

Estrutura do fitoplâncton, em curto período de tempo, em um braço do reservatório de Rosana (ribeirão do Corvo, Paraná, Brasil)

Paula Aparecida Federiche Borges*, Sueli Train e Luzia Cleide Rodrigues

¹Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Núcleo de Pesquisa em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura, Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: pafborges@gmail.com

RESUMO. Com o objetivo de analisar as mudanças de curta duração da comunidade fitoplanctônica, em um braço do reservatório de Rosana, formado pelo ribeirão do Corvo, foram coletadas amostras de fitoplâncton total em tréplicas à subsuperfície da região pelágica. O fitoplâncton esteve representado por 86 táxons; Chlorophyceae foi o grupo mais rico em espécies. Cryptophyceae; Cyanobacteria e Chrysophyceae foram os grupos mais expressivos em densidade, cujos valores foram maiores nos dez primeiros dias amostrados. Na maior parte do período, registraram-se florações de *Radiocystis fernandoi* (GF M). Os valores de riqueza, diversidade de espécies e equitabilidade fitoplanctônica foram baixos, e, em geral, não apresentaram diferenças significativas entre os dias estudados. Os baixos valores de diversidade específica verificados foram influenciados pela baixa riqueza e dominância de espécies, com os valores mínimos de diversidade associados aos valores máximos de biomassa de *Radiocystis fernandoi*. Os baixos valores de riqueza de espécies, diversidade específica e equitabilidade, associados à dominância em biomassa de uma única espécie, indicaram alta complexidade na organização do fitoplâncton, baixas flutuações em sua estrutura, bem como a ocorrência de um “estado estável” durante o período de estudo.

Palavras-chave: fitoplâncton, variabilidade temporal, riqueza, diversidade, equitabilidade, *Radiocystis fernandoi*.

ABSTRACT. Short-term changes in phytoplankton structure in an arm of the Rosana reservoir, Paraná-São Paulo States, Brazil. With the purpose to evaluate short term changes in structure of phytoplankton community in a lateral arm of the Rosana Reservoir, formed by Corvo river, triplicate samples of total phytoplankton were taken at subsurface at the pelagic region. 86 taxa were recorded and Chlorophyceae was the most specious group. Cryptophyceae, Cyanobacteria and Chrysophyceae had higher densities, whose values were greater during the first 10 sampling days. Blooms of *Radiocystis fernandoi* (M FG) were observed during almost whole study period. Values of species richness, diversity and evenness of phytoplankton were relatively low, and in general, they did not present significant differences among studied days. Low values of specific diversity were influenced by low species richness and dominance, with minimum values of diversity associated to maximum values of *Radiocystis fernandoi* biomass. Low values of species richness, diversity and evenness associated to the dominance in biomass of a single species indicated high complexity of phytoplankton organization, low fluctuations in its structure, as well as the occurrence of a stable state during the study period.

Key words: phytoplankton, temporal variability, species richness, diversity, evenness, *Radiocystis fernandoi*.

Introdução

No Brasil, existem vários reservatórios que apresentam padrão morfométrico do tipo dendrítico, como o reservatório de Rosana, localizado no rio Paranapanema. Os braços formados por tributários destes sistemas transformam-se, em muitos casos, em longos compartimentos com distintos mecanismos hidrodinâmicos e funcionamento ecológico, caracterizando subsistemas menores, com características próprias, como maior tempo de

residência da água do que o corpo dos reservatórios (Tundisi *et al.*, 1993; Nogueira, 2000).

Os ambientes aquáticos apresentam variabilidade tanto espacial quanto temporal, que define alto grau de incerteza em relação às populações fitoplanctônicas (Dos Santos e Calijuri, 1998), as quais respondem rapidamente a esta variabilidade, por apresentar curto tempo de geração (Reynolds, 1997). Neste sentido, estudos de curta duração possibilitam maior número de informações sobre a comunidade fitoplanctônica, pois permitem verificar

mudanças na diversidade, biomassa e composição taxonômica, ocasionadas por alterações na estabilidade da coluna de água (Harris, 1986; Dos Santos e Calijuri, 1998; Calijuri *et al.*, 2002), bem como por rápidas variações na disponibilidade de nutrientes.

Em regiões tropicais, a entrada diurna de calor e a pronunciada variabilidade local na velocidade do vento, durante o dia, são fatores determinantes nas mudanças diárias no processo de estratificação térmica da coluna de água, sendo este fenômeno importante na seleção das espécies fitoplanctônicas (Reynolds, 1999). Estudos de curta duração, realizados em escala nictemeral, tem observado alterações na distribuição vertical do fitoplâncton ao longo do dia, influenciadas, principalmente, pelas alterações no regime de mistura da coluna de água (Melo e Huszar, 2000; Pivato *et al.*, 2006).

Em reservatórios brasileiros, poucos estudos tem enfocado as alterações na estrutura do fitoplâncton em curtas escalas de tempo, como as variações diárias, sendo a maioria destes trabalhos realizados em reservatórios do Estado de São Paulo (Dos Santos e Calijuri, 1998; Calijuri *et al.*, 2002). O presente trabalho tem por objetivo analisar as variações temporais na estrutura da comunidade fitoplanctônica em escala diária, em um braço do reservatório da UHE Rosana, no final da estação da primavera.

