

MAYARA RIBEIRO CASARTELLI

**Dinâmica das comunidades algais (fitoplâncton,
epipélon, epifíton) e suas inter-relações em
diferentes fases limnológicas em uma lagoa
marginal**

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da
Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de
DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL
E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração
de Plantas Avasculares e Fungos.

SÃO PAULO

2019

MAYARA RIBEIRO CASARTELLI

**Dinâmica das comunidades algais (fitoplâncton,
epipélon, epifíton) e suas inter-relações em
diferentes fases limnológicas em uma lagoa
marginal**

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da
Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de
DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL
E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração
de Plantas Avasculares e Fungos.

ORIENTADORA: DRA. CARLA FERRAGUT

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Casartelli, Mayara Ribeiro
C335d Dinâmica das comunidades algais (fitoplâncton, epipélton, epifítton) e suas inter-relações em diferentes fases limnológicas em uma lagoa marginal / Mayara Ribeiro Casartelli -- São Paulo, 2019.
92p. il.

Tese (Doutorado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2019.
Bibliografia.

1. Algas. 2. Lagoa marginal. 3. Estrutura da comunidade. I. Título.

CDU: 582.26

*A todas as mulheres cientistas,
pesquisadoras, professoras, e intelectuais
que vieram antes de mim, as
contemporâneas a mim e as futuras
gerações. Dedico.*

“Não sei crer em algo que não questiono”.

Hipátia de Alexandria (matemática, filósofa neoplatônica e pagã)

[As mulheres] “Divididas são fraqueza. Juntas, serão uma força”.

Bertha Maria Júlia Lutz (bióloga e pioneira do feminismo no Brasil)

“A vida não é fácil para nenhum de nós. Mas e daí? Nós devemos ter persistência e, acima de tudo, confiança em nós mesmos. Devemos acreditar que somos talentosos em alguma coisa, e que essa coisa, a qualquer custo, deve ser alcançada”.

Marie Skłodowska Curie (matemática e física, primeira mulher a ser laureada com um Prêmio Nobel)

“Ciência e a vida cotidiana não podem e não devem ser separadas”

Rosalind Elsie Franklin (química e responsável pela descoberta da estrutura de dupla hélice da molécula de DNA)

Agradecimentos

À minha orientadora, Dra. Carla Ferragut, pela orientação, por estar sempre disponível a atender minhas dúvidas, pela dedicação, paciência e por ter me acolhido desde a iniciação científica.

Ao Dr. Raoul Henry por disponibilizar irrestritamente a infraestrutura para a realização das coletas e análises na Lagoa do Barbosa. Sem o senhor este trabalho não teria sido possível. Obrigada pela disponibilidade, colaboração, sugestões e opiniões. O senhor sempre foi uma das minhas maiores inspirações, eu lia seus artigos de limnologia lá na graduação e pensava se um dia teria a sorte de conhecê-lo. Conheci e ainda tive a oportunidade de realizar um trabalho lindo ao lado do senhor. Obrigada por essa oportunidade e por poder aprender ainda mais sobre limnologia e sobre a vida. Minha admiração só aumenta e é sempre um prazer estar com o senhor!

À Dra. Denise de Campos Bicudo por passar de forma tão didática seus conhecimentos dentro e fora das disciplinas, por sempre acreditar no meu trabalho, pela convivência sempre agradável, pelas risadas nos cafés, pela preocupação e carinho com que sempre me tratou e pela amizade. Foi um prazer poder trabalhar com você por todos esses anos.

Ao Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo pela disposição de seu acervo particular, e por compartilhar sempre com muito bom humor suas histórias e conhecimentos. Agradeço a oportunidade de ter convivido com um dos maiores nomes da limnologia brasileira.

À Dra. Ilka Schincariol Vercellino por ter me mostrado o mundo da limnologia e pelas contribuições feitas no Exame de Qualificação. Agradeço também por sempre ter me incentivado, por estar sempre presente, pela confiança, pelos conselhos valiosos, pela amizade e carinho. Obrigada por me mostrar a porta e me ajudar a atravessá-la.

À Dra. Maria Tereza Grombone Guaratini e o Me. Marco Aurélio da Mata Gonçalves

Torres pela ajuda nos procedimentos e identificação de compostos fitotóxicos do *Myriophyllum aquaticum*, macrófita utilizada como substrato para o epífiton neste trabalho.

Ao Dr. Eduardo Pereira Cabral Gomes e à Dra. Andréa Tucci pelas contribuições e sugestões feitas no Exame de Qualificação.

Ao Leonardo Tivo, pela ajuda dada na realização da batimetria e elaboração do mapa batimétrico da Lagoa do Barbosa.

À excelente e sempre bem humorada equipe do Laboratório de Ecologia Aquática, Angela Maria da Silva, Camila Araújo, Diego Alberto Tavares, Elaine Bartozek, Elton Lehmkuhl, Krysna Stephanny, Lívia Costa, Lucineide Santana, Luysa Amaral, Richard Lambrecht, Ruan Oliveira, Simone Alves, Simone Wengrat, Stéfano Zorzal e Thiago R. dos Santos. Obrigada pela preciosa ajuda nos dias de coleta, pela convivência e amizade. Sentirei saudades de todos!

Às queridas colegas de trabalho da UNESP de Botucatu, Carolina Silva, Daniela Cesar, Maria Carolina Castilho, Mariana Furtado e Natalia Kaori pela ajuda e parceria nos dias de coleta e análises, convivência, aprendizados e colaboração durante o trabalho. Meu agradecimento especial para a Maria Carolina Castilho por me receber em sua casa durante uma disciplina e pela amizade.

À Amariles Souza e Maria Auxiliadora (Dorinha), pela imensa ajuda dada nos dias de coleta e de análises laboratoriais e pela dedicação e cuidado com as vidrarias. Obrigada pelos cafés, comemorações e momentos de descontração. Especialmente, agradeço à Dorinha pela amizade, por se aventurar com a gente na Lagoa do Barbosa, pelos vários dias que passamos juntas, por se preocupar sempre com a minha saúde, pelo cuidado e preocupação comigo durante todo esse tempo. Nossa amizade só cresceu nesses últimos 4 anos e sei que conquistei uma amiga para sempre.

Aos técnicos da UNESP de Botucatu, Hamilton, Miguel e Joaquim pela ajuda nas coletas, pelos deliciosos almoços e cafés, parceria e companhia. A ajuda de vocês foi

essencial para a realização deste trabalho.

Ao Thiago R. dos Santos meus mais sinceros agradecimentos pela enorme ajuda que você me deu antes e no início do doutorado. Quando eu não pude participar ele disponibilizou de seu tempo para me ajudar e fez coletas e análises por mim. Sem você este trabalho também não teria sido possível. Estou sempre aqui, para o que você precisar.

A todos os pesquisadores, alunos e funcionários do Núcleo de Pesquisas em Ecologia, pelas conversas, aprendizados, apoio e convivência agradável no desenvolvimento do trabalho. Foi um prazer enorme dividir minha rotina durante todos esses anos com vocês.

Ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela infraestrutura disponibilizada, auxílio nas coletas e uso irrestrito do laboratório e equipamentos do Núcleo de Pesquisas em Ecologia. Além de proporcionar um local de trabalho onde posso estar sempre em contato com a natureza, o que tornou meus dias melhores.

Ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo pelo acolhimento e pelas disciplinas oferecidas que foram essenciais para a realização deste trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado concedida.

Aos pós-graduandos do Instituto de Botânica por compartilharem informações acadêmicas, pelas dúvidas esclarecidas, pelo auxílio e apoio durante o pedido formal de prorrogação das bolsas de doutorado na PG. E principalmente por compartilharem os momentos de risadas, descontração, as alegrias e tristezas.

À Alexandra Elbakyan, por facilitar o acesso ao conhecimento científico.

Às minhas queridas amigas Carol (e agora o Luquinhas), Camila Rosal, Gaby, Lucineide, Simone Wengrat e Cássia por estarem sempre comigo, sempre prontas a me ajudar

nos momentos difíceis e comemorar comigo as conquistas, por todas as palavras lindas que vocês me disseram e pelo incentivo constante. Adoro vocês.

À Marcela e Camila Araújo pela amizade linda que cultivamos no final do doutorado, por todos os dias juntas na salinha, pelas Cocas e pipocas, pelas risadas, apoio, carinho e por toda força que vocês me deram na reta final, foi essencial. Vocês não imaginam o quanto a amizade de vocês é importante para mim. Estarei sempre torcendo pelo sucesso de vocês.

À Samantha, minha irmã científica e de coração que esteve do meu lado por esses nove anos de pesquisa e dividiu comigo os momentos felizes, me ajudou nos difíceis, sempre torceu por mim, me incentivou e ajudou quando eu não estava bem. Sempre estava pronta a dar força, a me lembrar de que eu ia conseguir sim, e sempre cuidou de mim. Obrigada querida, esses anos não teriam tido a mesma alegria sem você. Tenho muito sorte por tê-la ao meu lado e estarei sempre aqui, torcendo por você e dividindo tantos outros momentos que ainda estão por vir.

À minha querida amiga/irmã de coração Laís, por ter estado do meu lado em todos os momentos, por me incentivar sempre, por todas as palavras, viagens juntas, disciplinas, por sempre me fazer enxergar o lado bom de todas as situações, por ser sempre sensata em suas opiniões, por ter compartilhado tantas experiências e por ter me ensinado a olhar a vida com outros olhos. Você é uma pessoa inspiradora. Sua amizade é um dos presentes que ganhei durante o doutorado.

Às minhas lindas e queridas irmãs/amigas Gabi e Marina, pela parceria e amizade e por me deixar dividir experiências e vivências. Obrigada por sempre me estimularem a me tornar uma pessoa melhor.

Aos meus pais queridos Suely e Ubajara por sempre acreditarem em mim, por todo apoio incondicional que me deram e por me deixarem livre para seguir a minha vocação e paixão. Foram que vocês que plantaram a semente da ciência em mim. Obrigada por despertarem o melhor em mim e me darem todo seu amor. Sem vocês eu não teria conseguido. Amo vocês.

Índice

Resumo geral.....	2
General abstract.....	3
Introdução geral.....	4
Conclusão geral.....	84
Anexo.....	86

Capítulo 1. Profundidade e volume da água como direcionadores das variações de clorofila a no perifíton (epipélton, epífiton) e fitoplâncton em uma lagoa marginal rasa

1. Introdução.....	10
2. Material e Métodos.....	12
3. Resultados.....	18
4. Discussão.....	29

Capítulo 2. Dinâmica temporal e espacial da estrutura taxonômica da comunidade de algas epifíticas e fitoplanctônicas e suas inter-relações em uma lagoa marginal

1. Introdução.....	33
2. Material e Métodos.....	36
3. Resultados.....	39
4. Discussão.....	57

Resumo geral

Lagoas marginais são ambientes favoráveis para o desenvolvimento das comunidades algais perifíticas e planctônicas, pois são ambientes rasos e lênticos durante a maior parte do ciclo hidrológico. Considerando que as interações físicas, químicas e biológicas entre habitat pelágico, bentônico e litorâneo são potencialmente maiores em sistemas rasos, o presente estudo pretende compreender a estrutura e dinâmica das comunidades fitoplanctônicas, epifíticas, epipélicas em lagoa marginal, visando identificar os principais fatores ambientais que influenciam a dinâmica destas comunidades. O trabalho foi realizado na Lagoa do Barbosa (Rio Paranapanema, São Paulo). Amostragens mensais e bimensais para a determinação das variáveis físicas e químicas da água e das comunidades algais (fitoplâncton, epifíton e epipélon) foram realizadas em três pontos da zona pelágica, da parte mais profunda e da parte mais rasa da zona litorânea, totalizando 9 pontos de amostragem. Clorofila *a*, densidade, formas de vida, espécies descritoras, riqueza, diversidade e similaridade de espécies foram as variáveis analisadas no fitoplâncton e perifíton. Foram encontradas duas fases limnológicas diferentes, as quais foram relacionadas à redução de volume na lagoa. Constatou-se que a maior biomassa fotossintética do fitoplâncton, epipelon e epifíton ocorreu durante a Fase 1 na zona pelágica e litorânea funda, quando houve maior disponibilidade de nitrogênio e a elevada abundância de *Myriophyllum aquaticum* que favoreceram as comunidades algais. Duas espécies de *Chromulina* foram as espécies mais importantes durante a fase 1 em todas as zonas e *Staurodesmus mamillatus* foi descritora do fitoplâncton e epifíton na fase 2, apenas na zona litorânea rasa. A diversidade, riqueza e similaridade entre fitoplâncton e epifíton, aumentaram com a diminuição do volume e da profundidade da lagoa, principalmente na zona litorânea rasa. Conclui-se que, a diminuição do volume e da profundidade da lagoa foram os principais direcionadores da dinâmica da biomassa, estrutura taxonômica e similaridade das comunidades algais. A zonação horizontal da lagoa parece ter causado uma maior associação entre as comunidades algais de habitats distintos

Palavras-chave: fases limnológicas, biomassa fotossintética, riqueza, diversidade, zonação.

General abstract

Marginal lagoons are suitable environments to the development of periphytic and planktonic algal communities because of their shallow and lentic features during most of the hydrological cycle. Considering that the physical, chemical and biological interactions among pelagic, benthic and littoral habitats are potentially larger in shallow systems, this study intended to understand the structure and the dynamics of the phytoplankton, epiphytic and epipelagic communities in a marginal lagoon. The described approach allowed the identification of the main environmental drivers that influenced the dynamics of the Barbosa Lagoon (Paranapanema River, Brazil) communities. The samples of the physical and chemical variables of the water and algal communities (i.e., phytoplankton, epiphyton and epipelon) in the pelagic zone, the deepest part and the shallowest part of the littoral zone (3 samples each, 9 samples in total at each campaign) were performed monthly and bi-monthly. The variables analyzed in phytoplankton and periphyton were the chlorophyll *a*, the density, the life forms, the descriptor species, and the species richness, diversity, and similarity. Two different limnological phases were found because of the constant water volume fluctuation in the pond throughout the year as a response to the extreme drought. The greatest photosynthetic biomass of the phytoplankton, the epipelon, and the epiphyton was diagnosed during Phase 1 of the deep pelagic and littoral zones with higher availability of nitrogen and higher abundance of *Myriophyllum aquaticum* when both favored the algal communities. Two species of *Chromulina* were the most important ones during the Phase 1 to all zones, while *Staurodesmus mamillatus* was a species descriptor of the two algal communities in Phase 2 restricted to the shallow coastal zone. The diversity, the richness and the similarity between the phytoplankton and the epiphyton increased with a decreasing water volume and depth of the lagoon, mainly in the shallow littoral zone. So, the water volume and, consequently, the depth reduction of the lagoon were considered the main drivers of the dynamics of the biomass, the taxonomic structure and the similarity of the algal communities. The lagoon zonation seems to have caused a greater association among the algal communities of the different habitats. The decrease in water volume may have led to habitat loss to algae species in Phase 2 of the pond.

