica, bem como à diversidade de espécies e ao fracionamento de tamanho da comunidade. A biomassa é uma importante variável em ecossistemas aquáticos, uma vez que esta representa a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica (Sharma et al., 1998, Gosselain et al., 2000). A estimativa da biomassa através do biovolume exibe fatores positivos, principalmente o de oferecer uma alta resolução taxonômica (Hillenbrand et al., 1999). Além disso, os produtos podem gerar subsídios para estimativa de carbono na comunidade.

Durante o estudo, as cianofíceas foram as responsáveis pelos elevados valores de biomassa observados nos pontos de amostragem. Este fato esteve relacionado principalmente às florações de *Anabaena circinalis* durante as campanhas sazonais. Florações de *A. circinalis* foram citadas como comuns em algumas lagoas do litoral sul-riograndense (Kleerekoper, 1990), indicando que se trata de um fenômeno natural e característico do sistema. Embora seja fato que o desenvolvimento de florações esteja vinculado a uma estabilização/estratificação da coluna d'água, parece existir um mecanismo maior que governa a sua disseminação em determinados períodos do ano. Para o caso da floração de *Anabaena*

*circinalis*, durante o outono de 1999 na Lagoa Itapeva, a velocidade de vento era elevada no início da campanha, voltando a oscilar entre os dias da coleta. Esta oscilação não chegou a ser suficiente para romper a floração, a qual já estava estabelecida, mas pode ter atuado no suprimento de nutrientes para que as células mantivessem o crescimento e desenvolvimento (Cardoso, 2001).

A biomassa foi a variável que melhor se relacionou com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento) pela ação de ventos dos quadrantes predominantes que resultavam num *fetch* efetivo longo. Foram ajustadas equações que permitiram estimar a biomassa a partir das variáveis de hidrodinâmica. Estes modelos, no entanto, não representam o processo de produção primária. Esses modelos estatísticos apresentam um potencial de uso na gestão desta lagoa e de suas águas para abastecimento público.

Geralmente a diversidade está associada diretamente à estabilidade da comunidade ou a complexidade de teia alimentar, e inversamente ao grau de alterações dos sistemas. No princípio da exclusão competitiva a diversidade de espécies é suprimida quando o equilíbrio ecológico é atingido. Assim, distúrbios com intensidade, frequência e duração apropriadas preveniriam a exclusão competitiva e assim manteriam a diversidade de espécies mais elevada. Neste estudo na Lagoa Itapeva, os índices de diversidade de espécies, calculados através de indivíduos ( $H'$ ind) e de biomassa ( $H'$  biom), apresentaram estreitas relações positivas entre si. Os índices também apresentaram relações diretas e significativas com os fatores físicos (nível d'água e velocidade média do vento), em função do *fetch* efetivo associado aos quadrantes predominantes dos ventos.

Na Lagoa Itapeva, as categorias de tamanho, em função do GALD, que melhor representaram a comunidade fitoplânctônica neste estudo foram: Nanoplâncton, Microplâncton e Netplâncton. A fração netplânctônica predominou sobre as demais frações de tamanho no estudo da estrutura de tamanho do fitoplâncton da Lagoa Itapeva. Esta predominância sobre as outras frações deve-se principalmente às espécies de colônias filamentosas como *Aulacoseira granulata*, *Anabaena circinalis* e *A. spiroides*. A alta razão superfície /volume, estratégia essa que propicia a espécie *Aulacoseira granulata*, a suspensão e um maior tempo de residência nas camadas superficiais do corpo d'água, onde há mais luz, favorecendo dessa forma o seu desenvolvimento. Essas características identificam os estrategistas R, ou seja, aqueles organismos apresentam rápidas taxas de reprodução em ambientes turbulentos (1 a 3 dias) (Harris, 1986). De acordo com os trabalhos de Reynolds (1988, 1997) (*Apud* Huzsar & Caraco, 1998), as estratégias do fitoplâncton são divididas pela morfologia-funcional. Assim, por este critério as espécies *Anabaena circinalis* e *Anabaena spiroides* integrariam o grupo S-estrategista, o qual é significa tolerante ao stress. Integram

este grupo colônias grandes formadas por pequenas células (ex. *Microcystis*) e filamentos com estruturas secundárias, como é o caso de *Anabaena* spp. Esses organismos possuem um crescimento lento, e baixa relação superfície/volume. Podem dominar o ambiente em condições de alta luminosidade e baixa concentração de nutrientes (Huzsar & Caraco, 1998).