Material e métodos

O rio Paranapanema é formado a partir de várias nascentes, na Serra do Paranapiacaba, dentro de mata cerrada. Este rio constitui a divisa natural entre os Estados do Paraná e de São Paulo e apresenta 930 km de curso até sua foz, no rio Paraná. (Duke-Energy, 2005). O clima é do tipo subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente, com média anual de 22°C e precipitação anual média de 1.300 mm (Maack, 1981). O reservatório de Rosana (22°36'S; 52°49'W) localiza-se entre os municípios de Rosana, Estado de São Paulo, e Diamante do Norte, Estado do Paraná (Figura 1). A área do reservatório compreende 220 km², com área inundada de 27.600 ha e tempo teórico de residência da água de 18,6 dias (CESP, 1998). O reservatório de Rosana é o último de uma cadeia de reservatórios do rio Paranapanema, pode ser considerado como fio d'água e foi classificado como oligotrófico, por Nogueira *et al.* (2002) e Pagioro *et al.* (2005).

O braço do reservatório de Rosana, formado pelo ribeirão do Corvo, objeto deste estudo, está localizado no Estado do Paraná, no município de Diamante do Norte (Bacia do Paranapanema IV) e

deságua na zona lacustre deste reservatório. Apresenta as margens com gramíneas e estágios iniciais de reflorestamento, possui bancos de macrófitas aquáticas, com predomínio de *Egeria densa* Planch., e sofre grande influência do vento, assim como todo o reservatório de Rosana. A profundidade máxima (Z_{max}), na estação de amostragem, foi de, aproximadamente, 6 m durante o período de estudo.

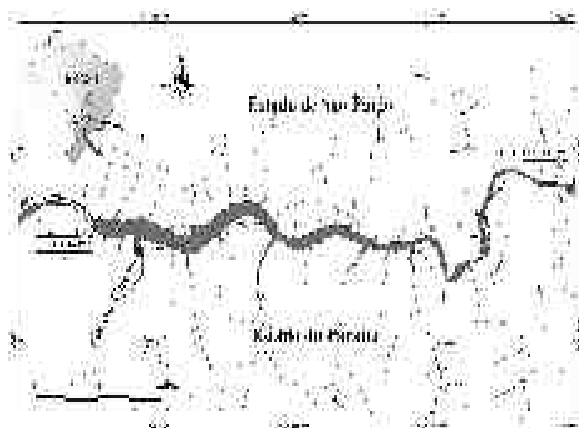


Figura 1. Mapa com a localização da estação de coleta no ribeirão do Corvo, braço do reservatório de Rosana.

As coletas foram realizadas, diariamente, sempre no início da manhã, durante 16 dias (22/11 a 07/12/2003), e após este período, a cada três dias (07/12 a 16/12/2003) até o 25º dia de coleta. As amostras de fitoplâncton total foram coletadas em trélicas à subsuperfície da região pelágica do ribeirão do Corvo, diretamente com frascos de vidro, sendo fixadas com lugol acético, a 1%. As variáveis abióticas e atributos fitoplanctônicos analisados e suas respectivas metodologias estão listadas na Tabela 1. A razão zona eufótica e zona de mistura ($Z_{eu}:Z_m$) foi utilizada como índice de disponibilidade luminosa na zona de mistura (Jensen *et al.*, 1994). Os táxons, com contribuição acima de 10% para o biovolume fitoplanctônico, foram enquadrados em grupos funcionais (GF), de acordo com Reynolds *et al.* (2002).

Para testar a existência de diferenças significativas entre as médias dos valores dos atributos fitoplanctônicos analisados durante os dias de coleta, foi efetuada a Análise de Variância Unifatorial (Anova One Way). O cálculo do índice de diversidade foi realizado com o programa Pc-Ord (McCune e Mefford, 1999). A Análise de Variância Unifatorial e as correlações de Pearson foram feitas utilizando o programa Statistica versão 7.1 (StatSoft, Inc., 2005).

Tabela 1. Variáveis abióticas e atributos fitoplanctônicos determinados e respectivas metodologias.

Variáveis	Método	Autor
Temperatura da água (T _{ag}) (°C)	Termistor acoplado a oxímetro	
Oxigênio dissolvido (O ₂) (mg L ⁻¹)	Oxímetro YSI	
Zona eufótica (Z _{eu})	Radiômetro	
Alcalinidade (Alc) (mEq L ⁻¹)	Titulometria	Mackereth <i>et al.</i> (1978)
Condutividade elétrica (Con) (μS cm ⁻¹)	potenciômetros digitais portáteis	
pH	potenciômetros digitais portáteis	
Turbidez (Turb) (NTU)	Turbidímetro	
Velocidade do vento (Ven) (m s ⁻¹)	Anemômetro portátil	
Fósforo total (PT) (μg L ⁻¹)	Espectrofotômetro	Golterman <i>et al.</i> (1978)
Fósforo solúvel reativo (PSR) (μg L ⁻¹)	Espectrofotômetro	Golterman <i>et al.</i> (1978)
Nitrogênio total Kjeldahl (NT) (μg L ⁻¹)	Espectrofotômetro	Mackereth <i>et al.</i> (1978)
Nitrato (NO ₃) (μg L ⁻¹)	Espectrofotômetro	Giné <i>et al.</i> (1980)
Amônio (NH ₄) (μg L ⁻¹)	Espectrofotômetro	Mackereth <i>et al.</i> (1978)
Riqueza de espécies	Número de táxons por amostra quantitativa	
Densidade fitoplanctônica (ind mL ⁻¹)	Contagem em campos aleatórios (média de 100 campos por amostra), em microscópio invertido.	Utermöhl (1958) e APHA (1995)
Biomassa fitoplanctônica (mm ³ L ⁻¹)	Biovolume fitoplanctônico (mm ³ L ⁻¹) obtido por meio da multiplicação da densidade populacional pelo volume dos indivíduos.	Wetzel e Likens (2000)
Volume celular (μm ³)	Fórmulas estereométricas adequadas à forma das células algais	Edler (1979); Wetzel e Likens (2000)
Índice de diversidade e equitabilidade		Shannon e Weaver (1963)
Precipitação pluviométrica	Pluviômetro	Agência Nacional de Águas

Resultados

A precipitação pluviométrica foi baixa durante o período de estudo, com média de 3,84 L m⁻³ e valor máximo de 55,37 L m⁻³. A coluna da água apresentou mistura total ($Z_m = Z_{max}$) em todo o período analisado, provavelmente pela baixa profundidade do ambiente e à ação do vento, além da influência lítica do ribeirão do Corvo. A profundidade da zona eufótica apresentou variação dos valores médios entre 1,54 (19º dia) e 6,5 m (1º dia), sendo que a disponibilidade de luz, na zona de mistura, foi maior durante os primeiros dias de estudo.