Keywords: limnological phases, photosynthetic biomass, richness, diversity, zonation.

Introdução geral

Os ecossistemas lacustres originados por processos fluviais são muito abundantes no mundo todo, compreendendo cerca de 6% da área global (Goldsborough & Robinson 1996). No Brasil, estes ecossistemas são numerosos e de alta representatividade devido à existência de grandes bacias fluviais (Tundisi 2003). Nestes ambientes ocorre a formação de lagos e lagoas marginais aos rios devido ao transbordamento do rio e a consequente inundação de planícies adjacentes (Junk 1983).

As lagoas marginais caracterizam-se por apresentar grande variação na intensidade, frequência e duração do pulso hidrológico, que são determinadas pela elevação do nível de água no canal do rio e seu extravasamento lateral (Henry 2007, Granado & Henry 2008). Em escala temporal e espacial, as variações hidrométricas implicam em mudanças na estrutura física e química das lagoas marginais. Estas lagoas recebem influência do rio e do ambiente terrestre, os quais introduzem principalmente nutrientes e material particulado (Henry & Nogueira 2007). Junk *et al.* (1989) denominaram de “sistema rio-planície de inundação” as áreas passíveis de inundação adjacentes ao rio e a calha principal do rio. Esse sistema forma uma unidade ecológica formada pela planície de transbordamento, as ilhas, o rio e seus tributários (Junk 1997; Neiff 2003).

O Rio Paranapanema e suas lagoas marginais formam um sistema artificial, pois não possuem o comportamento típico de planícies de inundações, ou seja, as lagoas marginais não estão submetidas a pulsos hidrológicos sazonais e não apresentam limnofase e potamofase típicas (Junk 1997, Neiff 1990, Henry *et al.* 2006). Isso se deve ao fato de que o Rio Paranapanema foi represado e suas áreas naturais de várzea foram eliminadas e a frequência, duração e amplitude dos pulsos de inundação ao longo do ano ocorrem em função do funcionamento e manejo da represa de Jurumirim (Henry *et al.* 2005, Henry *et al.* 2006). Henry (2003) afirmou que a represa atua como um “sistema tampão” dos pulsos hidrológicos e seus tributários. Em estudos realizados nas lagoas marginais com diferentes níveis de

associação ao rio Paranapanema foi constatado que embora o rio e as lagoas laterais formem um sistema artificial, as variações hidrométricas da represa causam mudanças nos fatores físicos e químicos da água nas lagoas marginais, permitindo comparações com resultados obtidos em áreas alagáveis naturais (Granado & Henry 2008, 2014, Granado *et al.* 2009). Apesar de artificiais, as lagoas marginais ao rio Paranapanema apresentam a mesma função ecológica de lagoas de inundação naturais (Henry 2005, Granado & Henry 2014).

Desta forma, as lagoas marginais são ambientes altamente dinâmicos devido à variação do pulso hidrológico, o qual exerce influência sobre a dinâmica dos processos ecológicos, alterando as características físicas e químicas da água e da organização e distribuição das comunidades biológicas (Junk 1996, Thomaz *et al.* 1997). Inúmeros estudos mostraram que o pulso hidrológico tem influência direta sobre a organização das comunidades aquáticas, tais como macroinvertebrados, zooplâncton, fitoplâncton e perifíton (Espíndola *et al.* 1996, Henry 2003, Algarte *et al.* 2006, Arrington & Winemiller 2006, Henry *et al.* 2006, Davanso & Henry 2007, Granado *et al.* 2009).

Em relação ao plâncton e perifíton, as lagoas marginais são ambientes propícios para o desenvolvimento da comunidade de algas perifíticas e planctônicas, pois são ambientes rasos e lênticos na maior parte do ciclo hidrológico e, geralmente, possuem extensa região litorânea com elevada abundância de macrófitas aquáticas (Junk 1980). Tais características tornam as lagoas marginais ambientes de elevada taxa de produtividade primária, como observado nas planícies de inundação do Brasil e da Flórida (Cronk & Mitch 1994, Moschini-Carlos *et al.* 2000).

O presente estudo foi desenvolvido na Lagoa do Barbosa que é uma das lagoas marginais do Rio Paranapanema. Considerando o conhecimento existente sobre a comunidade fitoplanctônica nestas lagoas marginais, Henry *et al.* (2006) analisaram os efeitos da seca prolongada sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica em três lagoas, evidenciando que as alterações temporais na estrutura da comunidade fitoplanctônica parecem estar associadas a

flutuações de velocidade e fluxo de água bem como ao nível hidrológico; Granado *et al.* (2009) e Granado & Henry (2014) concluíram que as mudanças observadas na estrutura da comunidade de algas planctônicas ocorre, principalmente devido ao nível hidrológico do Rio Paranapanema. Em relação ao perifíton, apenas dois trabalhos foram realizados na Represa de Jurumirim. Moschini-Carlos *et al.* (1998, 2000) descreveram a dinâmica da biomassa e da comunidade perifítica em substrato artificial e natural. Estes estudos evidenciaram que o processo de colonização da comunidade perifítica está relacionado principalmente às mudanças sazonais dos fatores ambientais, como temperatura da água e concentração de nutrientes. Especificamente, na Lagoa do Barbosa, há apenas três estudos ecológicos sobre a comunidade de macroinvertebrados e peixes (Shimabukuro 2013, Silva & Henry 2013, Castro *et al.* 2018) e, assim, não há conhecimento sobre a composição de espécies, funcionamento e dinâmicas das comunidades algais.

De modo geral, as algas estão amplamente distribuídas nos ambientes aquáticos e possuem elevada importância para o funcionamento dos ecossistemas, principalmente sistemas lacustres rasos (Vadeboncoeur & Steinman 2002). As algas são importantes produtores primários, compõem a base da cadeia alimentar e participam da ciclagem de nutrientes por meio da interferência nas taxas de renovação e disponibilidade de nutrientes na água (Vadeboncoeur & Steinman 2002, Dodds 2003, Liboriussen & Jeppesen 2003).

Uma característica importante das comunidades algais é a capacidade de mudar a estrutura em função das alterações ambientais, o que pode fornecer valiosas informações sobre os mais diversos impactos, como por exemplo eutrofização e mudanças climáticas (Stevenson & Smol 2003). Outro importante aspecto da comunidade algal é a elevada riqueza de informação decorrente da elevada diversidade de espécies, principalmente no perifíton (Lowe & Pan 1996).

Apesar das comunidades algais contribuírem grandemente para a biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas, poucos estudos observacionais avaliaram conjuntamente a

dinâmica e a estrutura das comunidades algais no plâncton, epifítton e epipélton. Em região temperada, a avaliação conjunta das comunidades algais foi fundamental para o entendimento do funcionamento dos lagos (Liboriussen & Jeppesen 2003, Vadeboncoeur *et al.* 2001; Vadeboncoeur *et al.* 2014). No Brasil, tais estudos são escassos, Taniguchi *et al.* (2005) identificou o regime hidrológico como a principal função de força na interação e intercâmbio de algas no gradiente litorâneo-limnético em lagoas marginais. Recentemente, Santos (2017) e Tavares (2018) avaliaram conjuntamente a dinâmica das comunidades de algas planctônicas e perifíticas em condições naturais e experimentais, respectivamente, em reservatório raso, ambos evidenciaram a importância dos nutrientes na estruturação das comunidades. Tais estudos evidenciaram a inter-relação entre os autótrofos, o que tem reflexo direto sobre o funcionamento do ecossistema. Cardoso *et al.* (2018) analisaram conjuntamente as comunidades fitoplanctônicas, perifíticas e zooplanctônicas em escala espacial de um lago raso e verificaram que os padrões dessas comunidades são dinâmicos e estão relacionados a variabilidade ambiental. Desta forma, a falta do conhecimento sobre a dinâmica e a estrutura das comunidades algais no plâncton, epifítton e epipélton, avaliados conjuntamente, em nível mundial e, particularmente, no Brasil, dificulta o entendimento do funcionamento do ecossistema.

Ecologicamente, as algas possuem requerimentos muito similares, como recursos e habitat, estabelecendo assim comunidades coesas de espécies fortemente interativas e obviamente com um importante papel na produção primária dos ecossistemas aquáticos (Stevenson *et al.* 1996). Justamente por ocuparem nichos semelhantes e próximos e, apesar da distinta organização espacial, as diferentes comunidades algais (fitoplâncton e perifítton) competem pelos mesmos recursos, afetando o crescimento ou taxa de mortalidade uma da outra, temporal e espacialmente (Odum, 1983, Havens *et al.* 1996, Steinman *et al.* 1997).

O fitoplâncton e o perifítton desenvolvem-se em habitat distintos, porém adjacentes e competem por luz e nutrientes, que não estão disponíveis igualmente nos dois habitats

(Vadeboncoeur & Steinman 2002). Portanto, as condições ambientais são determinantes para a forma de interação entre os autótrofos (Odum 1983). Em ambientes oligotróficos, a baixa densidade do fitoplâncton permite que a luz chegue ao fundo do lago e a produtividade alta é mantida pelo epipélon. O contrário ocorre em ambientes eutrofizados, onde a elevada biomassa do fitoplâncton impõe a comunidade bentônica a limitação por luz, podendo excluir essa comunidade (Scheffer *et al.* 1993, Vadeboncoeur & Steinman 2002).

Além da coexistência e interação competitiva, o fitoplâncton e perifíton podem realizar o intercâmbio de espécies algais, por meio da migração de espécies do perifíton para o fitoplâncton devido à perturbações físicas do substrato ou por espécies do fitoplâncton procurando disponibilidade maior de recursos no perifíton (Carrick *et al.* 1993, Havens *et al.* 1996, Werner & Köhler 2005). Estudos de intercâmbio populacional podem trazer elucidacões importantes sobre os padrões de flutuação espacial e temporal das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas, uma vez que estes padrões, muitas vezes, não estão apenas associados às condições do meio, mas também com o intercâmbio de espécies e indivíduos de uma comunidade para outra e a possível sobreposição de nichos que ambas as comunidades ocupam (Brown & Austin 1973, Roeder 1977, Moss 1981, Passy & Legendre 2006).

Habitats distintos combinados a diversos fatores ambientais (por exemplo: disponibilidade de luz e nutrientes) contribuem para a variabilidade espacial e temporal das assembleias algais nos ecossistemas aquáticos (Burkholder 1996; Stevenson, 1996). Habitats diferentes permitem a sustentação de diferentes comunidades algais (McCormick *et al.* 1998, Hillebrand & Kahlert 2001).

Considerando que as interações físicas, químicas e biológicas entre habitat pelágico, bentônico e litorâneo são potencialmente maiores em sistemas rasos (Schindler & Scheuerell 2002), o presente estudo pretende avaliar a estrutura e dinâmica das comunidades fitoplanctônicas, epifíticas, epipélicas em lagoa marginal, visando identificar os principais fatores ambientais que influenciam a dinâmica destas comunidades. Além disso, pretende-se

comparar os atributos estruturais e a inter-relação (ex. espécies em comum) das comunidades algais (espécies em comum nos diferentes habitats e identificar qual (is) fator (es) ambiental é responsável pela dinâmica das comunidades algais. A relação das informações sobre os produtores primários algais pode promover avanço no entendimento da dinâmica nas lagoas marginais e, ainda, aumentar a percepção sobre os efeitos dos impactos ambientais e a remediação desses impactos. Para responder a essas questões, o presente trabalho foi dividido em dois capítulos:

Capítulo 1: Profundidade e volume da água como direcionadores das variações de clorofila *a* no perifíton (epipélton, epifíton) e fitoplâncton em uma lagoa marginal rasa

Capítulo 2: Dinâmica temporal e espacial da estrutura taxonômica da comunidade de algas epifíticas e fitoplanctônicas e suas inter-relações em uma lagoa marginal

Capítulo 1

Profundidade e volume como direcionadores das variações de biomassa fotossintética no perifíton (epipélton, epifíton) e fitoplâncton em uma lagoa marginal rasa

1. Introdução

Lagoas marginais são ambientes favoráveis para o desenvolvimento de comunidades algais perifíticas e planctônicas, são ambientes rasos e lênticos durante a maior parte do ciclo hidrológico e, geralmente, apresentam região litorânea com alta abundância de macrófitas (Junk 1980). Além disso, as interações físicas, químicas e biológicas entre os habitats pelágicos, bentônicos e litorâneos são potencialmente maiores em ambientes rasos (Schindler & Scheuerell 2002). Essas características tornam as lagoas marginais ambientes com altas taxas de produtividade primária, como observado nas áreas alagáveis do Brasil e da Flórida, EUA (Cronk & Mitch 1994, Moschini-Carlos *et al.* 2000). Apesar de se reconhecer a ocorrência de alta produtividade primária em lagoas marginais, o conhecimento sobre a dinâmica da biomassa das comunidades algais nesses ecossistemas ainda é muito escasso, especialmente em lagoas marginais brasileiras.

As algas são importantes produtores primários, formam a base das cadeias alimentares e desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes e afetam as taxas de renovação e disponibilidade de nutrientes na água (Vadeboncoeur & Steinman 2002, Dodds 2003, Liboriussen & Jeppesen 2003). As diferenças entre tipos de habitat e fatores ambientais são parâmetros que contribuem, com mais variabilidade espacial e temporal, para as assembleias algais (Burkholder 1996, Stevenson 1997). As algas respondem às condições ambientais; no entanto, as respostas nos diferentes tipos de habitats nem sempre são

concordantes (Havens *et al.* 1996). A capacidade das comunidades algais em mudar sua estrutura em função de modificações ambientais é uma característica que fornece informações valiosas sobre os diversos impactos (Stevenson & Smol 2003). As comunidades de algas exibem ampla tolerância às condições ambientais, permitindo a colonização de uma grande variedade de habitats (McCormick 1996). Apesar de sua forma distinta de organização no ambiente, as comunidades podem interagir de formas diferentes, por exemplo, a competição por recursos (luz e nutrientes), especialmente quando o recurso é limitado (Havens *et al.* 1996). Além disso, os grupos de algas também podem exibir um intercâmbio de espécies. Esta troca pode ocorrer através da migração de espécies do perifíton para o fitoplâncton devido a perturbações físicas (Carrick *et al.* 1993) ou através das espécies fitoplanctônicas que buscam melhores condições de recursos no perifíton (Werner & Köhler 2005).