As informações do estudo da comunidade fitoplanctônica da Lagoa Itapeva podem inferir um comportamento condizente com a Hipótese de Distúrbio Intermediário de Connell (1978). Os distúrbios intensos (provocados pelos fortes ventos e *fetch* longo nos pontos de amostragem) ou a falta deste (criando um ambiente estável) resultaram em florações da cianobactéria *Anabaena circinalis*. Essas florações promoveram uma densa biomassa em todo o período da pesquisa, causando uma baixa diversidade de espécies devido ao domínio desta cianobactéria, e provocando sucessões das frações de tamanho, entre microplâncton e netplâncton, na comunidade fitoplanctônica.

A ação do vento na Lagoa Itapeva pode agir de forma ser indireta no aumento da biomassa fitoplanctônica. A turbulência no sistema pode promover remoção de nutrientes da coluna d'água e até mesmo da camada superficial do sedimento. A coluna d'água pode em muitos lagos interagir prontamente com a camada superficial do sedimento, especialmente em lagos rasos. Não é claro que mudanças na biomassa fitoplanctônica sejam associadas com pulsos de libertação de nutrientes do sedimento para as camadas superiores da água, durante eventos de ressuspensão, ou direta inoculação de alga do fundo do lago, ou ainda em ambos fatores (Carrick et al., 1993). A ressuspensão de nutrientes promovida pelo vento aumenta a eficiência do fluxo de energia na cadeia alimentar, disponibilizando a matéria orgânica particulada acessível somente para os níveis tróficos baixos, como bactérias e decompositores, para os níveis tróficos mais altos, como filtradores (Demers et al., 1987, Millet & Cecchi, 1992; Jeppesen et al., 1999).

Ressalta-se a necessidade de uma atenção maior para estas florações de *Anabaena circinalis* que ocorrem na Lagoa Itapeva, especialmente quanto à toxicidade que eventualmente esta espécie pode produzir. A portaria do Ministério da Saúde nº 1469 ( de 29 de dezembro de 2000) prevê as análises quali-quantitativas de cianobactérias, além de cianotoxinas (toxinas produzidas por cianobactérias) como microcistinas, em amostras de água para o consumo humano. Esta portaria reflete a importância dos estudos de comunidades fitoplanctônicas, em particular a quantificação dos seus padrões espaciais e temporais, bem como a modelação das relações existentes destes padrões com hidrodinâmica do sistema.

## **Referências Bibliográficas**

- CARDOSO, L.S., 2001, *Variações da estrutura planctônica da Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica*. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.
- CARRICK, H.J., ALDRIDGE, F.J. & SCHELSKE, C.L., 1993, Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnol. Oceanogr.*, 38 (6): 1179-1192.
- CONNELL, J.H., 1978, Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199 (24): 1302-1310.
- DEMERS, S., THERRIAULT, J-C., BOURGET, E. & BAH, A., 1987, Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: wind influence. *Limnol.Oceanogr.*, 32 (2): 327-339.
- GOSSELAIN, V., HAMILTON, P.B. & DESCY, J., 2000, Estimating phytoplankton carbon from microscopic counts: an application for riverine systems. *Hydrobiologia*, 438: 75-90.
- HARRIS, G.P., 1986, *Phytoplankton Ecology – Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London, 384p.
- HILLEBRAND, H., DÜRSELEN, C-D., KIRSCHTEL, D., POLLINGHER, U. & ZOHARY, T., 1999, Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.*, 35: 403-424.
- HUSZAR, V.L.M. & CARACO, N.F., 1998, The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional descriptors in six temperate lakes. *Freshwater Biology*, 40: 679-696.
- JEPPESEN, E., JENSEN, J.P., SØNDERGAARD, M. & LAURIDSEN, T. 1999. Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia*, 408/409: 217-231.
- KLEEREKOPER, H. 1990, *Introdução ao estudo da limnologia*. 2.ed. Ed. da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 329p.
- LEGENDRE, L. & DEMERS, S., 1984, Towards dynamic biological oceanography and limnology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 2-19.
- MILLET, B. & CECCHI, P., 1992, Wind-induced hydrodynamic control of the phytoplankton biomass in a lagoon ecosystem. *Limnol.Oceanogr.*, 37 (1):140-146.
- REYNOLDS, C.S., 1994, The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia*, 289: 9-21.
- SHARMA, R.V., EDWARDS, R.T. & BECKETT, R., 1998, Analysis of bacteria in aquatic environments using sedimentation field-flow fractionation: (I) biomass determination. *Wat. Res.* 32 (5): 1497-1507.