As concentrações de oxigênio dissolvido, a temperatura da água e o pH apresentaram pouca variação durante o período de estudo, evidenciada

pelos baixos coeficientes de variação dessas variáveis ambientais. A condutividade elétrica e a alcalinidade apresentaram variabilidade média durante o período de estudo. O mesmo foi observado para as concentrações de nitrogênio total, para a qual se registrou os maiores valores nos dez primeiros dias de estudo (Tabela 2).

As demais variáveis abióticas analisadas apresentaram alta variabilidade (CV > 30) durante o período estudado (Tabela 2). Em geral, os valores de turbidez, fósforo total, fósforo solúvel e N-amoniaco foram maiores nos últimos dias de amostragem, ao contrário do registrado para os valores de nitrato que diminuíram nos últimos 15 dias analisados.

Tabela 2. Valores médios das variáveis abióticas registradas no ribeirão do Corvo no período de estudo. Razão nitrogênio e fósforo (N:P), coeficiente de variação (CV, %), demais códigos listados na Tabela 1. Dados ausentes para os dias 9, 11, 13 e 15.

Dias	Ven	Con	O ₂	T _{ag}	Turb	pH	Alc	PT	PSR	NT	NO ₃	NH ₄	N:P	Z _{eu}
1	2,76	36,10	7,04	25,97	3,91	6,93	247,23	5,70	2,30	322,13	185,33	18,07	56,72	6,50
2	2,92	35,00	6,88	26,47	3,97	6,88	237,67	9,71	2,53	340,53	173,38	26,24	35,26	6,30
3	3,08	40,00	7,64	28,20	2,79	6,97	320,57	9,77	3,29	409,00	215,05	20,93	41,87	5,76
4	4,67	52,33	6,64	28,80	2,19	7,05	309,40	25,59	12,29	399,40	188,23	28,09	15,70	6,4
5	2,85	44,83	6,40	27,50	2,49	6,96	306,07	13,10	4,30	392,57	206,28	31,71	30,98	3,88
6	1,01	43,93	6,56	26,83	3,05	6,73	289,43	11,10	4,18	346,77	176,56	65,06	31,38	3,44
7	3,50	43,33	6,47	26,23	6,72	6,89	260,00	16,80	8,15	413,77	224,94	46,89	24,87	5,47
8	4,65	42,60	6,90	27,30	3,53	6,97	244,73	11,14	0,83	324,90	144,71	31,00	29,44	6,30
10	1,01	37,60	6,65	26,50	6,59	6,49	224,87	17,75	6,85	299,77	118,99	29,17	16,96	4,90
12	3,40	34,83	5,98	26,97	11,86	6,27	191,70	22,41	3,66	236,50	114,41	35,83	10,56	3,12
14	9,68	39,23	6,83	27,90	5,34	6,66	235,60	17,30	2,96	330,03	131,53	74,02	19,34	3,00
16	9,20	36,77	6,42	26,90	7,62	6,43	221,73	21,58	4,52	300,57	133,98	73,87	13,92	3,22
19	6,02	44,67	5,94	26,07	29,80	6,66	238,07	26,27	3,78	339,53	97,61	43,96	12,96	1,54
22	7,16	39,13	6,14	108,40	16,47	6,74	265,53	22,03	10,38	315,77	159,50	58,86	14,37	1,93
25	7,90	51,33	6,02	29,57	9,00	6,83	312,00	17,55	2,79	352,60	144,42	57,27	20,16	3,24
CV	57,87	13,19	7,12	3,7	92,83	3,36	14,84	38,14	65,51	15,52	23,88	49,42	51,62	45,8

A comunidade fitoplantônica esteve constituída por 86 táxons. Os grupos Chlorophyceae (27,1%), Cyanobacteria (24,7%) e Bacillariophyceae (17,6%) apresentaram o maior número de espécies (Tabela 3). Quanto à riqueza de espécies, foram registrados baixos valores (Figura 2). O maior valor médio (24 táxons) foi registrado no 4º dia de coleta e o menor, no 11º dia (10 táxons). A análise de variância indicou diferenças significativas entre o 11º e o 5º e 6º dias, e entre o 4º dia de amostragem e os demais ($F = 4,8$; $p < 0,05$).

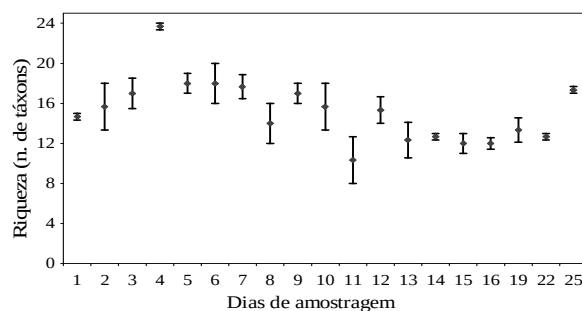


Figura 2. Variação temporal da riqueza de espécies fitoplantônicas no ribeirão do Corvo, no período estudado. Valores médios (ponto) e erro-padrão (barra).