O conhecimento da dinâmica das comunidades algais em diferentes tipos de habitats é essencial para melhor compreensão do funcionamento de lagos, lagoas e reservatórios (Goldsborough & Robinson 1996, Zheng & Stevenson 2006, Cano *et al.* 2008). Apesar do fato de as comunidades algais contribuírem grandemente para o funcionamento dos ecossistemas (Vadeboncoeur *et al.* 2001), há poucos conhecimentos sobre a dinâmica e modificação temporal de produtores primários (ex. Taniguchi *et al.* 2005, Borduqui & Ferragut 2012, Dunck *et al.* 2013). Pesquisas sugerem que as interações competitivas influenciam o equilíbrio entre a produção primária planctônica e perifítica em lagos (Hansson 1988). Assim, investigamos a variabilidade espacial e temporal da biomassa fotossintética do fitoplâncton, epipélton e epifíton (*Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verd. e *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth) nas zonas pelágica e litorânea em uma lagoa marginal rasa. Variações na disponibilidade de luz e nutrientes são comumente as principais fontes de variabilidade da biomassa algal (Goldsborough & Robinson 1996, Scheffer *et al.* 2003). Contudo, estudos mostram que a profundidade da coluna de água pode atuar direta ou indiretamente sobre as mudanças na biomassa algal (Vadeboncoeur *et al.* 2014, Cano *et al.* 2016). Assim, este estudo

investigou a variabilidade espacial e temporal da biomassa fotossintética do fitoplâncton, epipélon e epifíton, bem como sua associação com a variabilidade das condições ambientais. Considerando que variações no pulso hidrológico determinam a dinâmica de lagoas marginais (Junk 1996, Thomaz *et al.* 1997), nossa hipótese é que fatores físicos, como profundidade e volume de água da lagoa, tenham relação com as mudanças na biomassa algal. Especificamente, pretende-se responder à duas questões: a) Qual é a condição limnológica associada ao maior conteúdo de clorofila *a* no plâncton e perifíton? b) Há relação inversa entre o fitoplâncton e o perifíton? Além disso, considerando que a dominância das comunidades algais podem se alternar em função dos diferentes estados de equilíbrio dos ecossistemas lacustres rasos (Scheffer 2003, Goldsborough & Robinson 1996, Santos 2017), nós relacionamos as mudanças do fitoplâncton, epipélon e epifíton com os diferentes estados limnológicos da lagoa. Destaca-se a importância de uma maior compreensão do funcionamento de lagos e reservatórios rasos, especialmente em região tropical, onde há forte interação entre os produtores primários.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Lagoa do Barbosa (23°30'13.11"S e 48°37'45.17"W), uma das lagoas marginais conectada ao Rio Paranapanema (Angatuba, São Paulo) localizada na zona de desembocadura da Represa de Jurumirim (Figura 1). Essa região é uma grande área úmida e classificada como “wetland artificial” de acordo com a classificação de Junk *et al.* (2014).

Esta lagoa é uma das inúmeras lagoas marginais da zona de desembocadura do Rio Paranapanema na Represa de Jurumirim (São Paulo), na região sudoeste do estado de São Paulo (Figura 1A-C). O Rio Paranapanema nasce na serra de Paranapiacaba (leste do Estado) e desemboca no Rio Paraná. É considerado um dos principais afluentes do Alto Rio Paraná no

estado de São Paulo, juntamente com o Tietê e o Grande. O rio flui da costa (Planalto Atlântico) para o interior e sua bacia é classificada como endorréica (Henry & Nogueira 2007). Ao longo do percurso do Rio Paranapanema foi construída uma série de reservatórios em “cascata” com a finalidade de geração de energia elétrica. O primeiro deles é o Reservatório de Jurumirim (Figura 1A), seguido pelas represas de Piraju, Xavantes, Salto Grande, Canoas I e II, Capivara, Taquaraçu e Rosana. Os principais tributários da represa de Jurumirim são os rios Paranapanema e Taquari. Estes rios possuem grande importância na estrutura e organização do sistema como um todo, pois nutrientes e materiais particulados são introduzidos em quantidades diferentes, afetando as condições físicas, químicas e biológicas das zonas a montante do reservatório (Henry & Nogueira 2007).

A lagoa é um ecossistema raso (profundidade média é 1.42 m e a profundidade máxima é 5.50 m), de características oligo-mesotróficas, com área de superfície de 226,29 m², comprimento máximo de 1,1 km, largura máxima de 235 m e volume de 444,4 m³. De acordo com Henry *et al.* (2017 – dados não publicados), a Lagoa do Barbosa é formada por dois compartimentos distintos, uma porção extensa paralela ao Rio Paranapanema e outra porção, mais distante da calha do rio, com formato em “V” invertido. Esse compartimento apresenta grande abundância de macrófitas aquáticas na sua porção terminal, denominada de “zona com plantas”. Na parte central desta zona, há um domínio de *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. (planta enraizada submersa, com pequena parte emersa). Próximo às margens da lagoa, as macrófitas mais abundantes foram *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth (planta enraizada com caules flutuantes) e *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitch. (uma planta emergente enraizada).

A área estudada é caracterizada por dois períodos climáticos durante o ano: o período seco com temperaturas mais baixas (média = 27,8°C) durante o outono e inverno (março a agosto) e um período chuvoso com temperaturas mais altas (média = 31,5°C) durante a primavera e o verão (setembro a fevereiro). Estes dados foram obtidos na Estação

Pluviométrica E5-017 do Departamento de Água e Energia Elétrica (D.A.E.E.) localizado no município de Angatuba (cerca de 25 km do Lago Barbosa - www.hidrologia.dae.gov.br).

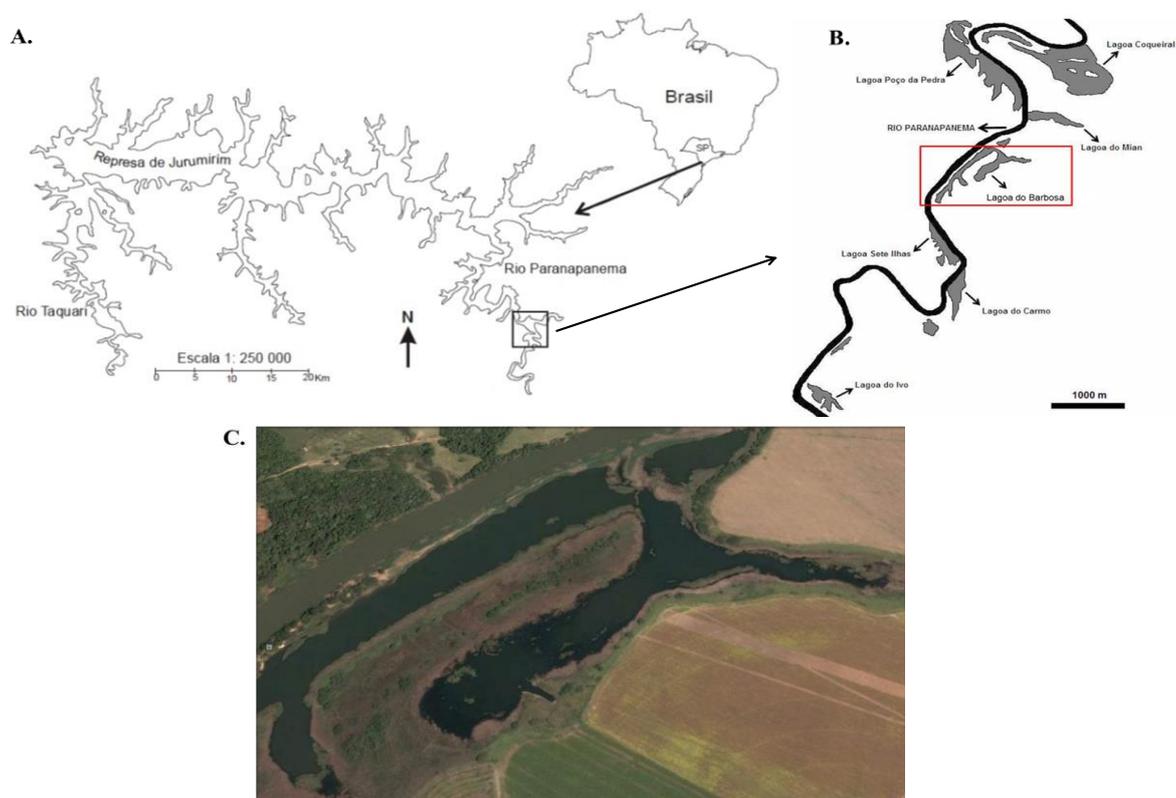


Figura 1. (A) Mapa do Brasil destacando o estado de São Paulo e a Represa de Jurumirim, evidenciando o Rio Paranapanema (Silva & Henry 2013); (B) Trecho do Rio Paranapanema com destaque na Lagoa do Barbosa (Silva & Henry 2013); (C) Lagoa do Barbosa, vista do satélite (Google Earth em 25/03/2014).

2.2. Delineamento amostral

Amostras de água e das comunidades algais foram coletadas em pontos de amostragens fixos na região pelágica e litorânea da lagoa. Os pontos de amostragem foram selecionados em função da profundidade, visando obtenção de amostras representativas das comunidades algais na lagoa. Três pontos de amostragem foram selecionados na parte mais profunda da região pelágica (P; P; 2,2 a 3,9m) e seis pontos na região litorânea: três na parte

mais funda (LF; LF; 0,3 a 1,4m) e três na parte mais rasa (LR; 0,3 a 1,3), totalizando 9 pontos de amostragem (Figura 2). Amostragens mensais (janeiro/2014 a dezembro/2014) foram realizadas para a determinação das variáveis físicas e químicas da água (nutrientes totais) e da biomassa algal das comunidades algais (clorofila *a* do fitoplâncton, epifíton e epipélton). Para a representatividade abiótica e biótica da coluna de água foram coletadas amostras da subsuperfície, meio e 1 metro acima do fundo com a garrafa de Van Dorn e foram manualmente integradas no mesmo frasco nos pontos de amostragem da zona pelágica.

A amostragem das comunidades algais foi feita da seguinte forma:

Fitoplâncton: Uma alíquota da amostra integrada foi separada para determinação do conteúdo de clorofila *a* do fitoplâncton.

Epipélton: Amostras do epipélton foram coletadas com um tubo de acrílico (corer) usando um amostrador de sedimento tipo Kajak em cada ponto de amostragem. O sedimento foi extrudado usando um pistão e o primeiro centímetro do sedimento superficial foi amostrado. O sobrenadante dentro do tubo de coleta foi cuidadosamente removido usando uma mangueira para reduzir a inclusão de plâncton nas amostras epipélicas.

Epifíton: O caule de *M. aquaticum* e o pecíolo de *E. azurea* foram coletados para amostragem do epifíton. A seleção das plantas foi feita aleatoriamente por meio de um sorteio no ponto de amostragem. Para padronização, entrenós de *M. aquaticum* de trinta centímetros (medidos com régua de campo) foram coletados para amostragem de epifíton. O epifíton em *E. azurea* foi amostrado no pecíolo da sexta folha (Fonseca & Rodrigues 2005). No laboratório, os entrenós de *M. aquaticum* e pecíolos de *E. azurea* foram cortados, cuidadosamente raspados com uma escova de cerdas macias e jatos de água destilada para obtenção do material perifítico. Subsequentemente, todos os entrenós foram medidos para a obtenção da área de colonização (área do cilindro).

Amostras coletadas de água, epifíton e do sedimento superficial (epipélton) foram armazenadas em frascos protegidos da luz e transportadas sob baixa temperatura até o laboratório.

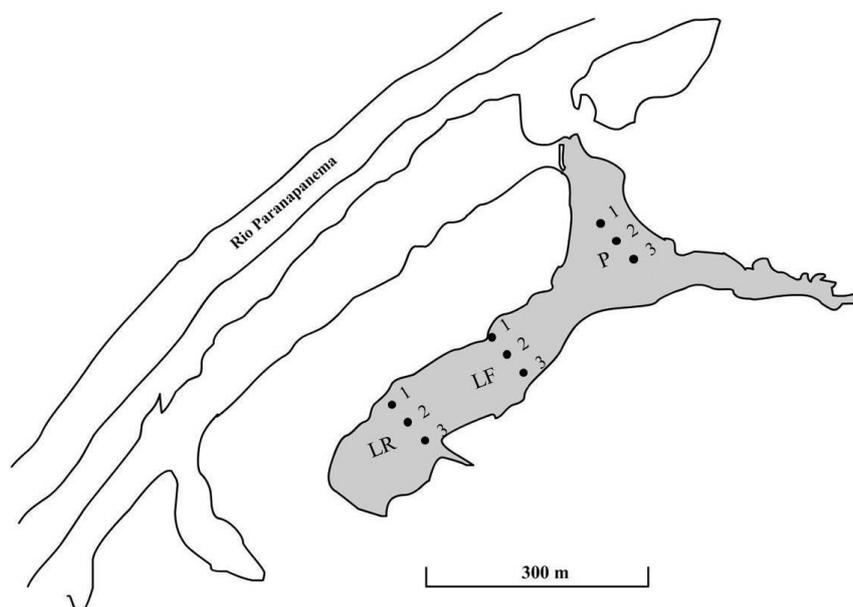


Figura 2. Lagoa do Barbosa, marginal ao Rio Paranapanema com a localização dos pontos de amostragem. Fonte: Henry *et al.* 2017 (dados não publicados). Abreviações: P – região pelágica; LF – região litorânea funda; LR – região litorânea rasa; os números correspondem aos pontos de cada região.

2.2. Variáveis analisadas

Variáveis ambientais

A temperatura da água, condutividade elétrica e pH (Horiba U-50), a transparência (disco Secchi) e a radiação subaquática (Li-Cor LI-250A) foram determinados nos pontos de amostragem. Os valores da precipitação foram fornecidos pela Estação Pluviométrica E5-017 do Departamento de Água e Energia Elétrica (D.A.E.E.) localizado no município de Angatuba (cerca de 25 km do Lago Barbosa - www.hidrologia.dae.gov.br). Os níveis hidrométricos foram disponibilizados pelo setor de operação da barragem da Represa de Jurumirim da

Companhia Duke-Energy. Nos locais de amostragem, o perfil vertical da temperatura da água, a condutividade elétrica e o pH foram determinadas usando uma sonda multiparâmetros (Horiba U-50) e transparência e radiação submersa usando disco Secchi e o luxímetro Li-Cor LI-250A, respectivamente. As concentrações de nitrogênio total e fósforo total (Valderrama 1981), oxigênio dissolvido (Golterman *et al.* 1978) e alcalinidade (Golterman & Clymo 1971) foram determinadas a partir de amostras integradas da coluna de água dos locais de amostragem.

A partir de dados batimétricos, o volume de água da lagoa foi calculado por Henry et al. 2017 – dados não publicados.

Cobertura de macrófitas

A cobertura de macrófitas foi determinada utilizando o método quadrado em cada ponto de amostragem na zona litorânea (Thomaz *et al.* 2004).

Conteúdo de clorofila a

A biomassa fotossintética foi medida pela concentração de clorofila *a* (corrigida pela feofitina) do fitoplâncton, epifítton e epipélton. A concentração de clorofila-*a* foi determinada a partir de amostras filtradas em filtro de fibra de vidro (Whatman GF/F, 0,6-0,7 μm de porosidade), sob baixa pressão (≤ 0.3 atm) e usando etanol como extrator (Sartory & Grobblelar 1984).

