

Resposta das algas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes em curto período de tempo

Eliza Akane Murakami* e Liliana Rodrigues

Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: elizamurakami@gmail.com

RESUMO. O estudo visou avaliar, em um experimento de mesocosmos, a influência da temperatura e de concentrações de nutrientes na abundância das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) na planície de inundação do alto rio Paraná. O delineamento experimental constituiu-se de cinco tratamentos: controle (C) e adição de nutrientes (P+, N+ e NP+) a 25°C, e frio (F) com diminuição da temperatura a 15°C e sem adição de nutrientes. Lâminas de vidro foram utilizadas para colonização das algas perifíticas, e as amostragens foram feitas entre o 15º e o 31º dia de sucessão. Pela Análise de Correspondência Canônica, pode-se observar uma clara separação entre os tratamentos devido à temperatura e adição de nutrientes. A diminuição de temperatura afetou a abundância das classes de algas perifíticas, principalmente pela redução da densidade relativa de Cyanophyceae e aumento de Zygnemaphyceae. O enriquecimento artificial de nutrientes, principalmente P, alterou a estrutura da comunidade de algas perifíticas, em termos de densidade das classes algais. As densidades relativas das classes, em geral, aumentaram com a adição de nutrientes. O fósforo pode ser considerado direcionador na densidade das algas perifíticas, como pode ser observado pela rápida resposta após os enriquecimentos artificiais.

Palavras-chave: algas perifíticas, enriquecimento artificial, temperatura, mesocosmos, planície de inundação.

ABSTRACT. Periphytic algae response to temperature changes and artificial nutrient enrichment. This study set out to evaluate, via a mesocosm experiment, the influence of the temperature and concentration of nutrients (N and P) in the abundance of periphytic algae (except Bacillariophyceae) of the upper Paraná river floodplain. The experiment was designed using 5 treatments: a control (C), added nutrients (P+, N+, NP+) at 25°C, and without added nutrients at 15°C. Glass slides were used for periphytic algae colonization, and the samples were taken on the 15th and 31st days following colonization. Canonical Correspondence Analysis revealed a clear separation among treatment groups due to temperature and added nutrients. A decrease in temperature affected the abundance of periphytic algae classes, especially in the reduction of the relative density of Cyanophyceae and increase in Zygnemaphyceae. The artificial addition of nutrients – especially P – altered the structure of the periphytic algae communities. The relative densities of the classes, in general, increased with the addition of nutrients. Phosphorus may be considered a driver of periphytic algae, as can be seen by the rapid response after artificial enrichment.

Key words: periphytic algae, artificial enrichment, temperature, abundance, floodplain.

Introdução

As algas perifíticas recebem influência de inúmeros fatores para o seu desenvolvimento, incluindo macro e micronutrientes, luz, temperatura, substrato, predação, *grazing* (pastagem), velocidade da água e partículas transportadas pela corrente (SAND-JENSEN, 1983; STEVENSON et al., 1996; RODRIGUES et al., 2003). Em estudos realizados na planície de inundação do alto rio Paraná, a temperatura e a concentração de nutrientes foram fatores considerados importantes na

estrutura da comunidade de algas perifíticas (RODRIGUES; BICUDO, 2001; FONSECA, 2004; RODRIGUES; BICUDO, 2004; ALGARTE et al., 2006; LEANDRINI, 2006).

O efeito da temperatura nas reações bioquímicas difere entre as espécies, sendo importante no desenvolvimento e abundância das algas. Experimentos foram realizados, visando determinar a temperatura ótima de crescimento para espécies de Cyanophyceae (MOSSER; BROCK, 1971;

TSUJIMURA et al., 2001; CHU et al., 2007), Zygnemaphyceae (GRAHAM et al., 1996; BERRY; LEMBI, 2000) e Chlorophyceae (RHEE; GOTHAM, 1981). Maior eficiência em uma dada temperatura pode favorecer a abundância de determinada espécie no ambiente. Apesar das muitas variáveis que afetam as comunidades de algas, o estudo de Chu et al. (2007) sugere que a temperatura da água é um importante fator na troca de dominância.

Pelo papel principal que desempenham na eutrofização de lagos, os nutrientes têm sido considerados também na seleção de espécies (REYNOLDS, 1998). Estudos procuram relacionar a dominância ou abundância das algas às diferentes concentração de nutrientes, principalmente fósforo (P) e nitrogênio (N), e à razão entre eles (NT:PT) (SHAPIRO, 1973; TILMAN et al., 1986; PICK; LEAN, 1987; HUSZAR et al., 2000; SALMASO, 2000). Segundo Olsen et al. (1989), a habilidade no uso e estocagem de P é, juntamente com as suas características de absorção, crítica na competição por esse nutriente. Experimentos demonstram que as espécies apresentaram diferentes mecanismos de resposta à adição de um nutriente (SPIJKERMAN; COESEL, 1998; HYENSTRAND et al., 2000).

No Brasil, já foram realizados os seguintes trabalhos experimentais com nutrientes envolvendo a comunidade perifítica: em uma lagoa (SUZUKI, 1991) e em uma represa em São Paulo (CERRAO et al., 1991), em uma lagoa na planície de inundação amazônica (ENGLE; MELACK, 1993), em córrego em Minas Gerais (MENDES; BARBOSA, 2002) e no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga em São Paulo (FERRAGUT, 1999; 2004; BARCELOS, 2003; FERMINO, 2006; VERCELLINO, 2007).

O presente trabalho constitui a primeira pesquisa experimental de manipulação de temperatura e nutrientes para a comunidade de algas perifíticas na planície de inundação do alto rio Paraná.

As hipóteses deste estudo são: a) a temperatura afeta a densidade de algas perifíticas; b) a adição de nutrientes favorece o aumento na densidade de algas perifíticas; c) as classes de algas, em termos de abundância, respondem diferentemente à adição de fósforo (P) e nitrogênio (N).

O estudo visou avaliar, em um experimento de mesocosmos, a influência da temperatura e de concentrações de nutrientes na abundância das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae). Os objetivos foram: a) comparar a densidade das algas a diferentes temperaturas; b) avaliar a resposta das classes de algas, em termos de abundância, ao enriquecimento artificial; c) verificar as classes que são favorecidas com a adição de nutrientes.

Material e métodos

A influência da temperatura e do enriquecimento artificial de nitrogênio (N) e fósforo (P) sobre a abundância das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) foi testada em mesocosmos. O experimento foi realizado entre os dias 16 de março a 16 de abril de 2005 (Figura 1).

A colonização e o estabelecimento das algas perifíticas aconteceram em substratos artificiais (lâminas de vidro), no ambiente natural, a lagoa das Garças, sistema lântico da planície de inundação do alto rio Paraná. As lâminas de vidro, em suportes de madeira, foram colocadas próximas aos bancos de macrófita, na região litorânea da lagoa, ao lado da macrófita *Eichhornia azurea* Kunth. Após o estabelecimento da comunidade, os substratos foram transferidos para aquários em laboratório.

Montagem do experimento no laboratório

O experimento no laboratório foi realizado na Base Avançada de Pesquisa do Nupelia/UEM, localizada na margem do rio Paraná (Porto Rico, Estado do Paraná). O delineamento experimental constituiu-se de cinco tratamentos, em triplicata: controle, adição de fósforo (P+), adição de nitrogênio (N+), adição de nitrogênio e fósforo (NP+) e frio. Cada tratamento foi realizado em uma bateria de aquários.

Os aquários, com capacidade de 300 L cada, estavam dispostos em fileiras, e cada fileira constituiu uma bateria com controle independente de temperatura. Para o experimento, foram utilizados três aquários em cada bateria.