Tabela 3. Táxons fitoplantônicos registrados no ribeirão do Corvo durante o período de estudo.

CYANOBACTERIA	
<i>Anabaena circinalis</i> Rab.	<i>Komvophoron</i> sp.
<i>Anabaena solitaria</i> Kom.	<i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz.
<i>Anabaena spiroides</i> Kleb.	<i>Microcystis wiesenbergii</i> (Kom.) Kom.
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. & West	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gom.) Anag. & Kom.
<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemm.) Cronb. & Kom.	<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Hüb.-Pest. & Naum.) Bour.
<i>Aphanocapsa kordersii</i> Ström.	<i>Radiocystis fernandoi</i> Kom. & Komark.-Legn.
<i>Aphanothece</i> sp.	<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauv.
<i>Chroococcus</i> sp.	<i>Synechococcus nidulans</i> (Pring.) Kom.
<i>Coelomonum tropicale</i> Senna et al.	Chroococcaceae não identificada
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (W.) Seen. & Sub. Raju	Phormidiaceae não identificada
<i>Geitlerinema</i> sp.	Pseudanabaenaceae não identificada
BACILLARIOPHYCEAE	
<i>Achnanthes minutissimum</i> (Kütz.) Czarn.	<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Sim.	<i>Navicula</i> sp.
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grun.) Houk & Klee	<i>Navicula</i> sp.1
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Nitzschia gracilis</i> Hantz. ex Rabenh.
<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) Compere
<i>Gomphonema gracile</i> Ehr.	<i>Urosolenia longiseta</i> (Zach.) Round & Craw.
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kütz.) Kütz.	
CHLOROPHYCEAE	
<i>Ankya judayii</i> (Sm.) Fott	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nyg.
<i>Closteriopsis</i> sp.	<i>Monoraphidium. minutum</i> (Näg.) Kom.-Legn.
<i>Coenochloris</i> sp.	<i>Oocystis tainoensis</i> Kom.
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirch.) W. & West	<i>Pandorina morum</i> (Mül.) Bory
<i>Desmodesmus</i> sp.	<i>Pediastrum tetras</i> (Ehr.) Ralfs
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	<i>Raphidocelis contorta</i> (Schm.) Marv. et al.
<i>Dimorphococcus lunatus</i> Br.	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod.
<i>Eudorina elegans</i> Ehr.	<i>Scenedesmus eornis</i> (Ehr. ex Ralfs) Chod.
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hind.) Kom. Sensu Kom.	<i>Schroederia setigera</i> (Schröd.) Lemm.
<i>Eutetramorus</i> sp.	<i>Tetrastrum komarekii</i> Hind.
<i>Golenkinia radiata</i> Chod.	<i>Volvox aureus</i> Ehr.
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	
CHRYSTOPHYCEAE	
<i>Dinobryon divergens</i> Imh.	<i>Mallomonas</i> sp.1
<i>Mallomonas</i> sp.	<i>Mallomonas</i> sp.2
EUGLENOPHYCEAE	
<i>Euglena</i> sp.	<i>Trachelomonas pseudobulla</i> Swir.
<i>Lepocinclis ovum</i> (Ehr.) Lemm.	<i>Trachelomonas sculpta</i> Bal.
<i>Phacus</i> cf. <i>orbicularis</i> Hübn.	<i>Trachelomonas similis</i> var. <i>similis</i> Stokes
<i>Strombomonas scabra</i> var. <i>scabra</i> (Playf.) Tell & Conf.	<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Swir.
<i>Trachelomonas abrupta</i> Swir. emend. Defl.	<i>Trachelomonas woyickii</i> Koczw.
<i>Trachelomonas curta</i> Cunha emend. Defl.	<i>Trachelomonas</i> sp.
<i>Trachelomonas minuscula</i> Drez.	
CRYPTOPHYCEAE	
<i>Cryptomonas curvata</i> Ehr. Emend. Pen.	<i>Cryptomonas</i> sp.
<i>Cryptomonas marssonii</i> Skuja	<i>Cryptomonas</i> sp.1
ZYGNEMAPHYCEAE	
<i>Closterium setaceum</i> Ehr. ex Ralfs	<i>Staurastrum</i> sp.
<i>Cosmarium</i> sp.	
DINOPHYCEAE	
<i>Peridinium</i> sp.	<i>Peridinium</i> sp.1

Os maiores valores médios de densidade foram registrados nos dez primeiros dias de estudo, e, em geral, foram superiores a 500 ind mL⁻¹ (Figura 3a). O maior valor médio foi verificado no 3º dia de coleta (752 ind mL⁻¹), enquanto que o menor (291 ind mL⁻¹), no 10º dia. A análise de variância realizada mostrou diferenças significativas ($F = 4,48$; $p < 0,05$), especialmente entre os primeiros e os últimos dias amostrados. O 10º dia foi diferente do 2º, 3º, 5º, 8º e 9º, enquanto que o 2º e o 3º dia foram diferentes do 14º e 19º. Cryptophyceae, Cyanobacteria e Chrysophyceae foram, em ordem decrescente, os principais grupos em densidade. Os demais grupos apresentaram, em conjunto, valores médios de densidade inferiores a 50 ind mL⁻¹ em todo o período, exceto no último dia de coleta (90 ind mL⁻¹).

Os valores médios de biovolume fitoplanctônico variaram de 0,3 mm³ L⁻¹, no 1º dia, a 16,9 mm³ L⁻¹, no 11º dia de estudo (Figura 3b). A análise de variância apresentou diferença significativa apenas entre o 11º dia de amostragem e os demais ($F = 4,61$; $p < 0,05$). Cyanobacteria foi o grupo responsável pelos maiores valores de biovolume. A contribuição dos demais grupos aos valores de biomassa foi inferior a 0,30 mm³ L⁻¹, considerando todo o período estudado.