2.3. Tratamento estatístico

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar conjuntamente a variabilidade espacial e temporal das condições abióticas da lagoa nos locais de amostragem e ao longo do ano. A PCA foi realizada a partir da matriz de covariância com dados abióticos (com exceção do pH) transformados por $\log(x + 1)$. Um teste de randomização (Monte Carlo

- 999 permutações) foi usado para escolher a dimensão de interpretação do PCA ($p < 0,05$) e o programa estatístico utilizado foi o PC-ORD 6.0 (McCune & Mefford 2011).

O coeficiente de correlação de Pearson ($r > 0,5$; $p < 0,05$) foi usado para medir a relação entre a biomassa fotossintética do fitoplâncton e perifíton e os scores dos dados abióticos dos eixos 1 e 2 da PCA (MINITAB versão 14.1; Minitab Inc., PA, EUA).

3. Resultados

3.1. Condições climáticas e limnológicas

Os menores valores de temperatura média do ar ocorreram nos meses de maio e junho (21,1 °C) e os maiores em fevereiro e março (Figura 3A). Os meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto e outubro apresentaram precipitação pluviométrica abaixo de 100 mm (Figura 3B).

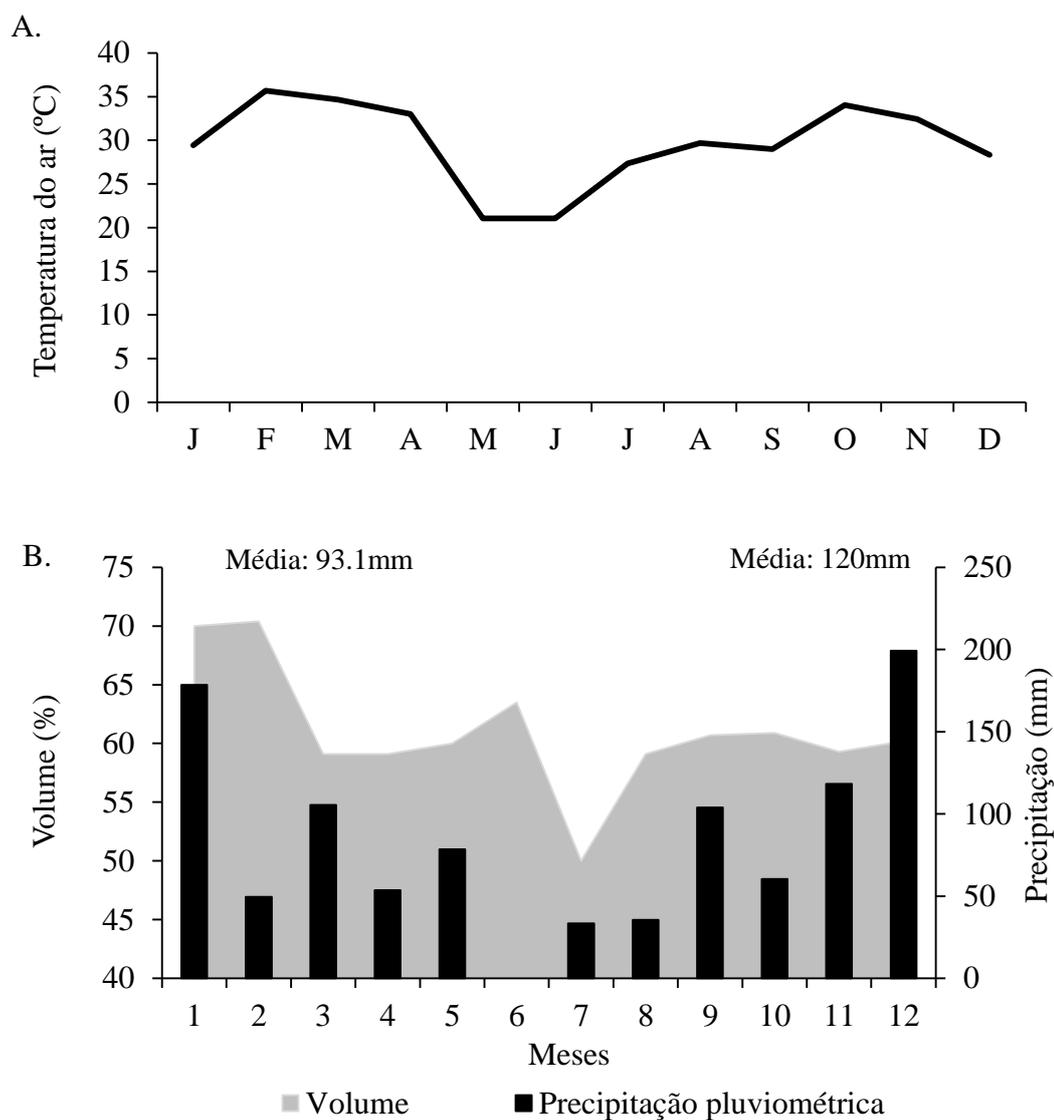


Figura 3. Variação média da temperatura mensal do ar (A), da precipitação acumulada mensal e do volume de água da lagoa (B) durante o período do estudo.

Os maiores níveis de cota de represa de Jurumirim foram registrados em janeiro e fevereiro (565,6m e 564,8m respectivamente; Figura 4). Os valores da cota foram diminuindo ao longo do ano e os menores valores foram registrados em novembro e dezembro de 2014 (561,2m e 561,3m respectivamente).

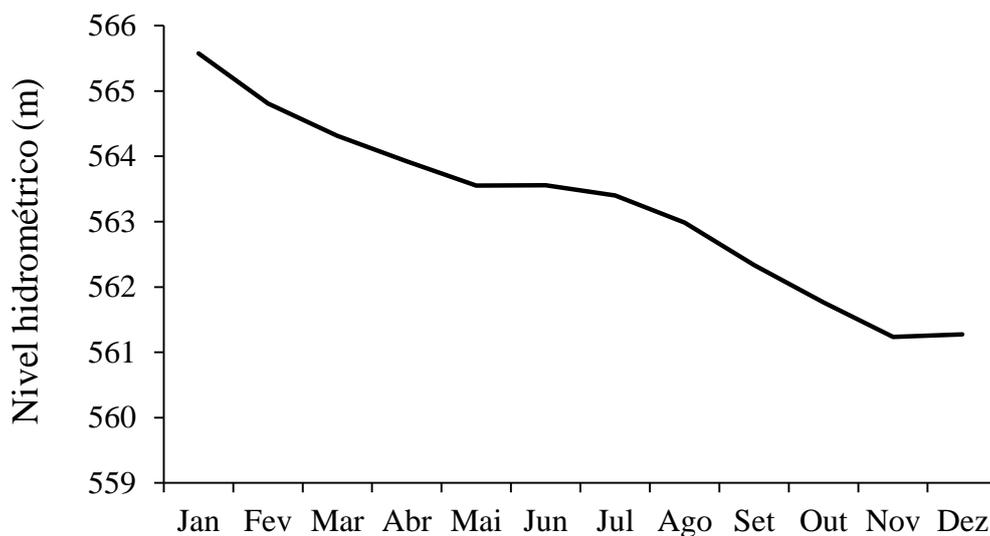


Figura 4. Variação mensal do nível hidrométrico (m) na zona da barragem da Represa de Jurumirim.

A Tabela 1 resume as condições limnológicas na lagoa durante o período de estudo. A concentração de fósforo total, nitrogênio total e coeficiente de atenuação da luz variou temporalmente na zona pelágica, zona litorânea funda e rasa (Figura 5). Verificou-se que a partir de junho-julho houve um aumento da concentração de PT nas três zonas, mas a zona litorânea rasa apresentou as maiores concentrações. Em oposição, as maiores concentrações de NT foram detectadas nos primeiros meses do ano na zona pelágica e litorânea funda, enquanto na zona rasa as maiores concentrações foram detectadas nos meses de abril, maio e junho. Em escala temporal, os menores valores de atenuação da luz ocorreram na zona pelágica e litorânea funda, enquanto os maiores valores ocorreram na zona litorânea funda. Em termos de PT, NT e luz, constatou-se que a zona litorânea rasa diferenciou-se das demais zonas a partir de junho/julho.

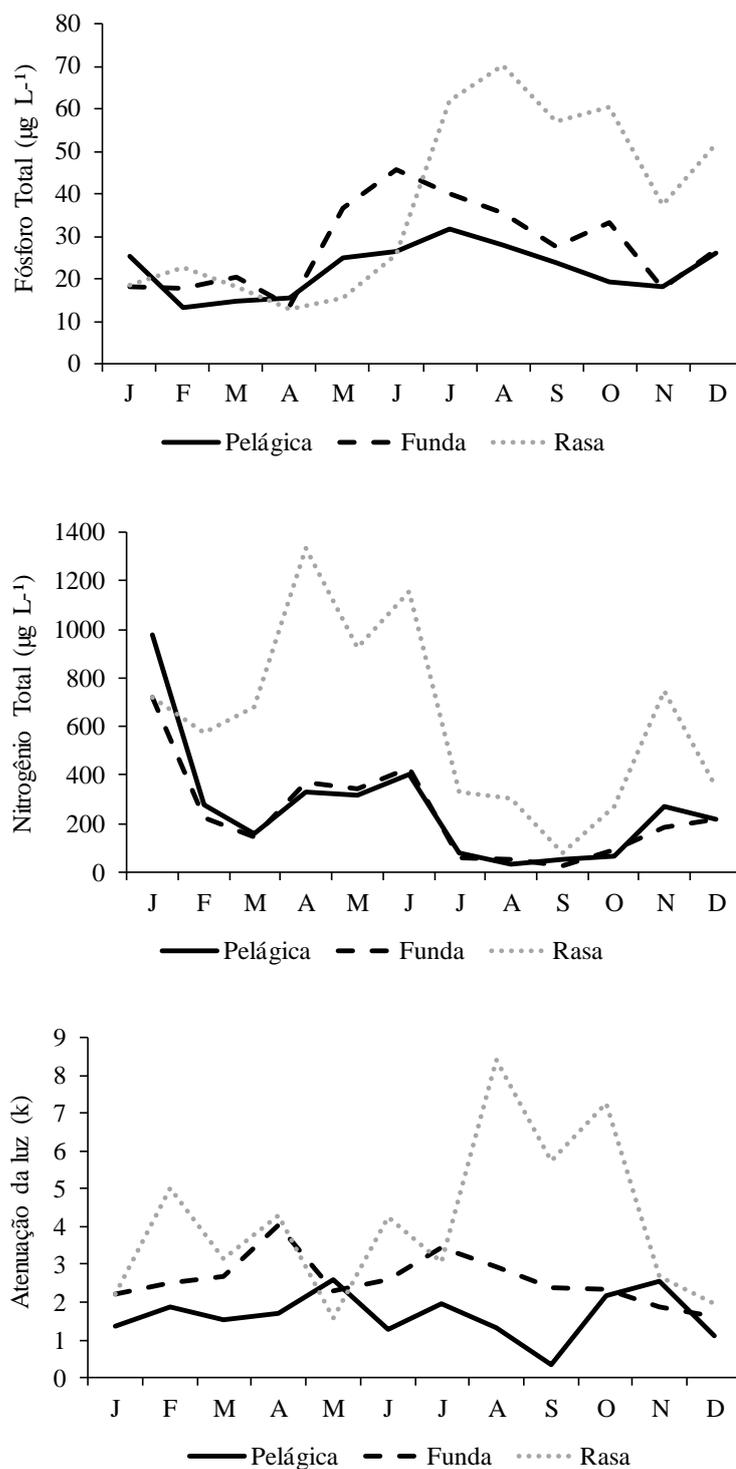


Figura 5. Variação temporal da concentração de fósforo total, nitrogênio total e coeficiente de atenuação da luz na zona pelágica, zona litorânea funda e rasa.

A PCA explicou 80,4% da variabilidade dos dados limnológicos nos dois primeiros eixos de ordenação (Figura 6), que foram considerados significativos usando o teste de

randomização ($p < 0,001$). Os meses de julho a dezembro foram ordenados no lado positivo do eixo 1 e apresentaram alta correlação com PT ($r < 0,5$). Em oposição, no lado negativo do eixo 1, foram ordenados os meses de janeiro a junho, os quais foram correlacionados com altas concentrações de NT e com a razão NT:PT ($r < -0,8$). No lado positivo do eixo 2, foram ordenadas a maioria das unidades amostrais da zona pelágica e, no lado negativo, as unidades da zona litorânea. As variáveis mais importantes para a ordenação no eixo 2 foram profundidade, disponibilidade de luz e material particulado. O eixo PCA 1 representou a variação temporal das condições limnológicas e o eixo 2 a variabilidade espacial. A ordenação dos dados ambientais evidenciou a ocorrência de duas fases limnológicas distintas.