Os aquários foram cheios com água do ambiente natural, no dia 26 de março de 2005. A água foi coletada na lagoa das Garças, com auxílio de mangueiras e bomba, e transportada em caixas d'água para transferência para os aquários.

No tratamento frio, a temperatura da água foi reduzida e mantida a 15°C. Nos demais tratamentos, a temperatura foi mantida a 25°C.

Nos tratamentos P+, N+ e NP+, foram adicionados nutrientes. O enriquecimento com N e P foi feito adicionando-se 12,5 mL de soluções de KH_2PO_4 (1600 mg P L⁻¹) e de NaNO_3 (10.000 mg N L⁻¹) em cada aquário, no início do experimento no laboratório (30/3/2005) e após uma semana (6/4/2005).

A transferência dos substratos artificiais da lagoa, ambiente natural, para os aquários, no laboratório, realizou-se no dia 31 de março de 2005, 15º dia de sucessão das algas perifíticas, quando a comunidade já estava estabelecida, segundo Rodrigues e Bicudo (2001).

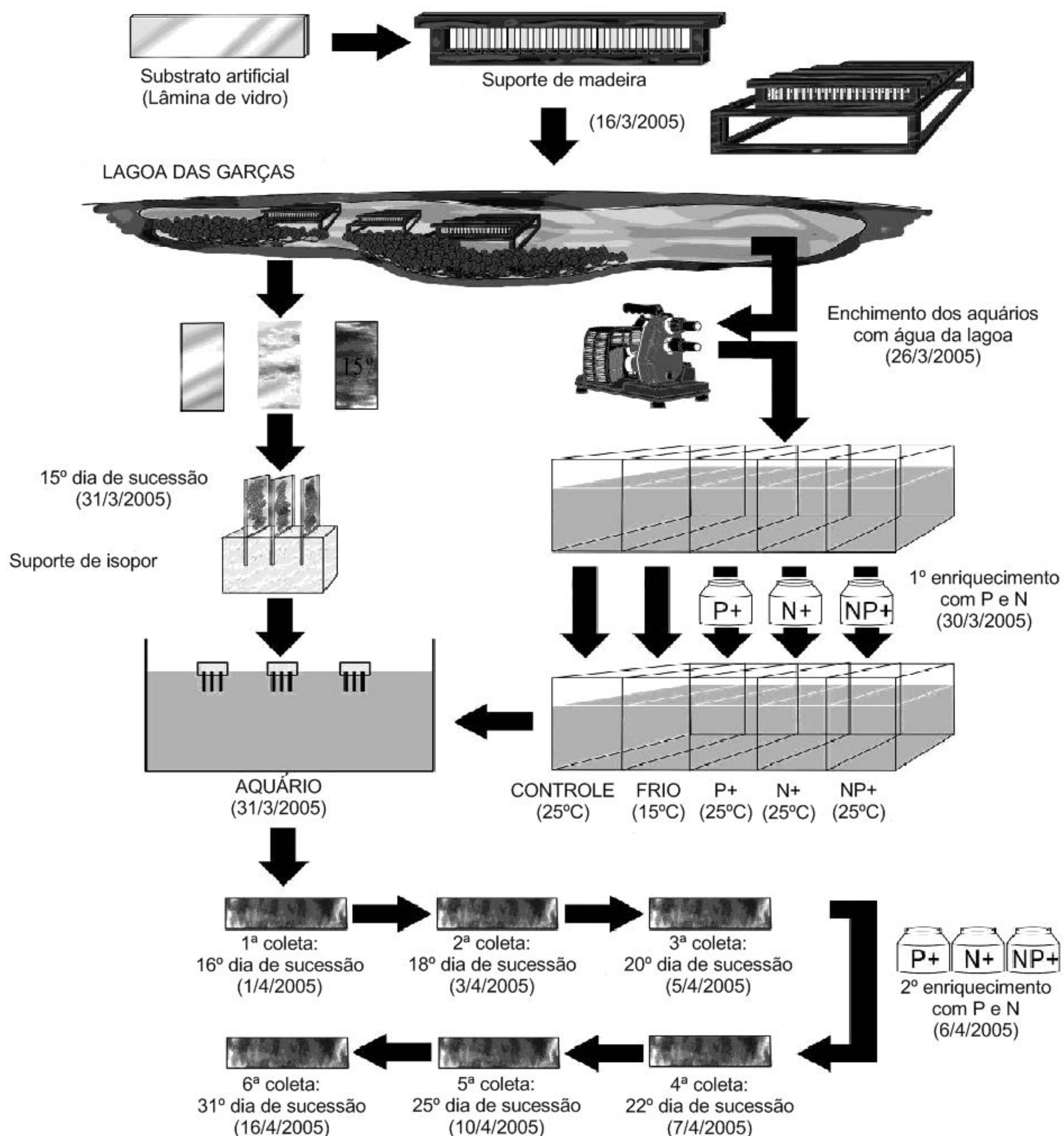


Figura 1. Esquema do experimento com os tratamentos controle, frio e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+), realizado entre os dias 16 de março a 16 de abril de 2005.

Os suportes de madeira com as lâminas de vidro foram trazidos da lagoa para o laboratório, em caixa térmica com gelo; em seguida, as lâminas foram transferidas para suportes de isopor. Optou-se pelo uso de suportes de isopor devido ao seu peso e tamanho, mais compatíveis com a estrutura do aquário e de fácil manipulação.

Amostragem e análise dos dados

As amostragens foram realizadas coletando-se as lâminas de vidro referentes ao 15º dia de sucessão,

ainda na lagoa das Garças, e no 16º, 18º, 20º, 22º, 25º e 31º dia de sucessão, nos aquários (31/3/2005 a 16/4/2005). A amostragem do perifíton foi feita segundo critério aleatório de sorteio das lâminas de vidro a serem coletadas. As coletas foram realizadas em réplica para cada tratamento. As lâminas de vidro coletadas foram acondicionadas em câmaras úmidas (frascos de vidro).

O perifíton foi removido das lâminas de vidro com auxílio de lâminas de aço e jatos de água destilada. O material foi acondicionado em frascos

de vidro de 150 mL e fixado e preservado com solução de Transeau, para análise qualitativa, e com lugol acético, para análise quantitativa.

Os dados abióticos foram obtidos simultaneamente aos dados bióticos. Os parâmetros físicos e químicos avaliados foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade e pH (medidos com auxílio de aparelhos de campo - marca Digimed); nitrogênio total (NT), nitrato (N-NO_3) e nitrito (N-NO_2), determinados pelo método de análise de injeção de fluxo - FIA (ZAGATTO et al., 1981); nitrogênio amoniacal (N-NH_4), fósforo total (PT) e ortofosfato (P-PO_4), segundo Mackereth et al. (1978). Amostras da água foram coletadas para filtragem utilizando-se membranas GF/C para análises das concentrações de nutrientes.

A quantificação das algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) foi realizada em microscópio invertido, utilizando-se o método de Utermöhl (1958). A contagem foi em campos aleatórios até atingir a estabilização da curva (de rarefação de espécies) e um total de 100 indivíduos da espécie mais comum (BICUDO, 1990). A densidade das algas perifíticas foi calculada segundo a equação de Ros (1979).

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi utilizada para ordenação das variáveis bióticas em função das abióticas. Para a análise de ACC, utilizou-se o programa PC-ORD, versão 4.01 (McCUNE; MEFFORD, 1999); para a construção

dos gráficos, o programa STATISTICA, versão 7.1 (STATSOFT, 2005).