A Classe Cryptophyceae esteve representada principalmente por *Cryptomonas marssonii*. Os valores de densidade desta espécie estiveram positivamente relacionados aos valores de NT ($r = 0,66$) e NO₃ (0,58). As picocianobactérias *Synechococcus nidulans* e *Synechocystis aquatilis* e a cianobactéria colonial *Radiocystis fernandoi* foram as mais representativas em densidade e biovolume, respectivamente. *Radiocystis fernandoi* contribuiu com mais de 70% para a biomassa total durante todo o período de estudo (Figuras 4a e b) e esteve correlacionada com o PT ($r = 0,79$), PSR ($r = 0,71$), razão N:P ($r = -0,78$) e a velocidade do vento ($r = 0,70$). Os valores de densidade de *Synechococcus nidulans* estiveram correlacionados positivamente com a razão N:P ($r = 0,68$) e negativamente com o PT ($r = -0,62$) e PSR ($r = -0,60$).

Baixos valores também foram registrados para o índice de diversidade de Shannon-Wiener e a equitabilidade, calculados a partir do biovolume fitoplanctônico (Figura 5), os quais não foram significativamente diferentes, segundo as análises de variância realizadas. A diversidade foi inferior a 1,2

bits mm⁻³ e a equitabilidade apresentou valores inferiores a 50%, com alguns destes próximos a zero (3,5%, no 11º dia de coleta).

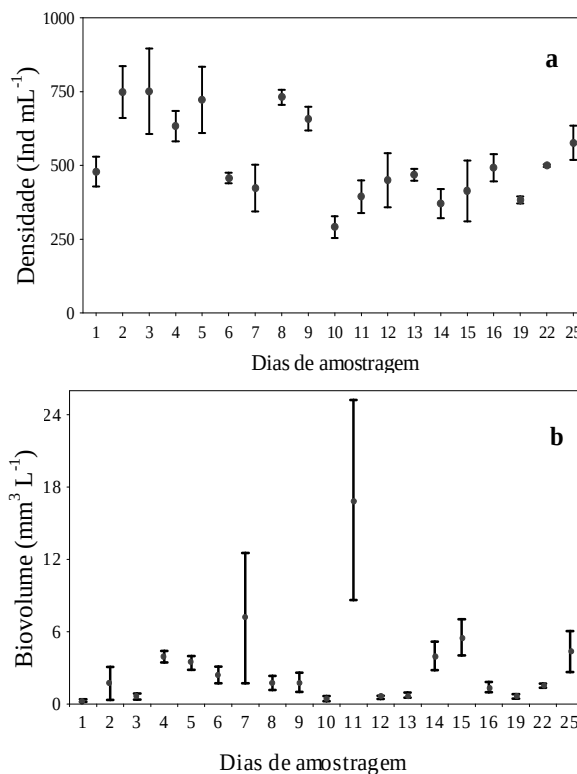


Figura 3. Variação temporal da densidade (a) e biovolume (b) fitoplanctônico no ribeirão do Corvo durante o período de estudo. Valores médios (ponto) e erro-padrão (barra).

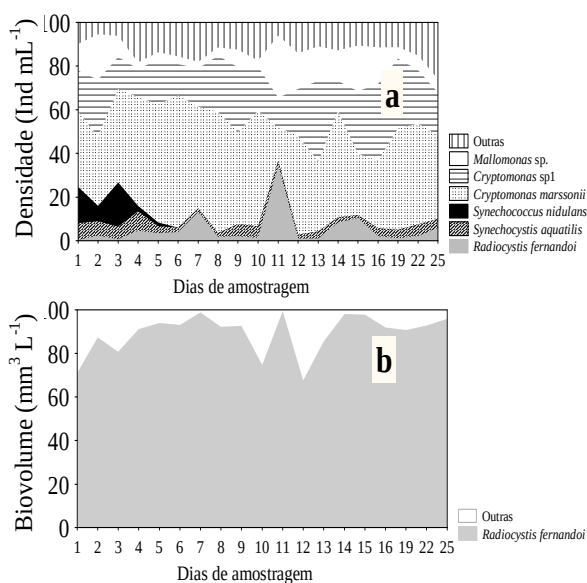


Figura 4. Média relativa (%) da densidade (a) e biovolume (b) das principais espécies fitoplanctônicas no ribeirão do Corvo durante o período de estudo.

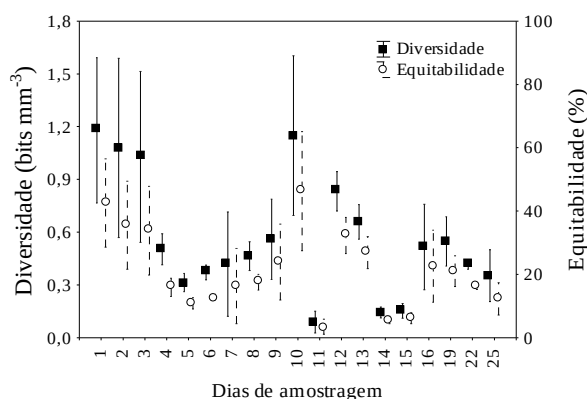


Figura 5. Variação temporal da diversidade fitoplânctônica e equitabilidade no ribeirão do Corvo, no período estudado. Valores médios (ponto) e erro-padrão (barra).