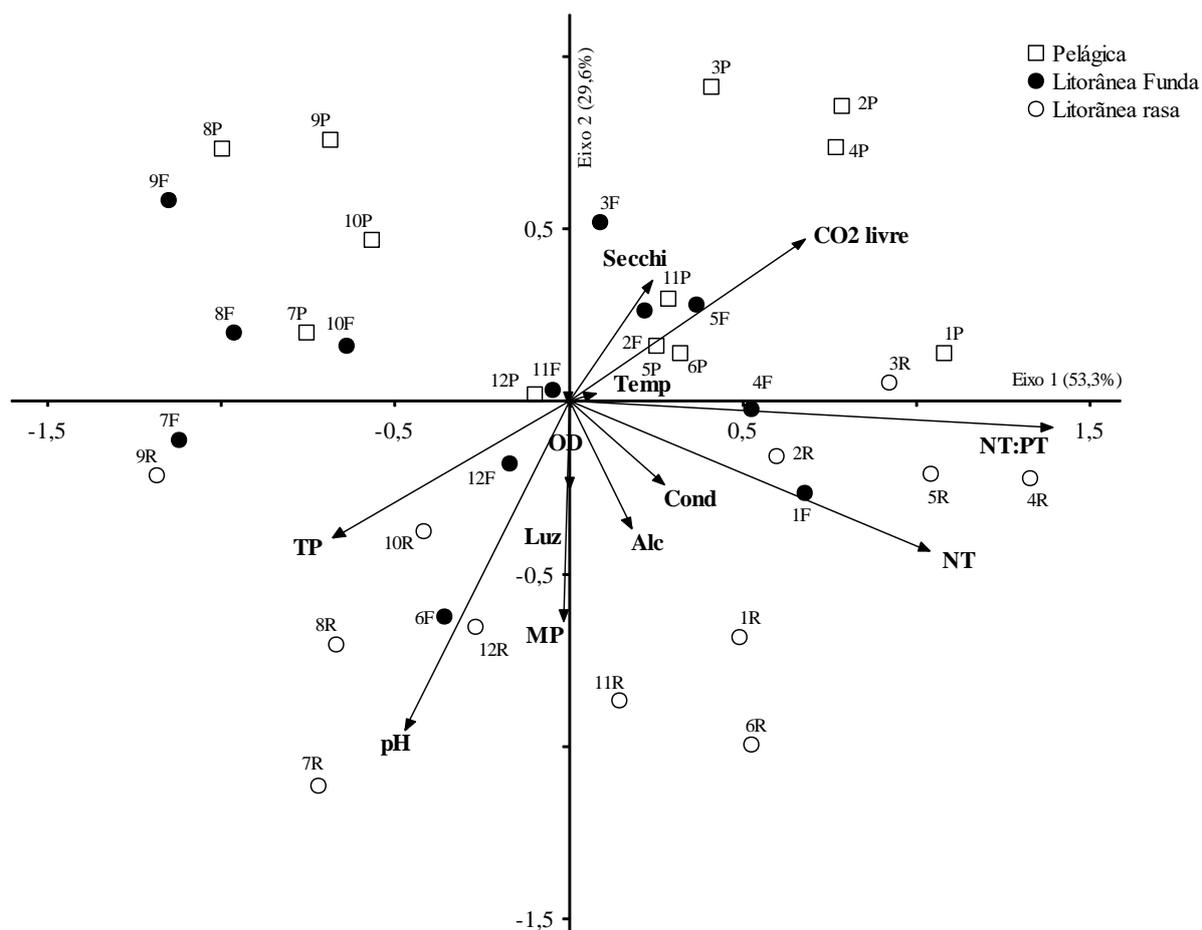


Figura 6. PCA das variáveis limnológicas na zona pelágica, zona litorânea funda e rasa durante o período de estudo. Abreviação dos escores: os números referem-se aos meses do ano e as letras referem-se ao local de amostragem (zona pelágica: P, zona litorânea funda: F, zona litorânea rasa: R). Vetores: Alcal - alcalinidade, Cond - condutividade, CO₂ livre - CO₂ livre, luz - radiação subaquática, pH - pH, MP - material particulado, NT - nitrogênio total, PT - fósforo total, Temp - temperatura, Volume - volume de água.

Tabela 1. Mínimo, máximo e, entre parênteses, média e desvio padrão das variáveis abióticas na lagoa durante o período do estudo.

Variáveis	Zona pelágica	Zona litorânea funda	Zona litorânea rasa
Alcalinidade (mEq L ⁻¹)	0.14 - 0.36 (0.23±0.07)	0.15 - 0.38 (0.24±0.06)	0.19 - 0.61 (0.33±0.09)
Profundidade (m)	2.2 - 3.9 (3.1 ± 0.4)	0.3 - 1.4 (0.6 ± 0.2)	0.3 - 1.3 (0.6 ± 0.2)
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	41.5 - 92.2 (57.4±15.5)	47.2 - 63.5 (54.0±6.3)	57.2 - 98.3 (74.0±15.7)
CO ₂ livre (mg L ⁻¹)	1.8 - 15.0 (6.3±5.0)	0.6 - 15.9 (3.6±4.8)	0.5 - 9.4 (3.0±3.2)
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	2.5 - 15.1 (7.0±2.9)	4.9 - 16.9 (7.5±2.3)	3.7 - 15.0 (7.8±2.5)
Material particulado (mg L ⁻¹)	2.6 - 37.0 (7.2±6.0)	1.9 - 42.6 (12.4±10.5)	5.1 - 68.7 (21.5±14.9)
pH	6.0 - 7.2 (6.7±0.4)	6.2 - 7.6 (6.9±0.3)	6.4 - 8.5 (7.2±0.5)
Radiação subaquática (%)	3.2 - 27.0 (10.4±5.2)	4.9 - 64.4 (24.8±12.4)	6.7 - 63.9 (24.4±12.7)
Radiação subaquática (µmol s ⁻¹ cm ⁻²)	206 - 5531 (1607±1061)	217 - 11081(3262±2666)	26 - 11513(2488±2598)
Nitrogênio total (µg L ⁻¹)	16.7 - 1083.2 (265.4±255.3)	14.3 - 769.4 (234.0±195.2)	27.1 - 1779.8 (640.1±457.2)
Fósforo total (µg L ⁻¹)	11.1 - 33.3 (22.2±6.0)	11.3 - 75.3 (27.8±13.1)	12.1 - 122.1 (37.6±28.6)
Temperatura da água (°C)	17.3 - 27.2 (22.0±3.2)	19.5 - 33.6 (25.5±3.8)	16.5 - 27.6 (23.2±3.0)
Transparência da água (m)	0.8 - 1.5 (1.1±0.2)	0.3 - 1.4 (0.6±0.2)	0.2 - 1.3 (0.5±0.2)

3.2. Cobertura de macrófitas

Apesar da elevada cobertura total média de macrófitas na lagoa durante o período de estudo (56,7% - 100%), houve variação temporal e espacial da cobertura ao longo do ano (Figura 7). A maior cobertura de macrófitas foi encontrada em outubro na zona litorânea funda e rasa. Na zona litorânea funda, a maior abundância de *Myriophyllum aquaticum* ocorreu em janeiro (94%), enquanto a maior abundância de *Eichhornia azurea* foi em agosto (58,8%). Diferentemente, o *M. aquaticum* foi predominante ao longo do ano na zona litorânea rasa, mas a abundância de *E. azurea* aumentou a partir de junho, chegando a 47,2% em dezembro.

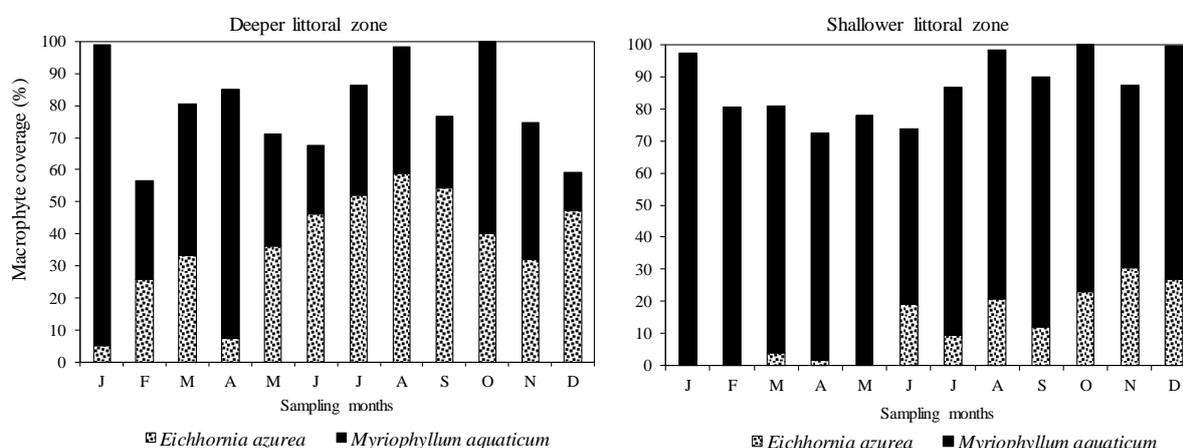


Figura 7. Cobertura de *Myriophyllum aquaticum* e *Eichhornia azurea* (n = 3) na zona litorânea funda e rasa no período de estudo.

3.3. Biomassa fotossintética no fitoplâncton, epipélton e epifítton

O conteúdo de clorofila *a* do fitoplâncton, epipélton e do epifítton no *Myriophyllum aquaticum* e *Eichhornia azurea* variou espacial e temporalmente (Figura 8A-C). Diferenças significativas foram encontradas na concentração de clorofila *a* do fitoplâncton entre meses e as zonas (ANOVA 2-fatores: $p < 0,05$). A maior concentração de clorofila *a* do fitoplâncton foi encontrada em janeiro na zona pelágica, fevereiro na litorânea funda e em julho na litorânea funda. O epipélton apresentou a maior concentração de clorofila *a* em julho e outubro na zona litorânea funda e rasa, respectivamente. A maior concentração de clorofila *a* do

epifítton em *M. aquaticum* foi encontrada em maio na zona litorânea funda e em março na rasa. Em oposição, a maior concentração de clorofila *a* do epifítton em *E. azurea* foi encontrada em março na zona litorânea funda e em maio na rasa.

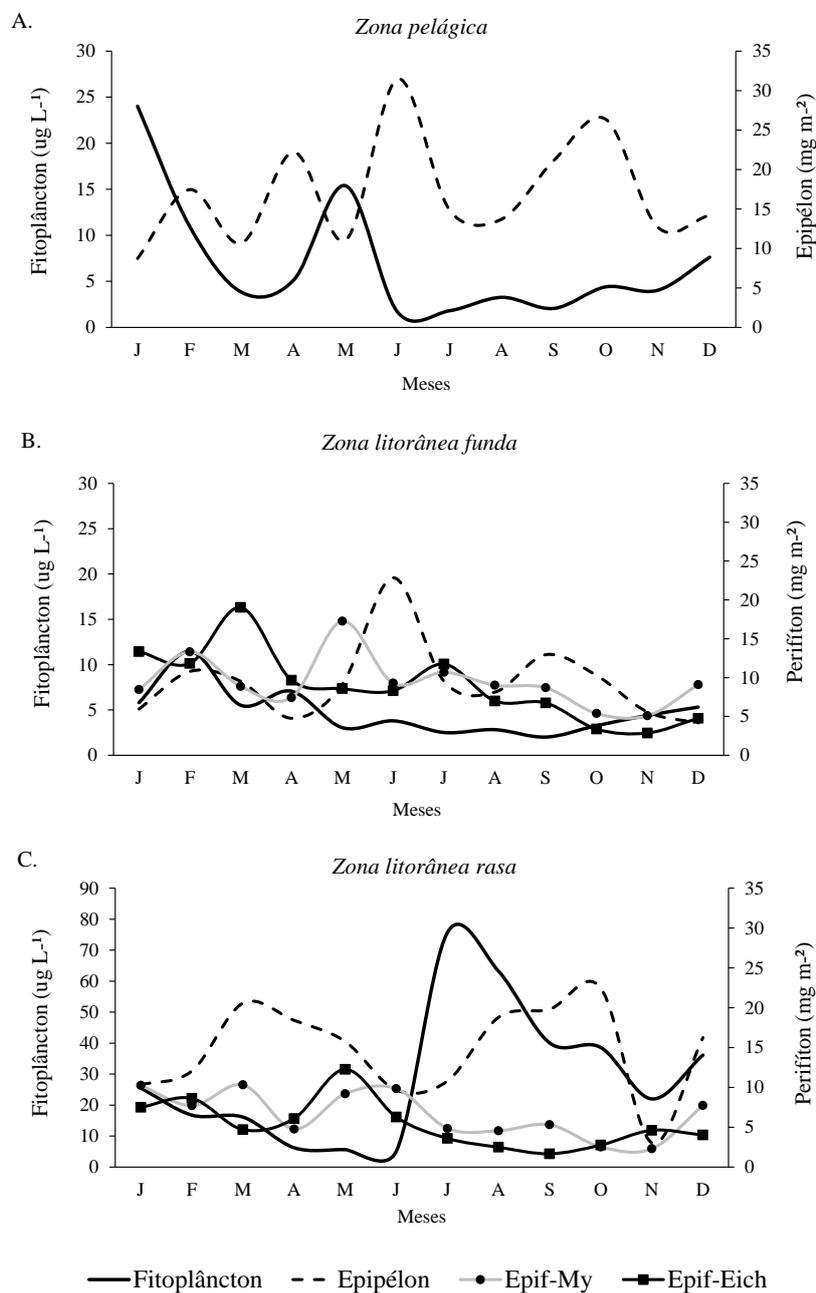


Figura 8. Biomassa fotossintética (média; n = 3) do fitoplâncton, epipélton e do epifítton em *Myriophyllum aquaticum* (Epi-My) e *Eichhornia azurea* (Epi-Eic) na zona pelágica e zona litorânea funda e rasa.

A correlação entre os escores do eixo 2 da PCA e a clorofila *a* do fitoplâncton foi negativa e significativa (Pearson: $r = -0,637$; $p < 0,0002$). Nenhuma relação foi encontrada com os escores da PCA e a clorofila *a* do epipélton. Em oposição, a correlação entre a clorofila *a* do epifítton e os eixos 1 e 2 da PCA foi relação positiva e significativa (Pearson: $r < 0,5$; $p < 0,05$).

Com base na regressão linear simples (Figura 9), verificou-se a relação negativa entre biomassa do fitoplâncton e a profundidade dos pontos amostragens, enquanto a biomassa do epipélton e do epifítton em *Myriophyllum aquaticum* e *Eichhornia azurea* apresentou relação positiva. Diferentemente, biomassa do fitoplâncton tendeu a aumentar com o coeficiente de atenuação da luz e o epifítton tendeu a diminuir. O epipelton não apresentou uma relação significativa com a atenuação da luz.