Resultados

Na lagoa das Garças e nos tratamentos, foram registrados 230 táxons de algas perifíticas, distribuídos em 83 gêneros e 9 classes (Cyanophyceae, Chlamydomonadophyceae, Chlorophyceae, Zygnemaphyceae, Oedogoniophyceae, Euglenophyceae, Cryptophyceae, Xanthophyceae e Chrysophyceae).

As classes de algas perifíticas analisadas, exceto Bacillariophyceae, representaram, no máximo, 16% da densidade total da comunidade de algas perifíticas (Figura 2), variando de 3.736 ind. cm^{-2} a 17.506 ind. cm^{-2} (Figura 3). Na lagoa das Garças, 15º dia de sucessão, a densidade foi de 7.833 ind. cm^{-2} . A densidade no controle, no dia seguinte de sucessão, praticamente dobrou, chegando a 14.840 ind. cm^{-2} . Depois, observou-se uma variação na densidade ao longo da sucessão neste tratamento.

Comparando-se o tratamento-controle e o frio, observaram-se valores maiores de densidade com a diminuição da temperatura. Em geral, a densidade das algas perifíticas no controle foi maior do que nos tratamentos com adição de nutrientes (Figura 3). Apenas no 18º dia de sucessão, as densidades dos tratamentos P+, N+ e NP+ foram maiores do que no controle.

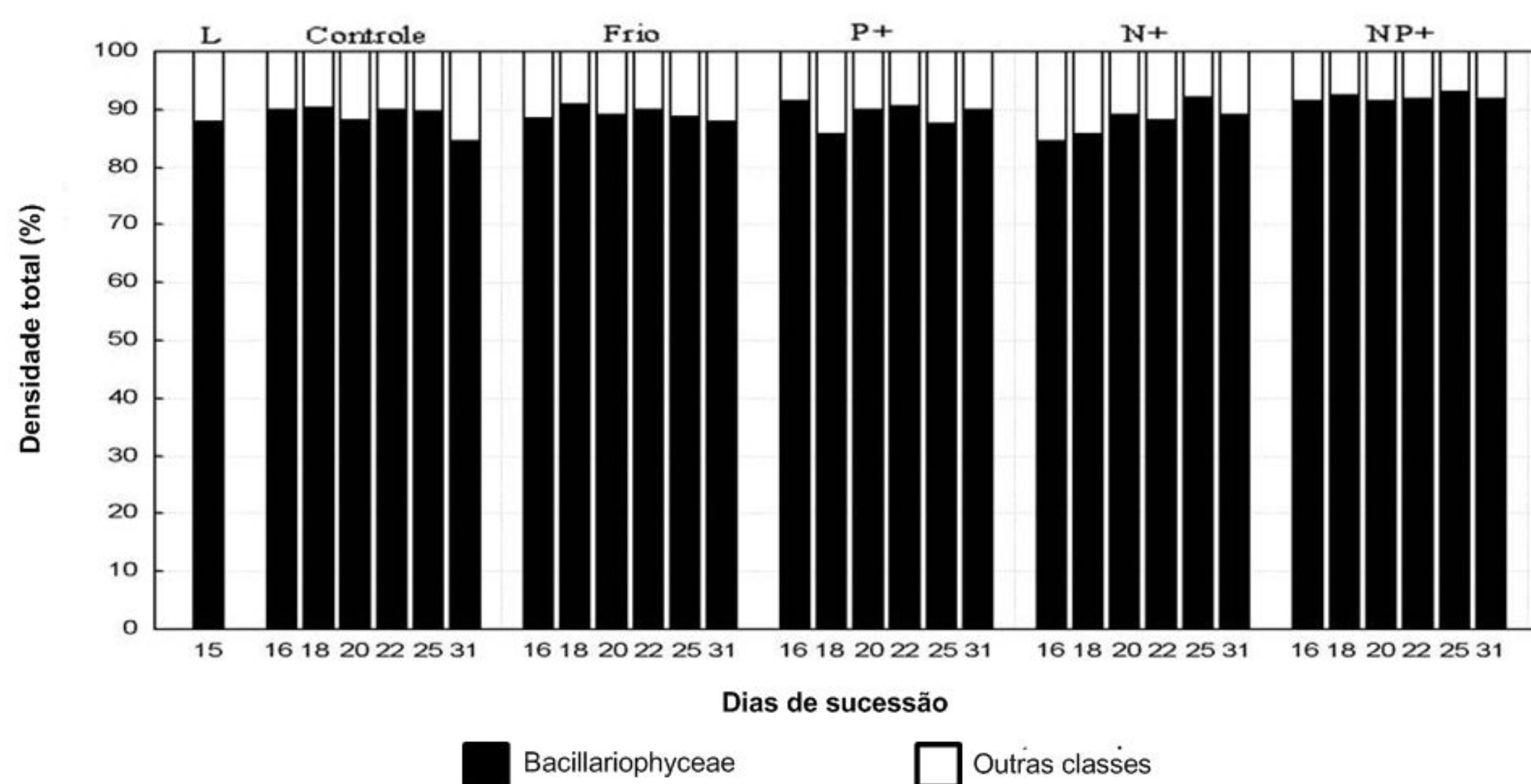


Figura 2. Densidade relativa de Bacillariophyceae e outras classes de algas perifíticas, ao longo da sucessão (15º ao 31º dia de sucessão), na lagoa das Garças (L) e nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+).