Discussão

A variabilidade temporal da estrutura da comunidade fitoplânctônica apresenta fundamental importância para o metabolismo dos sistemas aquáticos (Calijuri *et al.*, 2002). Embora tenham sido verificadas flutuações diárias para algumas variáveis abióticas, especialmente os nutrientes, estas não promoveram modificações significativas na estrutura fitoplânctônica, como evidenciado pela análise de variância, permanecendo em todo o período de estudo altos valores de densidade e biomassa, com dominância de cianobactérias e baixos valores de riqueza, diversidade e equitabilidade.

Os resultados obtidos podem ser atribuídos à persistência das condições físicas e químicas da água verificadas no braço formado pelo ribeirão do Corvo, como a manutenção de altas concentrações de nitrogênio e fósforo e mistura total da coluna de água durante todo o período analisado. Em outros estudos em escala diária, também foram observadas inexpressivas alterações na estrutura da comunidade fitoplânctônica, em períodos de ausência de mudanças na estrutura física da coluna de água (Calijuri e Dos Santos, 1996; Calijuri *et al.*, 2002).

O número total de táxons, registrado neste estudo, é similar aos verificados em outros reservatórios brasileiros, localizados nas regiões central e sul do país (Nogueira, 2000; Calijuri *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2005). Porém, considerando o menor esforço amostral realizado, o braço formado pelo ribeirão do Corvo, provavelmente, apresenta maior complexidade da comunidade fitoplânctônica.

As condições hidrodinâmicas verificadas, neste braço do reservatório, bem como a disponibilidade de luz e nutrientes favoreceram o desenvolvimento de espécies adaptadas a tais condições, especialmente de criptofíceas, responsáveis pelos maiores valores de densidade, as quais segundo Reynolds *et al.* (2002),

são capazes de se desenvolver em inúmeros tipos de habitat em função da alta razão superfície pelo volume (S/V) e rápida taxa de crescimento. Durante períodos de mistura da coluna de água, ou após elevada turbulência, as criptofíceas são favorecidas para o estabelecimento máximo de suas populações, pois a turbulência propicia a redistribuição de nutrientes na coluna de água, bem como reduz a pressão por predação (Klaveness, 1988).

Altos valores de densidade de Cryptophyceae associados às condições de mistura também foram registrados em outros reservatórios tropicais (Dos Santos e Calijuri, 1998; Rodrigues *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2005; Train *et al.*, 2005; Pivato *et al.*, 2006), bem como em ambientes de planícies de inundação (Train *et al.*, 2004).

Os altos valores de densidade de *Cryptomonas* spp., registrados concomitantemente a *Synechocystis aquatilis* e *Synechococcus nidulans*, nos primeiros dias de amostragem, podem ser atribuídos à alta taxa reprodutiva que estes táxons apresentam o que lhes confere vantagem competitiva em ambientes não-estratificados. *Synechocystis aquatilis* tem sido registrada como abundante em condições de mistura total da coluna de água e alta disponibilidade de luz (Reynolds *et al.*, 2002). *Synechococcus nidulans*, espécie cosmopolita, foi favorecida, provavelmente, pelas maiores razões de N:P, maior disponibilidade de nitrato, valores de pH próximos à neutralidade e menores valores de fósforo, registrados nos primeiros dias de amostragem. Esta espécie tem sido frequentemente encontrada em lagos rasos e tanques, em condições de pH neutro e altas concentrações de nitrogênio (Stockner *et al.*, 2000), sendo típica de ambientes com alta disponibilidade de luz (Stockner e Shortreed, 1988; Reynolds *et al.*, 2002).

A diminuição da densidade das espécies picoplânctônicas, a partir do 11º dia de estudo, pode estar relacionada ao aumento da turbidez e consequente diminuição da disponibilidade de luz na zona de mistura, bem como ao aumento da abundância da comunidade zooplânctônica, especialmente de cladóceros, a partir do 10º dia de estudo (Takahashi, comunicação pessoal), e consequente aumento da biomassa da cianobactéria *Radiocystis fernandoi*. Outros autores também associaram o aumento da biomassa e a dominância de cianobactérias ao resultado da predação seletiva do zooplâncton (Grigorszky *et al.*, 1998).

A mistura total da coluna de água, verificada no ribeirão do Corvo, durante todo o período, deveu-se provavelmente às condições líticas, como também à ação dos ventos, que propicia a ressuspensão dos

nutrientes do sedimento, condições que, certamente, favoreceram o desenvolvimento de cianobactérias, em especial *Radiocystis fernandoi*, fato também observado por Becker e Motta Marques (2004) para cianobactérias, de um lago do Estado do Rio Grande do Sul. Além disso, o aporte de efluentes diversos, entre os quais os de uma fecularia, situada às margens desse braço do reservatório, certamente incrementaram a concentração de nutrientes na coluna de água e favoreceram o desenvolvimento de *Radiocystis fernandoi*, manifestados pelos valores excessivamente elevados de biomassa fitoplanctônica neste braço formado pelo ribeirão do Corvo.

O sucesso de *Radiocystis fernandoi*, nas condições ambientais registradas, sugere seu enquadramento no grupo funcional M, que, segundo Reynolds *et al.* (2002), caracteriza os gêneros *Microcystis* e *Sphaerocavum*, favorecidos em ambientes eutróficos, de baixas latitudes e que apresentam mistura total da coluna de água. Os elevados valores de biomassa de cianobactérias, potencialmente tóxicas, comprometem a qualidade da água e podem prejudicar o uso múltiplo no braço do reservatório estudado, uma vez que constituem agentes de degradação ambiental e, ainda, representam risco potencial para o meio ambiente e à saúde pública (Carmichael, 1997).