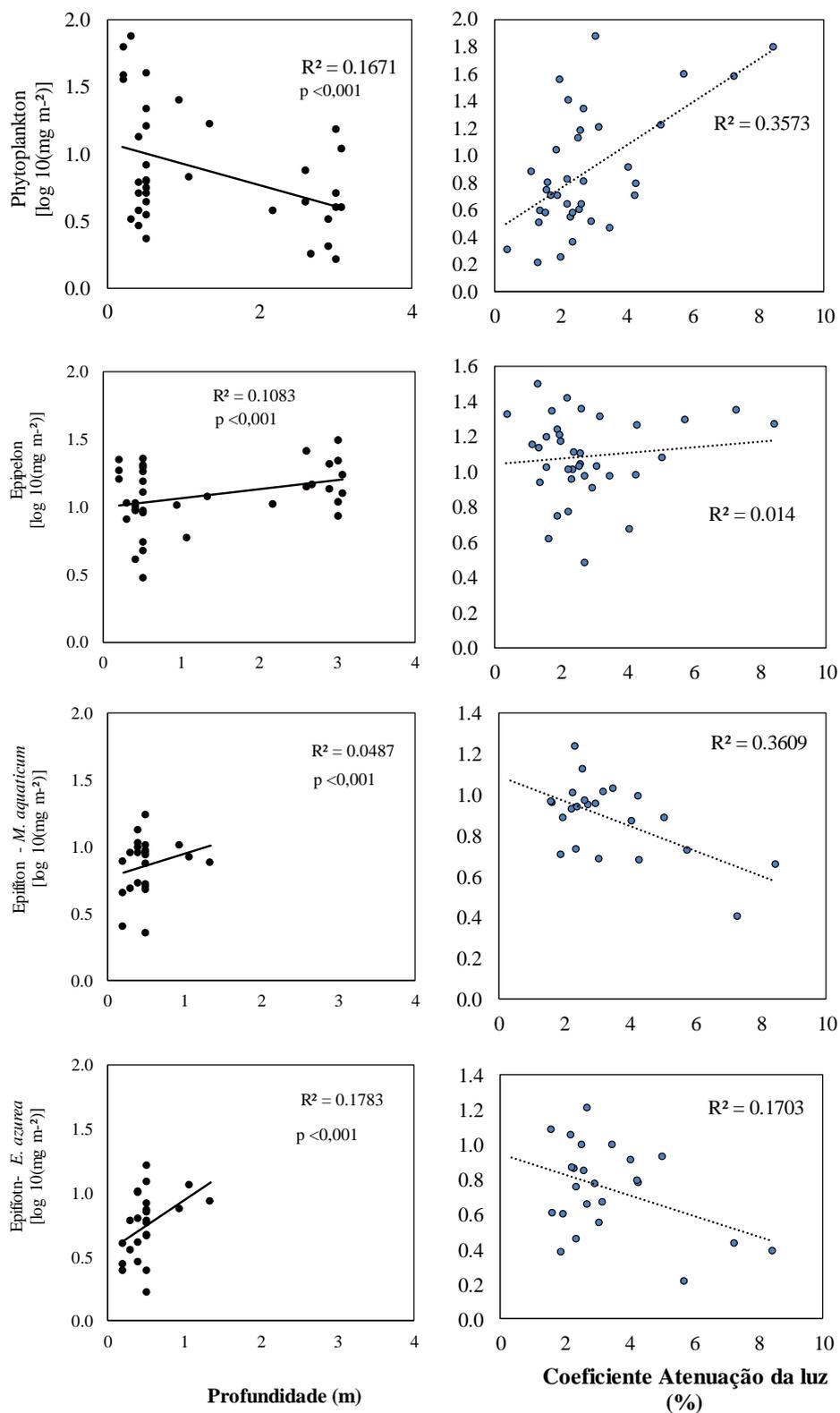


Figura 9. Relação entre o conteúdo de clorofila *a* do fitoplâncton, epipélon, epifiton em *Myriophyllum aquaticum* e *Eichhornia azurea* e a profundidade da coluna de água nos pontos de amostragem na zona pelágica, zona litorânea funda e rasa durante o período de estudo. R² indica o coeficiente de determinação da regressão linear simples.

4. Discussão

Como resultado da precipitação abaixo da média histórica nos meses do período chuvoso (fevereiro e abril), houve uma seca severa no ano do presente estudo (Nobre *et al.* 2016). Dentro destas condições climáticas, a lagoa ficou visualmente desconectada do rio durante todo o período de estudo. De acordo com Goldsborough & Robinson (1996), a desconexão da lagoa pode promover um estado de lago de longa duração, no qual o fitoplâncton é a comunidade algal dominante, a transparência da água é baixa e a disponibilidade de nutrientes é elevada. No presente estudo, a desconexão da lagoa com o rio levou a redução gradual do volume de água da lagoa ao longo do ano, promovendo a ocorrência de duas fases limnológicas distintas. O nível hidrométrico da represa Jurumirim tem relação com o extravasamento lateral do rio Paranapanema (Pompêo *et al.* 1999), evidenciou-se a redução do nível hidrométrico e do volume lagoa no período de estudo. Assim, de acordo com a ordenação pela PCA dos dados abióticos da zona pelágica e litorânea, o volume da lagoa e da variação do nível hidrométrico da represa, evidenciou-se duas fases limnológicas. A **fase 1** (janeiro a junho) caracterizou-se pelas maiores razões NT:PT, concentrações de NT e CO₂ livre e volume de água. Situação oposta foi observada na **fase 2** (julho a dezembro), quando ocorreu o maior reflexo da seca do início do ano, sendo as condições ambientais caracterizadas pela elevada concentração de PT e o menor volume da lagoa. A zona litorânea funda caracterizou-se também abundância de *M. aquaticum* e *E. azurea* durante o ano inteiro, enquanto a zona litorânea rasa caracterizou-se pela dominância de *M. aquaticum* na Fase 1 e aumento de *E. azurea* na Fase 2. Considerando que a lagoa permaneceu desconectada do rio, diferenças de profundidade, disponibilidade de luz, transparência e quantidade de material particulado entre as zonas tornaram-se de significativamente importantes para a caracterização espacial da lagoa. Neste cenário ambiental, a biomassa fotossintética do fitoplâncton, epíplon e epifíton (*M. aquaticum* e *E. azurea*) refletiu a variabilidade espacial e temporal das condições limnológicas, evidenciando

as mudanças na dinâmica dos produtores primários. Em lagos rasos subtropicais, estudos relataram a associação de mudanças na inter-relação entre comunidades de algas e fases limnológicas (Cano *et al.* 2008, Casco *et al.* 2009).

Considerando as condições ambientais descritas nas fases limnológicas, constatou-se que a maior biomassa fotossintética do fitoplâncton, epípelon e epífíton ocorreu durante a Fase 1 na zona pelágica e litorânea funda. Nesta situação, o maior volume da lagoa, a maior disponibilidade de NT e a elevada abundância de *M. aquaticum* favoreceram as comunidades algais. Em oposição, na zona litorânea rasa, a maior biomassa fotossintética do fitoplâncton e epípelon foram encontradas na Fase 2, quando houve maior contribuição de *E. azurea*, aumento da disponibilidade de fósforo e redução do volume da lagoa. A biomassa do fitoplâncton e epípelon na zona litorânea rasa foi extremamente favorecida pela redução do volume da lagoa, sendo o valor máximo de 2.0 e 2.5 vezes maior do que a média anual respectivamente. Portanto, a variação temporal da biomassa fotossintética das comunidades algais apresentou diferenças entre as diferentes zonas, evidenciando a influência da zonação sobre fitoplâncton, epípelon e epífíton.

Apesar da flutuação espacial e temporal da biomassa fotossintética do epípelon na lagoa, evidenciou-se uma relação inversa entre fitoplâncton e epípelon nas três zonas estudadas, principalmente nos meses com menor precipitação (junho) e menor volume na lagoa (julho). Nestes meses ocorreram as menores concentrações do fitoplâncton, o que certamente contribuiu para o aumento da disponibilidade de luz no sedimento, favorecendo o aumento da clorofila-*a* do epípelon. As comunidades de algas epipelicas estão expostas a variações causadas por perturbações, luz e nutrientes em função da profundidade da coluna de água (Vadeboncoeur *et al.* 2014). Relação inversa entre fitoplâncton e epípelon foi descrita em um estudo observacional em reservatório tropical oligo-mesotrófico (Santos 2017), bem como em outros ecossistemas e latitudes (ex. Genkai-Kato *et al.* 2012, Casco *et al.* 2009). A variação na disponibilidade de nutrientes e luz tem importante papel na alternância da

dominância entre fitoplâncton e epípelon em diferentes ecossistemas (Goldsborough & Robinson 1996). O aumento da biomassa do fitoplâncton tem efeito negativo sobre o estado fisiológico das algas epipélicas, principalmente, devido ao aumento da taxa de sedimentação e da redução na disponibilidade de luz (Liboriussen & Jeppesen 2006, Cano *et al.* 2016). Assim, os resultados encontrados no presente estudo mostram um indicio da associação entre a variação do epípelon e do fitoplâncton em lagos rasos, a qual pode ser determinante para o funcionamento da lagoa.

A disponibilidade de fósforo foi um importante preditor de variações na biomassa algal em todos os habitats, principalmente porque a razão molar N:P indicava limitação de P durante o período de estudo (média = 134; dados não publicados). No entanto, a biomassa fotossintética das comunidades algais foi correlacionada significativamente com a profundidade da coluna de água, que possui um caráter integrador. Considerando a relação entre a disponibilidade de luz e as comunidades algais, apenas a biomassa do epífiton apresentou relação negativa com a atenuação da luz, evidenciando a forte atenuação da luz no litoral da lagoa. Apesar da elevada cobertura de macrófitas no litoral, as diferenças na abundância entre *M. aquaticum* e *E. azurea* podem ter atuado sobre a atenuação da luz no litoral, sendo a co-ocorrência mais favorável ao aumento da biomassa do epífiton na zona litorânea rasa. As macrófitas podem atuar direta ou indiretamente em mudanças na biomassa das algas devido à competição por nutrientes, sombreamento e produção de substâncias fitotóxicas (Sand-Jensen & Borum 1991, Burkholder 1996, Vadeboncouer & Steinman 2002).

A biomassa fotossintética do fitoplâncton, epípelon e epífiton (*M. aquaticum* e *E. azurea*) mudou em função da variação temporal das condições ambientais na zona pelágica e litorânea em duas fases limnológicas. Concluímos que a quantidade de biomassa das comunidades algais nos diferentes habitats foi dependente da zonação da lagoa (espacial), sendo as diferenças limnológicas e de biomassa mais acentuadas no período de menor volume (Fase 2) e na zona litorânea rasa. Assim, entende-se que a seca prolongada nos primeiros

meses do ano foi um fator ambiental determinante para diferenciação entre as zonas e, consequentemente, na quantidade de biomassa algal na lagoa.

Capítulo 2

Dinâmica temporal e espacial da estrutura taxonômica da comunidade de algas epifíticas e fitoplanctônicas e suas inter-relações em uma lagoa marginal

1. Introdução

Um dos objetivos fundamentais em Ecologia é entender os padrões da biodiversidade e sua dinâmica temporal e espacial em resposta as alterações ambientais (Larson & Passy 2013). Além de medidas como a diversidade e riqueza, a composição taxonômica responde às alterações das condições ambientais. As alterações das condições ambientais influenciam diretamente o desenvolvimento das comunidades algais e a estrutura taxonômica, pois podem propiciar a chegada de novas espécies com requerimentos de nicho muito similares das espécies já presentes, aumentando a competição pelos mesmos recursos, causando a substituição, exclusão, migração e coexistência de espécies (Helmus *et al.* 2010, Larson & Passy 2013). As comunidades microbianas, especialmente as algais, são excelentes indicadoras, pois a composição taxonômica muda em função das variações ambientais devido à sua natureza polifilética, altas taxas de crescimento e facilidade na substituição de espécies (Larson & Passy 2013). Além do papel na bioindicação, as algas são importantes produtores primários (Vadeboncouer & Steinman 2002), ocupam a base da cadeia trófica (Goldsborough & Robinson 1996), participam na ciclagem de nutrientes (Dodds 2003) e contribuem com a biodiversidade aquática (Dudgeon *et al.* 2006).

A dinâmica das comunidades algais é influenciada por muitos fatores ambientais, os quais atuam direta ou indiretamente sobre as comunidades (Burkholder 1996, Stevenson 1997). Estes fatores podem ser físicos, como temperatura (Trochine *et al.* 2014), luz (Cano *et al.*

2013) e regime hidrológico (Henry *et al.* 2006), ou químicos, como a concentração de nutrientes na água, que é considerada um dos principais determinantes da estrutura do perifíton (McCormick & O'Dell 1996, Kangur *et al.* 2003). Dentre os fatores físicos, a profundidade da coluna de água possui um caráter integrador e pode também influenciar a dinâmica das comunidades algais (Vadeboncoeur *et al.* 2014, Cano *et al.* 2016, França *et al.* 2011). A profundidade da coluna de água em uma lagoa marginal é fortemente influenciada pelo pulso hidrológico, que afeta também o volume de água em cada compartimento do lago, sendo um fator chave na disponibilidade de luz e nutrientes para as comunidades algais (Junk 1996, Vadeboncoeur *et al.* 2014). Inúmeros estudos evidenciaram a influência do pulso de inundação sobre o acúmulo de biomassa e mudanças na estrutura da comunidade de algas perifíticas e fitoplanctônicas (ex. Taniguchi *et al.* 2005, Iwaniec *et al.* 2006, Granado *et al.* 2009; Bichoff *et al.* 2016, Zamorano *et al.* 2018).

As algas planctônicas e perifíticas vivem em habitats distintos, mas, competem pelos mesmos recursos e exibem estratégias diferentes na obtenção destes recursos. (Havens *et al.* 1996, Steinman *et al.* 1997). As algas possuem diferentes habilidades competitivas e, dependendo das condições ambientais, pode ocorrer a coexistência ou exclusão competitiva de espécies nas comunidades (Passarge *et al.* 2006). A comunidade fitoplanctônica está suspensa na coluna d'água e pode interceptar a luz antes dela alcançar o perifíton e as algas perifíticas por sua vez, possuem estratégias fotoadaptativas para ambientes sombreados (Sand-Jensen & Borum 1990, Poulickova *et al.* 2008). Além disso, o perifíton pode utilizar outras fontes de nutrientes, tais como o substrato e a água intersticial (Sand-Jensen 1983, Burkholder 1996, Wetzel 1996).

Outra forma de inter-relação entre o perifíton e o fitoplâncton é o intercâmbio de espécies algais (Carrick *et al.* 1993, Havens *et al.* 1996). Alguns grupos taxonômicos são caracterizados como estritamente “bentônico” ou “planctônico”, no entanto, as espécies de algas planctônicas podem migrar para o habitat perifítico em busca de maior disponibilidade

de recursos (Stevenson 1996; Morales & Trainor 1999; Werner & Köhler 2005) ou vice-versa. O revolvimento do sedimento, perturbação física do substrato ou elevada velocidade da corrente também podem causar a exportação/importação de espécies entre os dois habitats (Carrick *et al.* 1993, Havens *et al.* 1996). As inter-relações entre os autótrofos podem ter grandes consequências para o funcionamento dos lagos e/ou reservatórios rasos, pois podem influenciar a produtividade primária total, a ciclagem de nutrientes e a transferência de energia através da rede alimentar (Vadeboncouer *et al.* 2003, Libouriussen & Jeppesen 2003). O grau de inter-relação entre as comunidades algais depende de vários fatores ambientais, principalmente a morfometria do ecossistema (Vadeboncouer & Steinman 2002; Flöder *et al.* 2006), a intensidade de floração de cianobactérias (Borduqui & Ferragut 2012) e o ciclo hidrológico em planícies de inundação (Taniguchi *et al.* 2005; Dunk *et al.* 2013). Em lagos rasos tropicais, a inter-relação entre as comunidades algais é ainda pouco compreendida, bem como os fatores responsáveis pela maior ou menor interação entre as comunidades, devido à ausência de estudos comparativos entre a estrutura taxonômica do epifíton e fitoplâncton.

Considerando que o conhecimento sobre a inter-relação entre as comunidades algais é de grande interesse para compreensão do funcionamento do ecossistema e que mudanças no pulso hidrológico influenciam a estrutura taxonômica, este trabalho avaliou a coocorrência e a similaridade na composição de espécies do epifíton e fitoplâncton. Especificamente, analisou-se a variação temporal e espacial dos atributos estruturais das comunidades fitoplanctônica e epifítica e suas inter-relações em três zonas de uma lagoa marginal. Além disso, os principais fatores determinantes das mudanças estruturais das comunidades algais foram avaliados durante o período de estudo. Em função de um período de seca prolongada, a lagoa estudada apresentou redução do volume e profundidade (Capítulo 1), assim, a nossa hipótese é que tais variáveis serão determinantes da estrutura taxonômica das comunidades de algais e do grau de a similaridade entre as espécies.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo está descrita no item 2.1 do Capítulo 1.