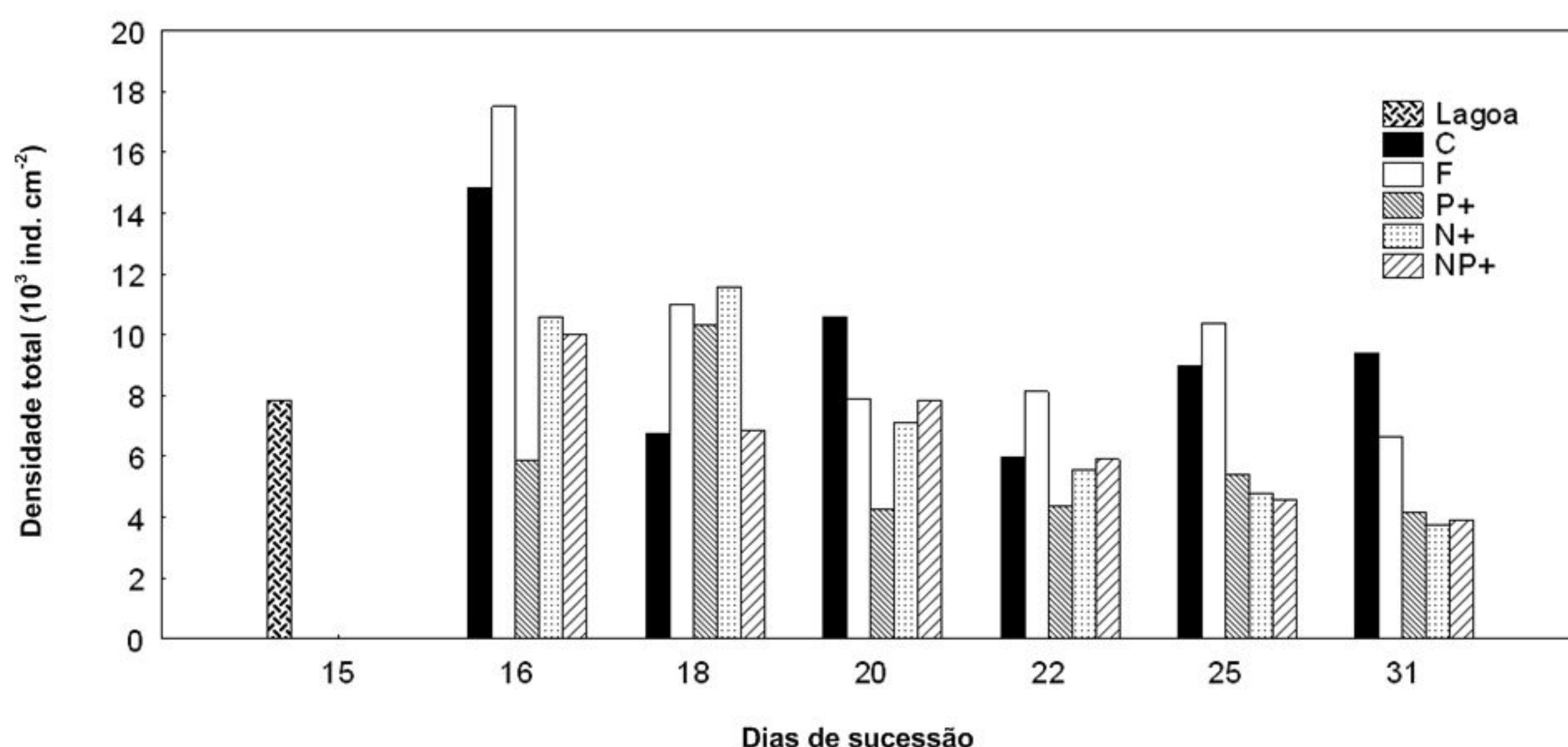


Figura 3. Densidade (ind cm⁻²) de algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) na lagoa das Garças e nos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+), ao longo da sucessão (15º ao 31º dia).

Na lagoa das Garças, 15º dia de sucessão, a maior densidade relativa foi de Cyanophyceae (37%), seguida de Zygnemaphyceae (26%), Chlorophyceae (19%) e Oedogoniophyceae (18%). Não foram registradas espécies das demais classes.

As densidades relativas das classes entre os tratamentos foram distintas (Figura 4). No experimento, as classes de algas com maior densidade relativa foram: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Oedogoniophyceae e Zygnemaphyceae (Figura 4). No controle, a densidade relativa das demais classes juntas não ultrapassou 11%. No tratamento frio e no com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+), ocorreu maior proporção das demais classes.

No tratamento-controle, nos dias iniciais (16º e 18º), as maiores densidades relativas foram de Chlorophyceae. A partir do 20º dia de sucessão, ocorreu abundância de Cyanophyceae. No 31º dia, esta classe chegou a representar 46% da densidade de algas. A densidade relativa de Cyanophyceae foi maior apenas no controle. Nos demais tratamentos, a densidade desta classe não ultrapassou 10% (Figura 4).

No tratamento frio, a maior densidade relativa foi de Chlorophyceae, exceto no 20º dia de sucessão (Figura 4). As densidades das classes foram maiores no frio do que no controle, principalmente de Zygnemaphyceae. Contudo, esta classe não apresentou correlação significativa com a temperatura (Tabela 1). As demais classes representaram, no máximo, 18% (no 25º dia de sucessão) no tratamento frio (Figura 4).

Tabela 1. Coeficiente de correlação de Spearman (r) entre a densidade relativa das classes de algas perifíticas e as variáveis abióticas. Apenas as correlações significativas ($p < 0,05$) são mostradas.

Classes	Temperatura (°C)	N total (µg L ⁻¹)	N-NO ₃ (µg L ⁻¹)	P total (µg L ⁻¹)	P-PO ₄ (µg L ⁻¹)	NT:PT (razão atômica)
Cyanophyceae	-	-0,54	-0,54	-	-	-
Chlamydomphycaceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Chlorophyceae	-	-	0,38	-0,47	-0,53	0,46
Zygnemaphycaceae	-	-	-	-0,46	-0,46	0,50
Oedogoniophycaceae	-	0,41	0,45	-	-	-
Euglenophycaceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Cryptophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Xanthophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-
Chrysophyceae	0,47	-	-	0,55	0,61	-

As densidades relativas das classes Chlamydomphycaceae, Euglenophycaceae, Cryptophyceae, Xanthophyceae e Chrysophyceae estiveram correlacionadas positivamente com a temperatura (Tabela 1).

Considerando-se os tratamentos com adição de nutrientes e o controle, em geral, as densidades relativas das classes foram maiores com o enriquecimento de nutrientes, principalmente P, exceto para Cyanophyceae. As densidades relativas de Chlamydomphycaceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Euglenophycaceae e Xanthophyceae foram maiores, em ordem, nos tratamentos P+, NP+ e N+. Essas classes estiveram correlacionadas positivamente com as concentrações de fósforo total e ortofosfato (Tabela 1).

Chlorophyceae e Zygnemaphycaceae foram as únicas classes que apresentaram correlação significativa com as razões NT:PT (Tabela 1). As densidades relativas de Chlorophyceae foram semelhantes no controle (19 a 42%) e no tratamento N+ (23 a 40%), e maiores do

que nos tratamentos P+ e NP+ (Figura 4). Essa classe esteve correlacionada positivamente com as concentrações de nitrato e negativamente com de fósforo total e ortofosfato (Tabela 1). As maiores densidades relativas de Zygnemaphyceae foram

encontradas nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente no tratamento NP+, em que se atingiu 26% no 16º dia de sucessão. Essa classe esteve correlacionada negativamente com as concentrações de fósforo total e ortofosfato (Tabela 1).