Os baixos valores de diversidade específica verificados foram influenciados pela baixa riqueza e dominância de espécies, com os valores mínimos de diversidade associados às florações de *Radiocystis fernandoi*, especialmente no 4º, 5º, 11º, 14º e 15º dias estudados. Baixos valores de diversidade específica e equitabilidade, em ambientes eutrofizados, associados à dominância de cianobactérias, tem sido verificados em outros estudos de variação diária, realizados em reservatórios tropicais (Calijuri e Dos Santos, 1996; Dos Santos e Calijuri, 1998). Durante o processo sucessional, geralmente, são observados maiores valores de diversidade específica, quando ocorrem mudanças ambientais abruptas, como alteração da estrutura física da coluna de água, que promovem o retorno das comunidades para estágios iniciais do processo sucessional (Reynolds, 1997; Dos Santos e Calijuri, 1998).

Uma comunidade fitoplanctônica pode ser considerada em estado estável, quando não ocorrem marcantes alterações na composição de espécies, por um período mínimo de duas semanas e quando as espécies dominantes representam 50 a 80% da biomassa total (Rojo e Alvarez-Cobelas, 2003; Komárková e Tavera, 2003). No presente estudo, pode-se considerar que a comunidade fitoplanctônica, em função dos baixos valores de

riqueza, diversidade específica, equitabilidade e dominância em biomassa de uma única espécie, apresentou-se em estado estável. Reservatórios tropicais, com elevado tempo de retenção e impactados por ação antrópica (Calijuri e Dos Santos, 1996; Reynolds, 1999; Beyruth, 2000; Calijuri *et al.*, 2002) podem propiciar estado próximo ao equilíbrio, que é caracterizado por baixa diversidade fitoplanctônica e florações de cianobactérias, principalmente nos meses de verão.

Os resultados obtidos ressaltam a importância de estudos em compartimentos laterais, que, na maioria das vezes, apresentam maior desenvolvimento fitoplanctônico quando comparado ao canal principal do reservatório, em especial, em reservatórios caracterizados como fio d'água, como é o caso do reservatório de Rosana, nos quais a escassez de nutrientes, alta vazão e consequente curto tempo de residência da água limitam o desenvolvimento do fitoplâncton (Rodrigues *et al.*, 2005; Train *et al.*, 2005; Nogueira *et al.*, 2002). Resultados similares foram verificados para o ribeirão das Posses, braço do reservatório de Jurumirim (Nogueira, 2000). Ressalta-se, também, a necessidade de estudos de curta duração, por período de tempo mais abrangente, bem como a realização destes em outros períodos do ciclo hidrológico, para melhorar o entendimento da dinâmica temporal do fitoplâncton em escala diária.

Conclusão

Os baixos valores de riqueza de espécies, diversidade específica e equitabilidade, associados à dominância em biomassa de uma única espécie, *Radiocystis fernandoi*, indicaram alta complexidade na organização da comunidade fitoplanctônica, baixas flutuações em sua estrutura, bem como a ocorrência de estabilidade, durante o período de estudo, no ribeirão do Corvo.

De acordo com os padrões fixados para a biomassa de cianobactérias, pela Resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), e considerando-se os valores de biovolume de cianobactérias registrados ($> 10 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$), as águas deste braço do reservatório de Rosana podem ser enquadradas na Classe 4, sendo classificada como hipereutrófica, segundo os critérios de Vollenweider (1968), para o biovolume fitoplanctônico. Deste modo, este braço do reservatório deve ser utilizado somente para navegação e harmonia paisagística, impossibilitando outros usos, caso não sejam efetivadas medidas para sua recuperação.

As florações de cianobactérias registradas

refletem a severidade dos impactos que podem ser causados pela incorreta exploração da bacia de drenagem como um todo. Deste modo, deve ser enfatizada a necessidade de investigações sobre os aportes de nutrientes e a estrutura e dinâmica fitoplanctônica sazonal na implementação de um efetivo plano de manejo da bacia do rio Paranapanema IV, o qual deve contemplar o monitoramento das cargas de nutrientes e do fitoplâncton, não somente no corpo central e braços do reservatório de Rosana, mas também ao longo de seus tributários, de modo a estabelecer níveis de vigilância ou alerta, como proposto pela Organização Mundial de Saúde – OMS (Chorus e Bartram, 1999), e pelo Ministério da Saúde (Brasil, 2003), para que sejam tomadas as medidas cabíveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura, da Universidade Estadual de Maringá, pelo suporte logístico, aos pesquisadores do Laboratório de Limnologia Básica do Nupelia. Ao CNPq-Pronex, pelo suporte financeiro e à Capes, pela bolsa de estudos cedida ao primeiro autor. Agradecem também as valiosas sugestões de dois consultores anônimos.