## ANEXOS

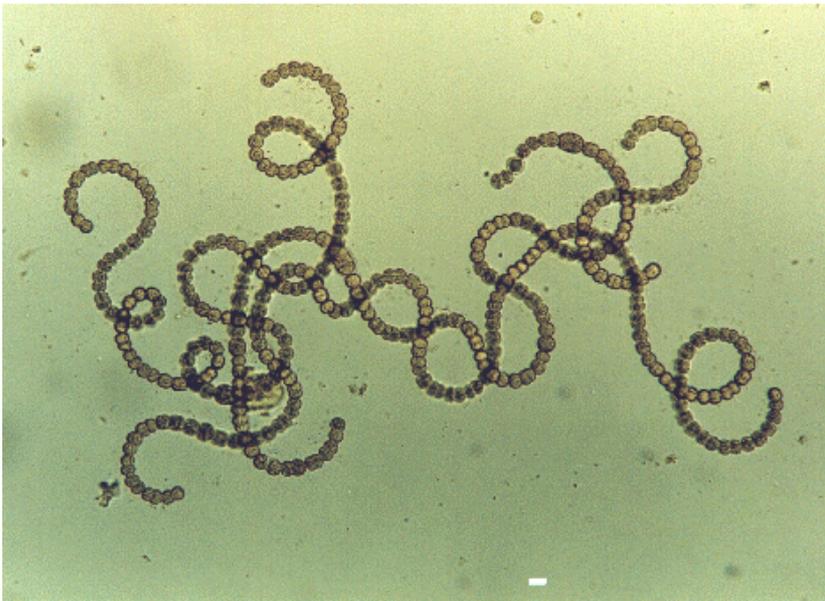
Anexo 1- Foto do ponto Norte da Lagoa Itapeva, RS.



Anexo 2- Torre de amostragem utilizada no estudo que contém linígrafo, régua linimétrica e estação meteorológica.



Anexo 3- *Anabaena circinalis* Rabenhorst ex Bonet & Flahault. Escala: 10  $\mu$ m.



Anexo 4- Análise descritiva das densidade de células/mL de *Anabaena circinalis*, nos pontos de amostragem, nas campanhas sazonais na Lagoa Itapeva.

|               | <b>Primavera (Dez/98)</b> |               |               |                | <b>Verão (Mar/99)</b>   |               |              |               |
|---------------|---------------------------|---------------|---------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------|---------------|
|               | Dez/99                    | Norte         | Centro        | Sul            | Mar/99                  | Norte         | Centro       | Sul           |
| n             | 22                        | 8             | 6             | 8              | 24                      | 8             | 8            | 8             |
| média         | <b>2.679</b>              | <b>6.727</b>  | <b>18</b>     | <b>627</b>     | <b>15.271</b>           | <b>28.884</b> | <b>4.115</b> | <b>12.813</b> |
| soma          | 58.941                    | 53.815        | 109           | 5.017          | 366.496                 | 231.072       | 32.923       | 102.501       |
| mínimo        | 0                         | 0             | 0             | 0              | 1.617                   | 3.203         | 1.617        | 1.834         |
| máximo        | 22.927                    | 22.927        | 109           | 2.477          | 80.072                  | 80.072        | 7.280        | 49.315        |
| variância     | 3,3E+07                   | 6,9E+09       | 2,0E+03       | 7,8E+05        | 3,8E+0,8                | 6,38+08       | 4,1E+06      | 2,5E+08       |
| desvio padrão | 5766,67                   | 8329,03       | 44,62         | 885,32         | 19498,7626              | 25264,79      | 2015,28      | 15682,56      |
|               | <b>Outono (Mai/99)</b>    |               |               |                | <b>Inverno (Ago/99)</b> |               |              |               |
|               | Mai/99                    | Norte         | Centro        | Sul            | Ago/99                  | Norte         | Centro       | Sul           |
| n             | 24                        | 8             | 8             | 8              | 24                      | 8             | 8            | 8             |
| média         | <b>82.083</b>             | <b>54.480</b> | <b>70.339</b> | <b>121.430</b> | <b>17.748</b>           | <b>43.837</b> | <b>4.185</b> | <b>5.221</b>  |
| soma          | 1.970.000                 | 435.844       | 562.716       | 971.440        | 425.942                 | 350.695       | 33.480       | 41.767        |
| mínimo        | 7.260                     | 12.815        | 7.260         | 46.016         | 0                       | 2.851         | 0            | 186           |
| máximo        | 189.091                   | 109.725       | 155.686       | 189.091        | 91.548                  | 91.548        | 18.952       | 26.403        |
| variância     | 2,8E+09                   | 1,0E+09       | 2,9E+09       | 2,6E+09        | 8,2E +08                | 1,4E+09       | 4,7E+07      | 8,0E+07       |
| desvio padrão | 53091,96                  | 31855,18      | 53559         | 50800          | 28645,41                | 37442,82      | 6868,03      | 8918,99       |