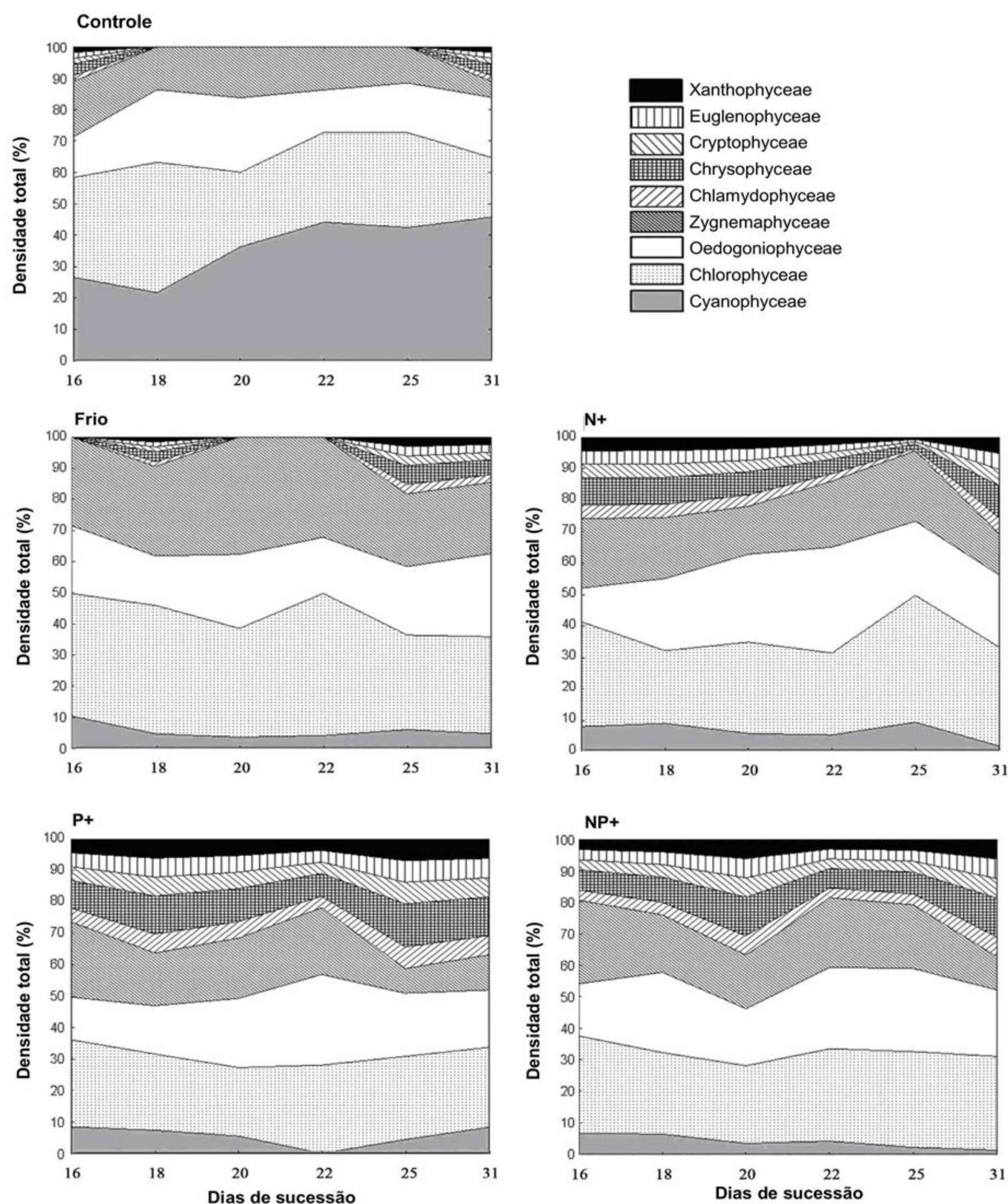


Figura 4. Densidade relativa (%) das classes de algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae), ao longo da sucessão, nos tratamentos controle, frio e com adição de fósforo (P+), nitrogênio (N+) e nitrogênio e fósforo (NP+).

As densidades relativas de Oedogoniophyceae foram maiores no tratamento com adição isolada de N – chegando a atingir 34% da densidade (22º dia) – do que no controle com máximo de 24% (20º dia). Essa classe apresentou correlação positiva com nitrogênio total e nitrato (Tabela 1).

O fósforo pode ser considerado direcionador na densidade das algas perifíticas. Nos tratamentos com adição de fósforo (P+ e NP+), ocorreu resposta rápida das algas perifíticas, como se pôde observar pela alteração nas densidades relativas das classes (22º dia) (Figura 4). Vale ressaltar que o 2º enriquecimento ocorreu entre o 21º e o 22º dia de sucessão.

No tratamento N+, também ocorreu resposta das algas perifíticas, contudo mais tardia, no 25º dia de sucessão, com aumento de Cyanophyceae, Zygnemaphyceae e, principalmente, de Chlorophyceae, e diminuição das densidades das demais classes (Figura 4).

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) resumiu 66,7% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos. As correlações de Pearson espécie-ambiente foram elevadas para os eixos 1 e 2

($r = 0,93$ e $r = 0,87$, respectivamente), indicando forte relação entre as densidades das classes de algas perifíticas e as variáveis abióticas. Essas correlações foram significativas para ambos os eixos (teste de Monte Carlo, $p < 0,003$).

Pela ACC, pode-se observar uma clara separação entre os tratamentos, principalmente entre controle, frio e adição de nutrientes (Figura 5). O tratamento-controle esteve próximo do que ocorreu na lagoa das Garças. Os tratamentos com adição de nutrientes, principalmente P+ e NP+, estiveram separados nos primeiros estágios de sucessão. Entretanto, ao final da sucessão, esses tratamentos estiveram mais próximos. O estágio sucessional, em geral, influenciou a distribuição das unidades amostrais em cada tratamento, com os primeiros estágios posicionados no lado negativo do eixo 2; os finais, no lado positivo.

Observa-se alteração no processo sucessional entre o 20º e o 22º dia no controle, mais pronunciada nos tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+ e NP+). No tratamento frio, ocorreu retrocesso entre o 18º e o 20º dia sucessional (Figura 5).

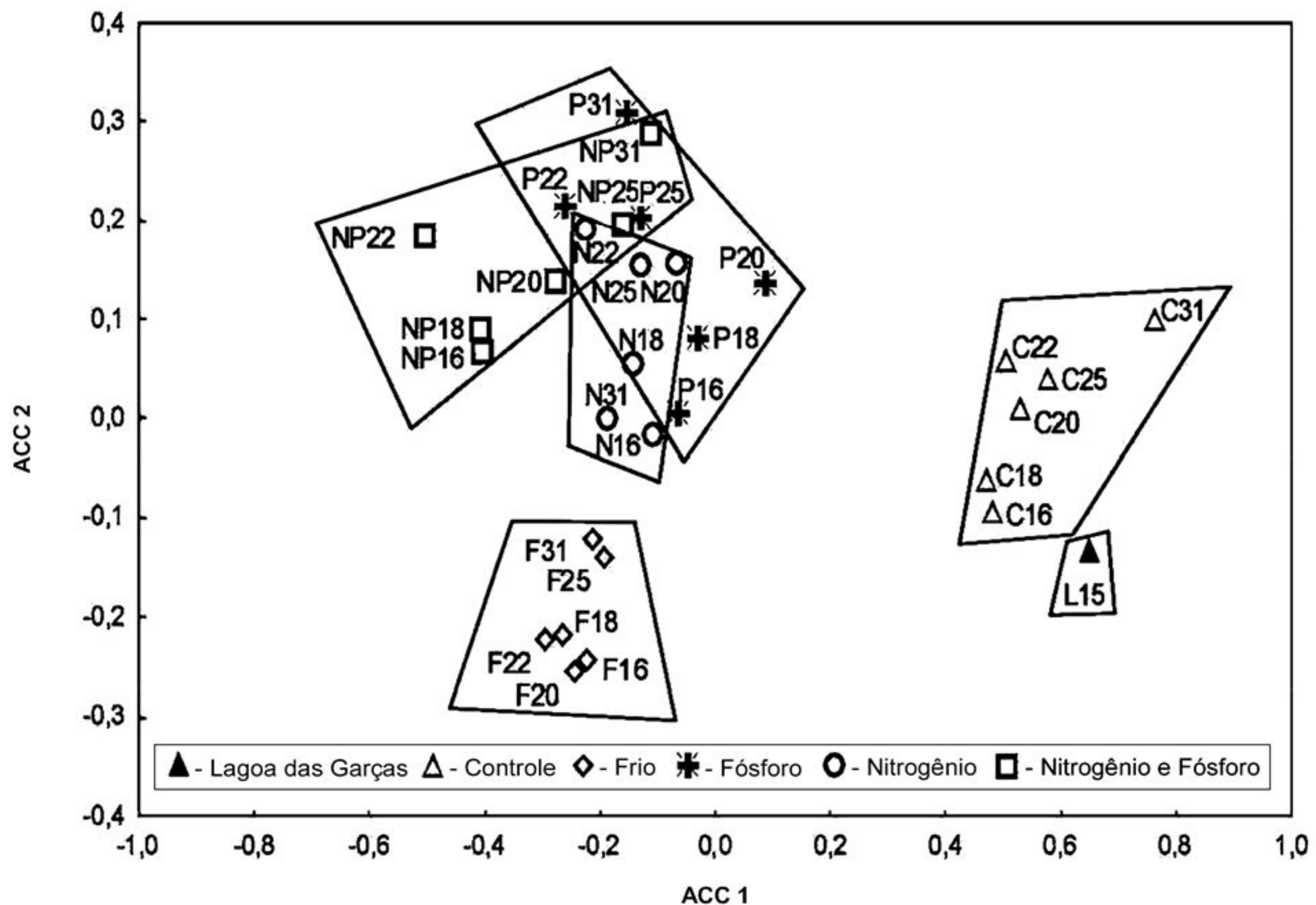


Figura 5. Ordenação pela Análise de Correspondência Canônica (ACC) da lagoa das Garças (L) e dos tratamentos controle (C), frio (F) e com adições de fósforo (P+), nitrogênio (N) e nitrogênio e fósforo (NP+), ao longo da sucessão (15º ao 31º dia).