Referências

- APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: Byrd Prepress Springfield, 1995.
- BECKER, V.; MOTTA MARQUES, D. Water dynamics, phytoplankton biomass and size structure of a shallow freshwater subtropical lake (Itapeva lake, south of Brazil). *Acta Limnol. Bras.*, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-174, 2004.
- BEYRUTH, Z. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 424, p. 51-65, 2000.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde; Fundação Nacional de Saúde, 2003.
- CALIJURI, M.C.; DOS SANTOS, A.C. A. Short-term changes in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil): emphasis on the phytoplankton communities. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 330, p. 163-175, 1996.
- CALIJURI, M.C. *et al.* Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP - Brazil). *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 24, n. 7, p. 617-634, 2002.
- CARMICHAEL, W.W. The cyanotoxins. *Adv. Bot. Res.*, London, v. 27, p. 211-256, 1997.
- CESP. *Conservação e manejo nos reservatórios: limnologia, ictiologia e pesca*. São Paulo: Série Divulgação e Informação 220, 1998.
- CHORUS, I.; BARTRAM, M. *Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. London: E & FN Spon, 1999.
- DOS SANTOS, A.C.A.; CALIJURI, M.C. Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 367, p. 139-152, 1998.
- DUKE ENERGY. *Duke Energy Brasil Geração Paranapanema*. Disponível em: <<http://www.duke-energy.com.br/PT/Usinas/index.asp>>. Acesso em: 28 maio 2005.
- EDLER, L. *Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea: phytoplankton and chlorophyll*. Paris: Unesco, Working Group 11; Baltic Marine Biologists, 1979.
- GINÉ, M.F. *et al.* Simultaneous determination of nitrite and nitrate by flow injection analysis. *Anal. Chim. Acta.*, Amsterdam, v. 114, p. 191-197, 1980.
- GOLTERMAN, H.L. *et al. Methods for physical and chemical analysis of freshwater*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1978.
- GRIGORSZKY, I. *et al.* Effect of large and of small-bodied zooplankton on phytoplankton in a eutrophic oxbow. *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 20, p. 1989-1995, 1998.
- HARRIS, G.P. *Phytoplankton ecology: structure, function and fluctuation*. New York: Chapman and Hall, 1986.
- JENSEN, J.P. *et al.* Impact of nutrients and physical factors on a shift from Cyanobacterial to Chlorophyte dominance in shallow danish lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Ottawa, v. 51, p. 1692-1699, 1994.
- KLAVENESS, C.D. Ecology of Cryptomonadida: a first review. In: SANDGREN, C. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. New York: Cambridge University Press, 1988. cap. 3, p. 105-133.
- KOMÁRKOVÁ, J.; TAVERA, R. Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical Lake Catemaco (Mexico). *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 502, p. 187-196, 2003.
- MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981.
- MACKERETH, F.Y.H. *et al. Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association, Ambleside, Scientific publication, 1978.
- MELO, S.; HUSZAR, V.L.M. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brazil): diel variation and species strategies. *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 22, p. 63-76, 2000.
- MCCUNE, B.; MEFFORD, M.J. *PC-Ord. Multivariate analysis of ecological data, version 4.0.*: MjM Software Design. Oregon: Glenden Beach, 1999.
- NOGUEIRA, M.G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 431, p. 115-128, 2000.
- NOGUEIRA, M.G. *et al.* Uma avaliação dos processos de

- eutrofização nos reservatórios em cascata do rio Paranapanema (SP/PR), Brasil. In: CIRELLI, A.F.; MARQUISÁ, G.C. (Ed.). *El Agua en Iberoamérica: de la Limnología a la Gestión en Sudamérica*. Santiago do Chile: Cyted XVII/CETA, 2002. p. 91-106.
- PAGIORO, T.A. *et al.* Zonação longitudinal das variáveis limnológicas abióticas em reservatórios. In: RODRIGUES, L. *et al.* (Ed.). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. São Carlos: Rima, 2005. cap. 3, p. 39-46.
- PIVATO, B.M. *et al.* Dinâmica nictemeral das assembléias fitoplanctônicas em um reservatório tropical (reservatório de Corumbá – GO), em dois períodos do ciclo hidrológico. *Acta Sci. Biol. Sci.*, Maringá, v. 28, p. 19-29, 2006.
- REYNOLDS, C.S. *Vegetation process in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Oldendorf: Ecology Institute, 1997.
- REYNOLDS, C.S. Phytoplankton assemblages in reservoirs. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (Ed.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology, 1999. p. 439-456.
- REYNOLDS, C.S. *et al.* Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.*, Oxford, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.
- RODRIGUES, L.C. *et al.* Assembléias fitoplanctônicas de trinta reservatórios do Estado do Paraná. In: RODRIGUES, L. *et al.* (Ed.). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. São Carlos: Rima, 2005. cap. 5, p. 57-72.
- ROJO, C.; ÁLVARES-COBELAS, M. Are there steady-state phytoplankton assemblages in the field? *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 502, p. 3-12, 2003.
- SHANNON, C.E.; WEAVER, W. *Mathematical theory of communication*. Urbana, Illinois: University Press, 1963.
- SILVA, C.A. *et al.* Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 537, p. 99-109, 2005.
- STATISOFT INC. *Statistica* (data analysis software system) version 7.1. Disponível em: <www.statsoft.inc>. Acesso em: 2005.
- STOCKNER, J.G.; SHORTREED, K.S. Response of *Anabaena* and *Synechococcus* to manipulation of nitrogen: phosphorus ratios in a lake fertilization experiment. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 33, n. 6, p. 1348-1361, 1988.
- STOCKNER, J.G. *et al.* Picoplankton and other Non-Bloom-Forming Cyanobacteria in Lakes. In: WHILTON, B.A.; POTTS, M. (Ed.). *The ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. cap.7, p. 195-225.
- TRAIN, S. *et al.* Phytoplankton composition and biomass in environments of the Upper Paraná river floodplain. In: AGOSTINHO, A. A. *et al.* (Ed.). *Structure and functioning of the Paraná river and its floodplain*. Maringá: Eduem, 2004. cap.11, p. 63-74.
- TRAIN, S. *et al.* Distribuição espacial e temporal do fitoplâncton em três reservatórios da Bacia do Rio Paraná. In: RODRIGUES, L. *et al.* (Ed.). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. São Carlos: Rima, 2005. cap. 6, p.73-85.
- TUNDISI, J. G. *et al.* Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRASKRABA, M. *et al.* (Ed.). *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1993, p.25-55.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-methodic. *Mitt. Int. Vereinig. Limnol.*, Germany, n. 9, p. 1-39, 1958.
- VOLLENWEIDER, R.A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water, with particular reference to phosphorus and nitrogen as factors in eutrophication. Paris: Tech. Rep. DAS/CSI/58-27, 1968.
- WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. *Limnological analysis*. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 2000.

Received on August 08, 2007.

Accepted on December 07, 2007.