2.3. Delineamento amostral

Amostras de água e das comunidades algais foram coletadas em pontos de amostragens fixos na região pelágica e litorânea da lagoa. Três pontos de amostragem foram selecionados na parte mais profunda da região pelágica (P; 2,2 a 3,9m) e seis pontos na região litorânea: três na parte mais funda (LF; 0,3 a 1,4m) e três na parte mais rasa (LR; 0,3 a 1,3), totalizando 9 pontos de amostragem (mapa com a localização dos pontos de amostragem encontra-se no Capítulo 1) Amostras de água foram coletadas com auxílio de garrafa de Van Dorn em cada ponto de amostragem. Amostras da superfície, meio (1,1 a 1,9 m) e fundo (2 a 3,5 m) foram integradas manualmente no mesmo frasco. No laboratório, alíquotas das amostras foram separadas para análise qualitativa e quantitativa da comunidade fitoplanctônica. Amostragens bimensais (fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro de 2014) foram realizadas para a determinação das variáveis físicas e químicas da água (nutrientes totais e dissolvidos) e análises taxonômicas e quantitativas das comunidades algais (fitoplâncton e epifíton).

O epifíton foi analisado em *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verd., que foi a espécie mais abundante nos pontos de amostragem durante o período de estudo na lagoa. O pecíolo de *M. aquaticum* foi coletado obtenção da amostra do epifíton. A seleção da planta a ser amostrada foi feita aleatoriamente por meio de um sorteio em cada ponto de amostragem. Para a padronização, foram coletados entrenós de *M. aquaticum* de trinta centímetros (medidos com uma régua em campo). No laboratório, os entrenós foram medidos para obtenção da área (área do cilindro) e cuidadosamente raspados com escova de cerdas macias e, depois, lavados com jatos de água destilada para obtenção da amostra do material perifítico.

2.4. Variáveis analisadas

Variáveis físicas e químicas da água

Foram analisadas as seguintes variáveis abióticas da água: transparência da água (profundidade de desaparecimento do disco de Secchi), radiação subaquática (perfil vertical; luxímetro Li-Cor LI-250A), temperatura, condutividade elétrica (sonda multiparâmetros, Horiba U-50), profundidade da coluna de água (ecobatímetro Speedtech), pH (pHmetro 20 Digimed), oxigênio dissolvido (Golterman *et al.* 1978), alcalinidade (Golterman & Clymo 1971), formas de carbono inorgânico dissolvido, nitrito (N-NO₂) e nitrato (N-NO₃) (Mackereth *et al.* 1978), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) (Solorzano 1969), ortofosfato (P-PO₄) e fósforo total dissolvido (PDT) (Strickland & Parsons 1960), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) (Valderrama 1981).

Variáveis bióticas

As amostras do fitoplâncton e epifíton foram preservadas com formalina 4% para análise qualitativa e com solução de lugol acético a 1% para análise quantitativa. A quantificação das algas foi realizada em microscópio invertido (Zeiss Axio Observer D1 com optovar 2.5X e captura de imagens), com aumento de 400x, seguindo o método de Utermöhl (1958) e o tempo de sedimentação seguiu (Lund *et al.* (1958)). A contagem foi realizada em transectos e o limite de contagem foi estabelecido pela curva de rarefação de espécies e pelo cálculo da eficiência de contagem (acima de 90% - Ferragut *et al.* 2013). Foram consideradas descritoras as espécies que contribuíram com $\geq 5\%$ da densidade total cada comunidade algal. A identificação taxonômica foi realizada com um microscópio óptico (Zeiss Axioskop 2, com contraste de fase) e também com as imagens obtidas na câmera de alta resolução AxioCam MRc Rev. 3 acoplada ao microscópio invertido (Zeiss Axio Observer D1, usado também para contagem) e as medidas foram obtidas no programa Axio Vision da Zeiss (Imaging Systems

4.7.2). O sistema de classificação adotado foi de (van der Hoek et al. 1997) para classes e literatura especializada foi usada para níveis específicos.

2.5. Tratamento estatístico

Análise de variância 2-fatores (ANOVA; $\alpha = 0,05$) foi aplicada para os dados abióticos para detectar diferenças significativas entre meses e zonas da lagoa. O teste de comparações múltiplas de Tukey foi usado para comparar médias ($\alpha = 0.05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Sigma Plot 11.0.

A análise de redundância (RDA) foi selecionada para avaliar a relação entre os dados abióticos e biológicos, pois a análise de correspondência canônica (DCA) apresentou gradiente de comprimento curto, indicando que a relação da densidade algal com o gradiente ambiental apresentou resposta linear (Birks 2010). A matriz ambiental para a RDA da comunidade perifítica foi executada com 5 variáveis limnológicas (concentração de CO₂ livre, DIN, PT, NT) e da comunidade fitoplanctônica foi realizada também com cinco variáveis (radiação subaquática, DIN, P-PO₄, profundidade, nível hidrométrico). As variáveis ambientais foram selecionadas em função do grau de importância na ordenação das unidades amostrais pela PCA, bem como sua importância para estrutura de cada comunidade algal. As espécies que contribuíram com $\geq 2\%$ da densidade total da amostra foram usadas para elaborar a matriz de espécies das duas comunidades. Os dados abióticos e biológicos foram transformados usando $\log x+1$. O teste de randomização foi executado e os eixos foram considerados interpretáveis ($p < 0,05$). As análises multivariadas foram feitas no programa PC-ORD 6.0 (McCune & Mefford 2011).

A análise multivariada de variância permutacional (PERMANOVA 2-fatores; $\alpha = 0,05$) foi aplicada para analisar a influência do tempo (meses) e espaço (zonas) sobre a estrutura taxonômica do epifíton e do fitoplâncton. Esta análise foi realizada usando a similaridade de

Bray-Curtis e 9999 permutações. Esta análise multivariada foi realizada utilizando o software estatístico PAST 3.01 (Hammer *et al.* 2001).

3. Resultados

3.1 Condições limnológicas

A concentração de nutrientes totais e dissolvidos e radiação subaquática variaram temporalmente na zona pelágica, zona litorânea funda e rasa (Figura 1A-E). De acordo com a ANOVA 2-fatores (Tabela 1), verificou-se que a maioria das variáveis analisadas apresentou diferença significativa entre os meses, exceto a concentração de material particulado em suspensão. Em relação às zonas da lagoa, verificou-se que apenas as concentrações de formas dissolvidas (amônio, nitrato, oxigênio dissolvido e fósforo total dissolvido) não apresentaram diferenças significativas entre zonas. A interação entre os fatores tempo (meses) e espaço (zonas) foi significativa para a maioria das variáveis analisadas.

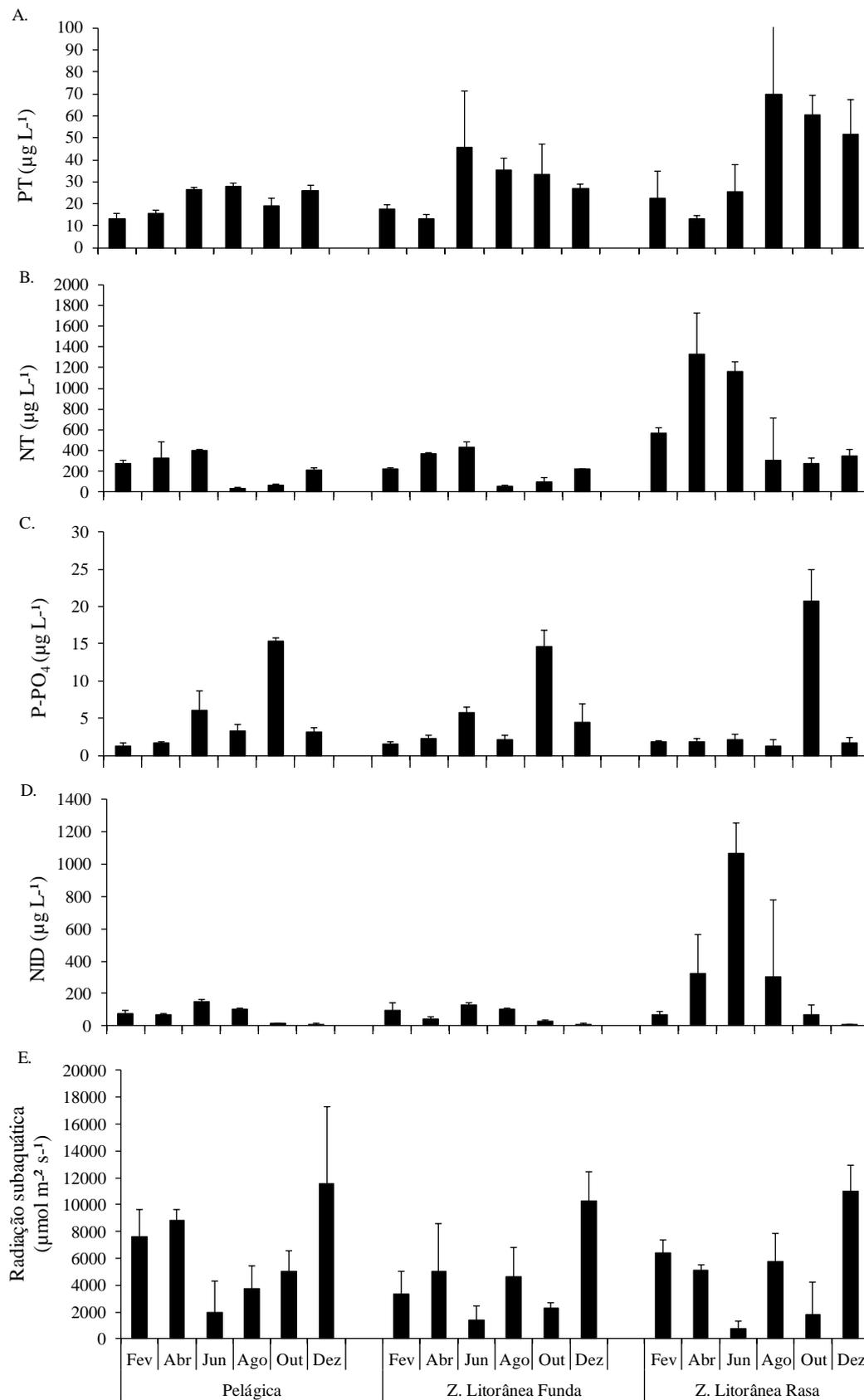


Figura 1. Variação temporal da concentração de nutrientes totais e dissolvidos e radiação subaquática (média, desvio padrão, $n = 3$) na zona pelágica, zona litorânea funda e rasa.

Tabela 1. Valores mínimos e máximos dos dados limnológicos (n=3) na zona pelágica, litorânea funda e rasa durante os meses na Lagoa do Barbosa. Resultados da ANOVA 2-fatores para os fatores região, sazonalidade e interação destes fatores. Abreviações: ns = não significativo.

Variáveis abióticas	Zona Pelágica	Zona Litorânea Funda	Zona Litorânea Rasa	Região	Anova 2-fatores	
					Sazonalidade	Interação
Alcalinidade (mEq.L ⁻¹)	0,141 - 0,363	0,146 - 0,384	0,192 - 0,606	<0,001	<0,001	<0,001
CO ₂ livre (mg.L ⁻¹)	1,8 - 15,0	0,6 - 15,9	0,5 - 9,4	<0,001	<0,001	<0,001
Condutividade elétrica (µmS.cm-2)	41,5 - 92,2	47,2 - 63,5	57,2 - 98,3	<0,001	<0,001	0.009
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	13,3 - 31,7	13,4 - 45,8	12,9 - 70,0	<0,001	<0,001	0.013
Nitrogênio total (µg.L ⁻¹)	32,1 - 979,3	27,2 - 718,0	76,7 - 1332,8	<0,001	<0,001	ns
N-NH ₄ (µg.L ⁻¹)	1,2 - 39,7	3,0 - 37,5	0 - 103,0	ns	<0,001	0.008
N-NO ₂ (µg.L ⁻¹)	2,2 - 5,2	2,2 - 4,8	2,1 - 18,0	<0,001	<0,001	0.024
N-NO ₃ (µg.L ⁻¹)	2,3 - 130,6	0 - 116,4	0 - 1056,3	ns	<0,001	ns
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	2,7 - 15,1	5,1 - 10	3,7 - 12,7	ns	<0,001	<0,001
PDT (µg.L ⁻¹)	5,9 - 13,7	7,4 - 15,7	5,4 - 18,6	ns	<0,001	<0,001
pH	6,0 - 7,2	6,2 - 7,6	6,4 - 8,5	<0,001	<0,001	<0,001
P-PO ₄ (µg.L ⁻¹)	1,3 - 15,3	1,6 - 14,6	1,3 - 20,8	<0,001	<0,001	<0,001
Profundidade (m)	2,21 - 3,87	0,27 - 0,74	0,3 - 0,88	<0,001	0.003	ns
Material em suspensão (mg.L ⁻¹)	4,2 - 20,9	1,92 - 42,6	5,1 - 68,7	<0,001	ns	ns
Silicato (mg.L ⁻¹)	0,7 - 4,8	0,6 - 4,7	0,8 - 5,5	<0,001	<0,001	<0,001
Temperatura da água (°C)	17,5 - 27,0	19,7 - 32, 1	17,9 - 26,6	<0,001	<0,001	<0,001
Transparência da água (m)	0,9 - 1,4	0,4 - 1,3	0,3 - 1,2	<0,001	<0,001	<0,001
Radiação subaquática (%)	5,9 - 20,5	13,7 - 47,4	12,8 - 50,1	<0,001	<0,001	ns

3.2. Comunidades algais

Análise taxonômica da comunidade de algas epifíticas e fitoplanctônica

Foram identificados o total de 215 táxons de algas e cianobactérias na comunidade epifítica, os quais foram distribuídos em Cyanobacteria (17 táxons) e dez classes algais: Zygnemaphyceae (83 táxons), Chlorophyceae (58 táxons), Bacillariophyceae (37 táxons), Euglenophyceae (9 táxons), Cryptophyceae (3 táxons), Chrysophyceae (2 táxons), Oedogoniophyceae (2 táxons), Xanthophyceae (2 táxons), Dinophyceae (1 táxons), Trebouxiophyceae (1 táxon). Dentre as espécies identificadas e quantificadas, verificou-se a ocorrência de espécies exclusivas na zona litorânea funda (57 táxons exclusivos) e na zona litorânea rasa (39 táxons exclusivos).