O eixo 1 (56,5%) esteve associado, negativamente, com os valores de nitrogênio total e nitrato e, positivamente, com a temperatura (correlação de Pearson e Kendall) (Tabela 2). Essas variáveis também foram importantes, como é possível observar nas correlações *intra-set*. A lagoa das Garças e o controle estiveram posicionados no lado positivo desse eixo; os demais tratamentos, no lado negativo.

Tabela 2. Correlações de Pearson e Kendall, coeficientes canônicos e correlações *intra-set* das variáveis abióticas com os eixos 1 e 2 da Análise de Correspondência Canônica (ACC).

Variáveis abióticas	Correlações de Pearson e Kendall		Coeficientes canônicos		Correlações <i>intra-set</i>	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura da água	0,242	0,726	-0,054	0,259	0,300	0,668
Oxigênio dissolvido	-0,314	-0,607	-0,111	0,225	-0,355	-0,600
Condutividade	-0,028	0,821	0,219	0,011	0,092	0,765
pH	-0,121	0,438	0,014	-0,011	-0,067	0,391
N total	-0,680	0,237	-0,515	0,059	-0,693	0,197
N-NO ₃	-0,597	0,017	0,231	-0,075	-0,622	-0,067
N-NO ₂	0,121	0,473	0,130	0,063	0,204	0,378
N-NH ₄	-0,103	0,211	0,058	0,060	-0,108	0,321
P total	-0,330	0,758	-0,087	-0,040	-0,255	0,641
P-PO ₄	-0,323	0,775	-0,150	0,087	-0,248	0,658

As classes que apresentaram correlação positiva com o eixo 1 foram, principalmente, Cyanophyceae, com menor correlação Euglenophyceae. As demais classes estiveram correlacionadas negativamente com esse eixo (Tabela 3).

Tabela 3. Correlações de Pearson e Kendall das classes de algas com os eixos 1 e 2 da Análise de Correspondência Canônica (ACC).

Classe	Eixo 1	Eixo 2
Chlamydomonadales	-0,333	0,372
Chlorophyceae	-0,082	-0,594
Chrysophyceae	-0,294	-0,376
Cryptophyceae	-0,023	0,141
Cyanophyceae	0,866	-0,212
Euglenophyceae	0,329	-0,203
Oedogoniophyceae	-0,128	-0,259
Xanthophyceae	-0,099	-0,678
Zygnematales	-0,255	-0,677

O eixo 2 (10%) esteve associado, positivamente, com os valores de condutividade, ortofosfato, fósforo total e temperatura da água; negativamente, com oxigênio dissolvido. Essas variáveis foram também as mais importantes indicadas nas correlações *intra-set* (Tabela 2).

O tratamento frio esteve posicionado no lado negativo do eixo 2, assim como a lagoa das Garças. Em relação aos demais tratamentos, observou-se que os dias de sucessão iniciais estiveram posicionados mais ao lado negativo e os dias finais, no lado positivo desse eixo. As classes Xanthophyceae, Zygnematales e Chlorophyceae estiveram correlacionadas, negativamente, com o eixo 2. A

classe Chlamydomonadales esteve correlacionada, positivamente, com esse eixo (Tabela 3).

Discussão

A diminuição da temperatura e o enriquecimento artificial de nutrientes influenciaram a abundância das algas perifíticas. A separação entre os tratamentos foi clara, como foi possível observar pela ACC, indicando que a densidade das classes de algas perifíticas está fortemente relacionada aos fatores abióticos. O controle esteve separado do tratamento frio e com adição de nutrientes.

Estudos indicam relação direta entre temperatura e taxas de fotossíntese e/ou crescimento (MOSSER; BROCK, 1971; ROBARTS; ZOHARY, 1987; GRAHAM et al., 1996; BOUTERFAS et al., 2002; YAMAMOTO; NAKAHARA, 2005). No presente experimento, observou-se no tratamento frio a diminuição da densidade de algas perifíticas ao longo da sucessão, entre o 16º dia e o 22º dia. Contudo, apesar da temperatura mais baixa, as densidades das algas no frio, em geral, foram maiores do que no controle. Em McCabe e Cyr (2006), a abundância total das algas foi similar em todos os locais de coleta, ocorrendo alteração da composição das comunidades benthicas com a variabilidade da temperatura.

Determinadas classes de algas podem ser favorecidas com a alteração de temperatura, pois as espécies possuem temperatura ótima de crescimento específica (MOSSER; BROCK, 1971; RHEE; GOTHAM, 1981; GRAHAM et al., 1996; BERRY; LEMBI, 2000; TSUJIMURA et al., 2001; CHU et al., 2007). Neste experimento, foi possível observar a mudança nas densidades relativas das classes que compõem a comunidade de algas perifíticas nos tratamentos controle e frio.

Na lagoa das Garças e no tratamento-controle, registrou-se abundância de Cyanophyceae, que variou de 22% (18º dia) a 46% (31º dia). Fonseca e Rodrigues (2005), em um estudo na mesma lagoa, relacionaram o aumento na densidade de Cyanophyceae no perifíton com a estabilidade térmica do ambiente, usualmente maior nos períodos quentes e chuvosos.

Neste estudo, com a diminuição da temperatura, a 15°C, a densidade relativa de Cyanophyceae reduziu, variando de 4% (20º dia) a 10% (16º dia) apenas. Segundo Robarts e Zohary (1987), dados de literatura e campo demonstraram que a capacidade fotossintética, a taxa de respiração específica e a taxa de crescimento de Cyanophyceae são dependentes da temperatura, com ótimo de, geralmente, 25°C ou mais. Espécies dessa classe apresentam preferência a

temperaturas maiores (YAMAMOTO; NAKAHARA, 2005; CHU et al., 2007) e são, inclusive, resistentes às temperaturas de ambientes termais (MOSSER; BROCK, 1971; SOMPONG et al., 2005). Em Huszar et al. (2000), a abundância relativa de Cyanophyceae foi correlacionada, positivamente, com a temperatura; em Tilman et al. (1986) e Bressan (2001), ocorreu dominância de espécies dessa classe em altas temperaturas.

As demais classes apresentaram, em geral, densidades relativas maiores com a redução da temperatura, principalmente Zygnemaphyceae. Coesel e Wandenaar (1990), em um estudo com espécies de desmídias planctônicas, consideraram a temperatura ótima de crescimento entre 25 a 30°C. Apesar disso, no presente experimento, as densidades relativas de Zygnemaphyceae foram maiores no tratamento frio, chegando a atingir 38%. A diminuição acentuada da densidade relativa de Cyanophyceae no frio pode ter permitido o desenvolvimento das demais classes. Dessa forma, o aumento na densidade das demais classes poderia estar relacionado com o favorecimento que estas classes tiveram com a ausência de Cyanophyceae, que era a classe de maior abundância no controle. De fato, a maioria das classes (Chlamydomphyceae, Crysophyceae, Euglenophyceae e Xanthophyceae) apresentou correlação positiva com a temperatura, sendo que as demais não apresentaram correlação significativa.

No presente experimento, a adição de nutrientes limitantes para as algas, como fósforo (P) e nitrogênio (N), não favoreceu um aumento na densidade total, comparado com o controle. No estudo de Havens et al. (1996), não foram observadas alterações na estrutura da comunidade perifítica, em termos de densidade, em resposta à adição de nutrientes limitantes. Já em Fermino (2006), Vercellino (2007) e Ferragut (2004), a densidade total de algas aumentou com o enriquecimento artificial de nutrientes.

Pela ACC, observou-se separação entre o controle e os tratamentos com adição de nutrientes (P+, N+, NP+), indicando que o enriquecimento artificial afetou a densidade das classes de algas perifíticas. Em geral, as densidades relativas das classes foram maiores com a adição de nutrientes, principalmente P, exceto de Cyanophyceae. Os dados da literatura mundial indicam maior limitação por N e P em regiões temperadas e por P em regiões tropicais e subtropicais para o perifíton, e os estudos realizados no Brasil reforçam tal tendência (HUSZAR et al., 2005).

A classe Cyanophyceae constitui um grupo extremamente oportunista e sensível às alterações do ambiente (PAERL, 1988). Em Shapiro (1973), com aumento na concentração de nutrientes ocorreu uma alta população de Cyanophyceae; em Barcelos (2003), esta classe foi dominante no tratamento eutrófico. Contudo, no presente experimento, Cyanophyceae apresentou alta correlação positiva com o eixo 1 da ACC, em que estiveram posicionadas as unidades amostrais do controle. Com a adição de nutrientes, ocorreu redução nas densidades relativas para menos de 10%. Em McCormick e O'Dell (1996), o enriquecimento de P também ocasionou declínio em Cyanophyceae, como neste estudo.

A dominância de Cyanophyceae tem sido relacionada a uma baixa razão N:P (SMITH, 1983; TILMAN et al., 1986). Segundo Pick e Lean (1987), Cyanophyceae tende a tornar-se rara em ambiente com razão NT:PT acima de 30; abaixo desse valor, pode ou não tornar-se dominante. Resultados de estudos em laboratório não fornecem evidências conclusivas de que as razões N:P desempenham papel principal na dominância de táxons dessa classe, havendo considerável variabilidade nas razões N:P para suas espécies já bem estudadas.

No presente estudo, não ocorreu dominância de Cyanophyceae em nenhuma das razões N:P, nem com adição de P sozinho. Em Bressan (2001), a dominância de uma espécie de Cyanophyceae (*Cylindrospermopsis raciborskii*) em um reservatório (PE) foi favorecida por altas temperaturas, elevado pH, baixas intensidades luminosas e teores de fósforo relativamente baixos. No estudo de Huszar et al. (2000), em lagos tropicais brasileiros, a abundância relativa de Cyanophyceae foi correlacionada, positivamente, com a temperatura, mas não com o pH ou o fósforo total.

As densidades relativas de Chlorophyceae foram semelhantes no controle e no tratamento N+ e menores com adição de P+ e NP+. Em Fermino (2006), a densidade dessa classe também foi maior no controle e não ocorreu aumento com o enriquecimento artificial.

Como ocorrido no tratamento frio, a redução acentuada de Cyanophyceae pode ter favorecido o desenvolvimento e o consequente aumento na densidade relativa das demais classes, como Zygnemaphyceae com a adição de nutrientes. A densidade relativa de Zygnemaphyceae foi maior nos tratamentos com adição de nutrientes, principalmente em NP+, do que no controle, seguido por P+ e N+. Essa classe apresentou correlação negativa com as concentrações de fósforo

total e ortofosfato. No estudo de Vercellino (2007), no tratamento mais enriquecido com P (hipereutrófico), houve nítido aumento de Chlorophyceae e diminuição de Zygnemaphyceae. Segundo Coesel (1996), a maioria dos táxons dessa classe é de hábitat oligotrófico a mesotrófico.

As densidades relativas de Chlamydomonadeae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Xanthophyceae e Chrysophyceae foram maiores nos tratamentos com adição de P, principalmente, e estiveram correlacionadas, positivamente, com as concentrações de fósforo total e ortofosfato. Segundo Vercellino (2007), espécies de *Chlamydomonas* têm apresentado ampla tolerância às condições tróficas e estiveram associadas à elevada disponibilidade de NP. Em Fermino (2006), Cryptophyceae foi expressiva no tratamento com adição combinada de NP, com densidades variando de 30 a 57%. No presente experimento, no controle, as classes Chlamydomonadeae e Cryptophyceae só estiveram presentes no estágio inicial (16º dia) e final (31º). Já nos tratamentos com adição de nutrientes, essas classes ocorreram em todos os dias de sucessão e em densidades maiores do que no controle, atingindo 7% no tratamento P+.

Conclui-se com este estudo que a diminuição de temperatura afetou a abundância das classes de algas perifíticas, como pode ser observado, principalmente pela redução de Cyanophyceae e pelo aumento de Zygnemaphyceae. O enriquecimento artificial de nutrientes, principalmente P, alterou a estrutura da comunidade de algas perifíticas. As densidades relativas das classes, em geral, aumentaram com a adição de nutrientes.

Considerando a importância da comunidade perifítica na produtividade do ecossistema e a retenção dos nutrientes pelos reservatórios a montante da planície de inundação, principalmente o fósforo, alerta-se para possíveis alterações futuras na cadeia trófica do sistema.

Agradecimentos

Aos biólogos e técnicos do Nupelia, pelo suporte técnico-científico; à Capes, pela concessão da bolsa de Doutorado à primeira autora; ao CNPq, pela bolsa de produtividade de L. R.; ao Timothy J. Joko-Veltman, pela tradução do resumo. Este trabalho está inserido no Projeto PELD – Pesquisas Ecológicas de Longa Duração / CNPq, ‘A Planície Alagável do Alto Rio Paraná’ – Sítio 6.

Referências

ALGARTE, V. M.; MORESCO, C.; RODRIGUES, L. Algas do perifiton de distintos ambientes na planície de

inundação do alto rio Paraná. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 28, n. 3, p. 243-251, 2006.

BARCELOS, E. M. **Avaliação do perifiton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo)**. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos)–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BERRY, H. A.; LEMBI, C. A. Effects of temperature and irradiance on the seasonal variation of a *Spirogyra* (Chlorophyta) population in a Midwestern Lake (U.S.A.). **Journal of Phycology**, v. 36, n. 5, p. 841-851, 2000.

BICUDO, D. C. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifiton. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 3, n. 1, p. 459-475, 1990.

BOUTERFAS, R.; BEUKOURA, M.; DAUTA, A. Light and temperature effects on the growth rate of three freshwater algae isolated from a eutrophic lake. **Hydrobiologia**, v. 489, n. 1-3, p. 207-217, 2002.

BRESSAN, F. A. **Fatores reguladores da dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba-Raju no reservatório Tabocas, Caruaru, PE**. 2001. 35f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Botânica)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CERRAO, G. C.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SANTOS, M. J.; RIGOLIN, O. Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifiton em tanques artificiais na Represa do Lobo (Broa). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 51, n. 1, p. 71-78, 1991.

CHU, Z.; XIANGCAN, J.; IWAMI, N.; INAMORI, Y. The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system. **Hydrobiologia**, v. 581, n. 1, p. 217-223, 2007.

COESEL, P. F. M. Biogeography of desmids. **Hydrobiologia**, v. 336, n. 1-3, p. 41-53, 1996.

COESEL, P. F. M.; WARDENAR, K. Growth responses of planktonic desmid species in a temperature: light gradient. **Freshwater Biology**, v. 23, n. 3, p. 551-560, 1990.

ENGLE, D. L.; MELACK, J. M. Consequences of riverine flooding for seston and the periphyton of floating meadows in a Amazon floodplain lake. **Limnology Oceanography**, v. 38, n. 7, p. 1500-1520, 1993.

FERMINO, F. S. **Avaliação sazonal dos efeitos de enriquecimento por N e P sobre o perifiton em represa tropical rasa mesotrófica (Lago das Ninféas, São Paulo)**. 2006. 121f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal)–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006.

FERRAGUT, C. **Efeito do enriquecimento por nitrogênio e fósforo sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório raso oligotrófico em São Paulo**. 1999. 190f. (Mestrado em Ciências Biológicas)–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

- FERRAGUT, C. **Respostas das algas perifíticas e planctônicas à manipulação de nutrientes (N e P) em reservatório urbano (Lago do IAG, São Paulo)**. 2004. 184f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal)–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- FONSECA, I. **Comunidade perifítica, com ênfase para cianobactérias, em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná**. 2004. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.
- FONSECA, I. A.; RODRIGUES, L. Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, n. 1, p. 21-28, 2005.
- GRAHAM, J. M.; ARANCIBIA-AVILA, P.; GRAHAM, L. E. Physiological ecology of a species of the filamentous green alga *Mougeotia* under acidic conditions: Light and temperature effects on photosynthesis and respiration. **Limnology Oceanography**, v. 41, n. 2, p. 253-262, 1996.
- HAVENS, K. E.; EAST, T. L. E.; MEEKER, R. H.; DAVIS, W. P.; STEINMAN, A. D. Phytoplankton and periphyton responses to *in situ* experimental nutrient enrichment in a shallow subtropical lake. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 4, p. 551-566, 1996.
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C. L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian water. **Hydrobiologia**, v. 424, n. 1-3, p. 67-77, 2000.
- HUSZAR, V. L. M.; BICUDO, D. C.; GIANI, A.; FERRAGUT, C.; MARTINELLI, L. A.; HENRY, R. Subsídios para compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e do perifíton em ecossistemas continentais lênticos do Brasil. In: ROLAND, F. D.; CESAR, D.; MARINHO, M. (Ed.). **Lições de limnologia**. São Carlos: Rima, 2005. p. 243-260.
- HYENSTRAND, P.; BURKERT, U.; PETTERSSON, A.; BLOMQVIST, P. Competition between the green alga *Scenedesmus* and the cyanobacterium *Synechococcus* under different modes of inorganic nitrogen supply. **Hydrobiologia**, v. 435, n. 1-3, p. 91-98, 2000.
- LEANDRINI, J. A. **Perifíton – Diatomáceas e biomassa- em sistemas semilóticos da planície de inundação do alto rio Paraná**. 2006. 108f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.
- MACKERETH, F. Y. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. Cumbria: Freshwater Biological Association, 1978.
- McCABE, S. K.; CYR, H. Environmental variability influences the structure of benthic algae communities in an oligotrophic lake. **Oikos**, v. 115, n. 2, p. 197-206, 2006.
- McCORMICK, P. V.; O'DELL, M. B. Quantifying periphyton responses to phosphorus in the Florida Everglades: a synoptic-experimental approach. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 15, n. 4, p. 450-468, 1996.
- McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **Multivariate analysis of ecological data: version 4.0**. Oregon: MjM Software, 1999.
- MENDES, R. S.; BARBOSA, F. A. R. Efeito do enriquecimento *in situ* sobre a biomassa da comunidade perifítica de um córrego de altitude na Serra do Cipó (M.G.). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, n. 2, p. 77-86, 2002.
- MOSSER, J. L.; BROCK, T. D. Effect of wide temperature fluctuation on the blue-green algae of Bead Geyser, Yellowstone National Park. **Limnology Oceanography**, v. 16, n. 4, p. 640-645, 1971.
- OLSEN, Y.; VADDTEIN, O.; ANDERSEN, T. Competition between *Staurastrum luetkemullerii* (Chlorophyceae) and *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) under varying modes of phosphate supply. **Journal of Phycology**, v. 25, p. 499-508, 1989.
- PAERL, H. W. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). In: SANDGREEN, C.D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. cap. 7, p. 261-315.
- PICK, F. R.; LEAN, D. R. S. The role of macronutrients (C, N, P) in controlling cyanobacterial dominance in temperate lakes. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 21, p. 425-434, 1987.
- REYNOLDS, C. S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? **Hydrobiologia**, v. 369/370, p. 11-26, 1998.
- RHEE, G. Y.; GOTHAM, I. J. The effect of environmental factors on phytoplankton growth: Temperature and the interactions of temperature with nutrient limitation. **Limnology Oceanography**, v. 26, n. 4, p. 635-648, 1981.
- ROBARTS, R. D.; ZOHARY, T. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of boom-forming cyanobacteria. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 21, p. 391-399, 1987.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D. C. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 3, p. 235-248, 2001.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D. C. Periphytic algae. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). **The upper Paraná river and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation**. The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004. cap. 6, p. 125-143.
- RODRIGUES, L.; BICUDO, D. C.; MOSCHINI-CARLOS, V. O papel do perifíton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2003. cap. 10, p. 211-230.
- ROS, J. **Prácticas de ecología**. Barcelona: Omega, 1979.
- SALMASO, N. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. **Hydrobiologia**, v. 438, n. 1-3, p. 43-63, 2000.

- SAND-JENSEN, K. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. In: WETZEL, R. G. (Ed.). **Periphyton of freshwater ecosystem**. The Netherlands: Dr. W. Junk Publishers, 1983. p. 63-71.
- SHAPIRO, J. Blue-green algae: why they became dominant. **Science**, v. 179, n. 4071, p. 382-384, 1973.
- SMITH, V. H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in Lake Phytoplankton. **Science**, v. 221, n. 4611, p. 669-670, 1983.
- SOMPONG, U.; HAWKINS, P. R.; BESLEY, C.; PEERAPORNPIPAL, Y. The distribution of cyanobacteria across physical and chemical gradients in hot springs in northern Thailand. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 52, n. 3, p. 365-376, 2005.
- SPIJKERMAN, E.; COESEL, P. F. M. Different response mechanisms of two planktonic desmid species (Chlorophyceae) to a single saturating additions of phosphate. **Journal of Phycology**, v. 34, n. 3, p. 438-445, 1998.
- STATSOFT Inc. **Statistica (data analysis software system)**: version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- STEVENSON, R. J.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, L. **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. New York: Academic Press, 1996.
- SUZUKI, M. S. **Mudanças na estrutura e sucessão das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas da lagoa do Infernã (SP), causadas pelo processo de enriquecimento artificial**. 1991. 165f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)–Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1991.
- TILMAN, D.; KIESLING, R.; STERNER, R.; KILHAM, S. S.; JOHNSON, F. A. Green, bluegreen and diatom algae: Taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 106, n. 4, p. 473-485, 1986.
- TSUJIMURA, S.; ISHIKAWA, K.; TSUKADA, H. Effect of temperature on growth of the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* in Lake Biwa and Lake Yogo. **Phycological Research**, v. 49, n. 4, p. 275-280, 2001.
- UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. **Mitteilungen. Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, p. 1-38, 1958.
- VERCELLINO, I. S. **Respostas do perifiton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo)**. 2007. 176f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Biologia Vegetal)–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.
- YAMAMOTO, Y.; NAKAHARA, H. The formation and degradation of cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* blooms: the importance of pH, water temperature, and day length. **Limnology**, Tokyo, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2005.
- ZAGATTO, E. A. G.; REIS, B. F.; BERGAMIN, H.; PESSENDA, L. C. R.; MORTATTI, J.; GENE, M. F. **Manual de análises de plantas empregando sistemas de injeção de fluxo**. Piracicaba: Universidade de São Paulo-Esalq, 1981.

Received on April 1, 2008.

Accepted on October 3, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.