No fitoplâncton, foram identificados o total de 177 táxons específicos de algas e cianobactérias, as quais foram distribuídas em 11 grupos algais: Cyanobacteria (5 táxons), Zygnemaphyceae (71 táxons), Chlorophyceae (52 táxons), Euglenophyceae (18 táxons), Bacillariophyceae (17 táxons), Cryptophyceae (7 táxons), Chrysophyceae (4 táxons), Dinophyceae (2 táxons) e Trebouxiophyceae (1 táxon). Dentre as espécies identificadas e quantificadas, verificou-se a ocorrência de espécies exclusivas na zona pelágica (11 táxons exclusivos), zona litorânea funda (11 táxons exclusivos) e na zona litorânea rasa (83 táxons exclusivos).

Densidade relativa de classes algais no epifíton e fitoplâncton

Bacillariophyceae apresentou a maior contribuição para a estrutura da comunidade epifítica na zona litorânea funda na maioria dos meses (56 a 86%), exceto fevereiro e dezembro. Na zona litorânea rasa, houve variação na contribuição das classes algais para estrutura e ausência de dominância, tendo Chlorophyceae maior representatividade em fevereiro (27%), Bacillariophyceae em abril (36%), Chrysophyceae em agosto (44%) e dezembro (39%) e Zygnemaphyceae em outubro (37%) (Figura 2A).

Chrysophyceae foi a classe de maior contribuição para a estrutura do fitoplâncton em todos os meses e zonas (48 a 70%), exceto em agosto, setembro e outubro quando foi substituída por Zygnemaphyceae (49-74%) (Figura 2B).

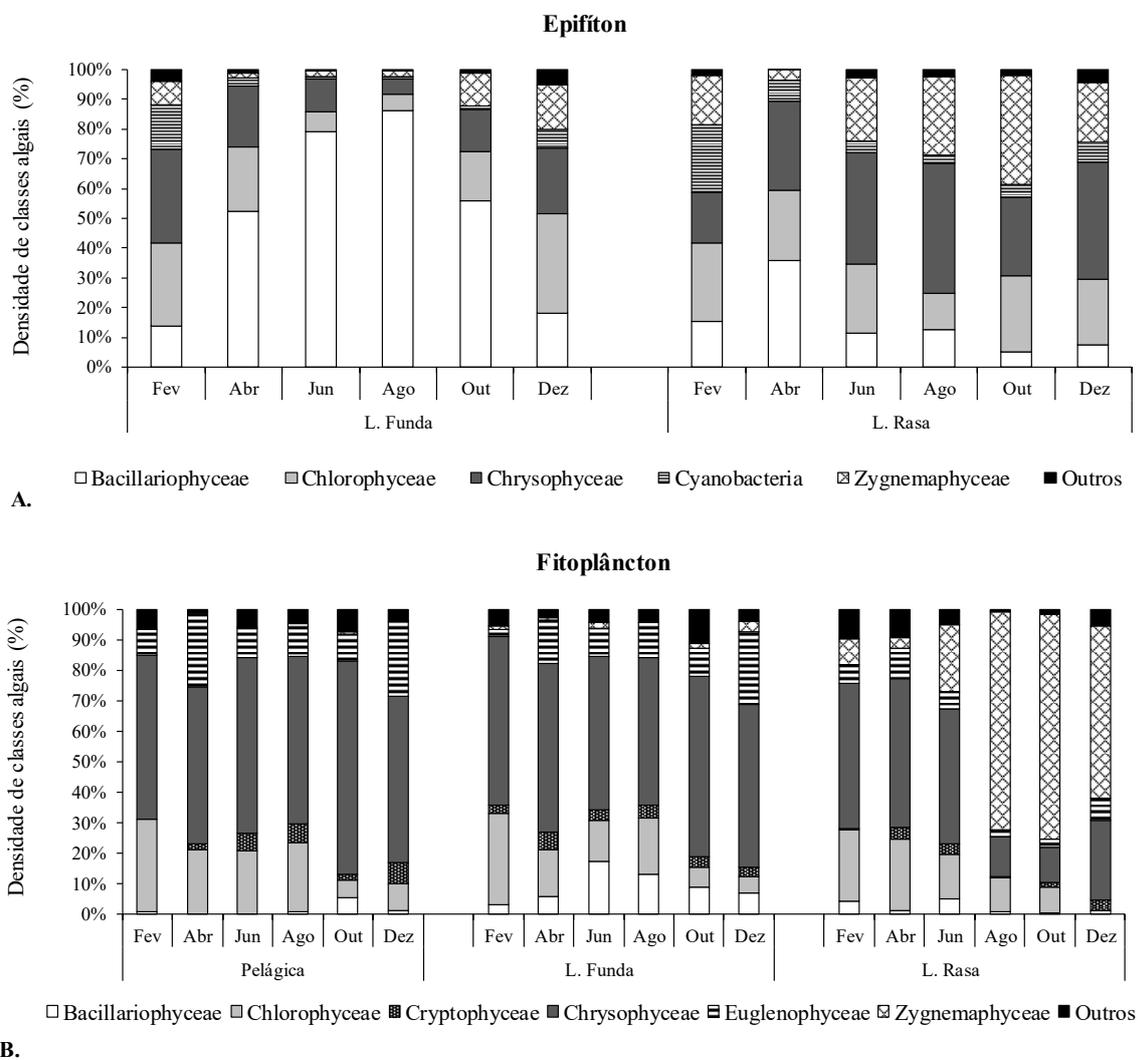


Figura 2. Variação temporal e espacial da densidade relativa de classes algais e cianobactérias da comunidade de algas epifíticas e planctônicas na região litorânea funda e rasa durante o período de estudo.

Espécies descritoras da comunidade de algas epifíticas e planctônicas

Considerando as espécies com densidade relativa maior ou igual a 5% da densidade total, 14 espécies foram consideradas descritoras na comunidade perifítica e 16 foram descritoras na comunidade fitoplanctônica (Tabelas 2, 3 e 4). Duas espécies do gênero *Chromulina* estiveram entre as espécies descritoras de ambas as comunidades algais, durante todo o período de estudo e em todas as zonas amostradas (Figuras 3 e 4).

Em relação à comunidade epifítica, *Chlamydomonas epibiotica* apresentou a maior participação na estrutura no período de fevereiro a junho, diminuindo a densidade no período de menor volume da lagoa (exceto dezembro - Figura 3). Considerando a variação temporal e espacial das demais espécies descritoras do epifíton, verificou-se que o contrário ocorreu com a densidade de *Cosmarium minutum* e *Staurodesmus mamillatus*, que apresentaram elevada densidade a partir de junho, com aumento ainda maior da densidade na zona litorânea rasa. *Staurodesmus mamillatus* também esteve presente entre as espécies descritoras da comunidade fitoplanctônica e seguiu tendência similar do epifíton, com elevada densidade de junho a dezembro, estando presente em alta densidade apenas na região litorânea rasa (Figura 4). *Dinobryon sertularia* e *Trachelomonas volvocinopsis* apresentaram elevada densidade no fitoplâncton no segundo semestre. *Monoraphidium dybowskii*, ao contrário das outras espécies descritoras, diminuiu a densidade no fitoplâncton ao longo do ano, principalmente na zona pelágica e litorânea funda.

A PERMANOVA de 2-fatores mostrou que a estrutura taxonômica da comunidade de algas epifíticas foi significativamente diferente entre os meses ($F = 39,09$; $p < 0,0001$) e as zonas da lagoa ($F = 41,19$; $p < 0,0009$), mas a interação entre espaço e tempo foi significativa ($F = 40,21$; $p < 0,0001$).

A PERMANOVA de 2-fatores mostrou que a estrutura taxonômica do fitoplâncton foi significativamente diferente entre os meses ($F = 7,04$; $p < 0,0001$) e as zonas da lagoa (F

=12.06; $p < 0,0009$), mas a interação entre espaço e tempo foi significativa ($F = 5.34$; $p < 0.0001$).

Tabela 2. Espécies descritoras do fitoplâncton e sua porcentagem de contribuição (%) em relação à densidade total na zona pelágica da lagoa marginal durante o período de estudo.

Espécies descritoras (%)	Zona pelágica					
	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro
<i>Chlamydomonas</i> sp.3	-	-	5.6	0.0	-	-
Chlorophyceae sp.10	-	-	-	12.3	-	-
<i>Choricystis minor</i>	5.4	7.0	3.5	0.0	-	-
<i>Chromulina</i> sp.2	53.1	49.7	56.4	53.8	64.3	53.6
<i>Cryptomonas</i> sp.2	-	1.2	5.7	5.2	1.9	3.1
<i>Dinobryon sertularia</i>	-	-	-	1.1	5.5	0.8
<i>Euglena</i> sp.1	1.1	8.0	4.0	-	2.3	11.4
<i>Euglena</i> sp.3	-	8.6	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.8	-	-	-	-	3.9	1.2
<i>Monoraphidium dybowskii</i>	18.8	9.2	4.6	-	0.0	2.2
<i>Synechocystis aquatilis</i>	5.5	0.8	5.8	2.5	6.2	4.0
<i>Trachelomonas</i> sp.4	6.3	1.1	-	-	-	-
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	-	4.3	3.5	8.0	4.7	8.6
Outros	10.9	17.5	26.5	13.9	24.0	26.3

Tabela 3. Espécies descritoras do fitoplâncton e do epifítton em *M. aquaticum* e sua porcentagem de contribuição (%) em relação à densidade total na zona litorânea funda da lagoa marginal durante o período de estudo. Abreviações: Epi = epifítton; Fito = fitoplâncton.

Espécies descritoras (%)	Zona litorânea funda											
	Fevereiro		Abril		Junho		Agosto		Outubro		Dezembro	
	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito
<i>Achnanthydium</i> sp.	-	-	3.5	32.9	8.2	27.1	5.5	28.4	1.0	20.5	-	0.0
<i>Chlamydomonas epibiotica</i>	-	8.0	-	6.4	-	1.1	-	1.1	-	2.3	-	2.2
Chlorophyceae sp.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.2
<i>Choricystis minor</i>	6.4	-	6.1	-	2.2	-	11.0	-	1.4	-	-	-
<i>Chromulina</i> sp.	-	31.5	-	20.7	-	11.1	-	5.3	-	14.3	-	22.4
<i>Chromulina</i> sp.2	55.4	-	53.3	-	50.3	-	48.5	-	58.1	-	53.1	-
<i>Cosmarium pygmaeum</i>	-	1.4	-	-	-	0.2	-	0.2	-	1.3	-	0.9
<i>Cryptomonas</i> sp.2	2.7	-	4.9	-	3.5	-	4.1	-	3.2	-	2.9	-
<i>Dinobryon sertularia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	-	0.4	-
<i>Encyonema</i> sp.1	-	11.7	-	7.1	-	4.1	-	5.3	-	3.9	-	4.6
<i>Euglena</i> sp.1	1.5	-	7.2	-	3.0	-	5.3	-	1.8	-	4.8	-
<i>Euglena</i> sp.3	-	-	0.9	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.3	-	-	-	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.5	-	-	-	-	-	25.5	-	25.5	-	19.7	-	2.6
<i>Fragilaria</i> sp.8	-	-	-	-	2.9	-	5.6	-	6.5	-	5.4	-
<i>Monoraphidium dybowskii</i>	15.3	-	0.6	-	4.2	-	-	-	-	-	1.1	-
<i>Pseudanabaena</i> sp.1	-	12.8	-	1.9	-	0.5	-	0.6	-	0.6	-	1.9
<i>Staurodesmus mamillatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	1.0	-
<i>Synechocystis aquatilis</i>	3.5	-	2.9	-	4.3	-	4.5	-	10.7	-	3.5	-
<i>Tabellaria</i> sp.	-	-	-	-	-	6.9	-	6.8	-	1.3	-	0.5
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	-	-	4.4	-	4.1	-	4.1	-	4.7	-	8.4	-
Outros	22.9	23.5	33.4	16.8	41.5	23.9	24.2	18.9	24.7	45.6	33.1	55.9

Tabela 4. Espécies descritoras do fitoplâncton e do epifíton em *M. aquaticum* e sua porcentagem de contribuição (%) em relação à densidade total na zona litorânea rasa da lagoa marginal durante o período de estudo. Abreviações: Epi = epifíton; Fito = fitoplâncton.

Espécies descritoras (%)	Zona litorânea rasa											
	Fevereiro		Abril		Junho		Agosto		Outubro		Dezembro	
	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito	Epi	Fito
<i>Achnanthydium</i> sp.	-	-	-	23.8	1.3	0.6	-	-	-	2.0	-	0.9
<i>Chlamydomonas epibiotica</i>	-	8.8	-	8.2	-	3.2	-	2.8	-	5.2	-	5.8
Chlorophyceae sp.4	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Choricystis minor</i>	4.7	-	7.3	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-
<i>Chromulina</i> sp.	-	16.8	-	29.8	-	37.2	-	43.5	-	26.3	-	39.4
<i>Chromulina</i> sp.2	47.6	-	48.9	-	44.0	-	13.2	-	11.5	-	22.6	-
<i>Cosmarium pygmaeum</i>	-	2.0	-	-	-	0.8	-	0.3	-	6.8	-	2.3
<i>Cosmarium</i> sp.38	-	-	-	-	-	-	6.7	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.41	-	-	-	-	-	-	-	-	9.5	-	-	-
<i>Cryptomonas</i> sp.2	0.3	-	3.0	-	2.7	-	0.6	-	0.7	-	3.1	-
<i>Encyonema</i> sp.1	-	13.7	-	4.1	-	3.5	-	4.2	-	0.4	-	1.2
<i>Euglena</i> sp.1	2.5	-	5.8	-	-	-	0.7	-	-	-	1.6	-
<i>Euglena</i> sp.3	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia</i> sp.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.3	-	-	-	4.0	-	0.6	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.5	-	-	-	-	-	0.2	-	0.8	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.8	-	-	-	-	0.4	-	0.1	-	-	-	0.8	-
<i>Monoraphidium dybowskii</i>	7.5	-	2.5	-	1.1	-	1.5	-	-	-	3.9	-
<i>Pseudanabaena</i> sp.1	-	17.3	-	2.5	-	3.2	-	1.1	-	3.6	-	3.8
<i>Staurodesmus mamillatus</i>	-	-	-	-	0.5	-	25.5	-	51.4	-	36.7	-
<i>Staurodesmus</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	15.7	-	3.4	-	0.7	-
<i>Synechocystis aquatilis</i>	6.1	-	6.0	-	3.6	-	0.4	-	0.6	-	4.0	-
<i>Tabellaria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	1.7	-	-	-	-
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	2.2	-	1.6	-	3.7	-	1.3	-	1.3	-	2.7	-
Outros	38.8	33.4	31.9	26.8	56.0	56.8	38.9	51.5	27.7	55.4	40.7	42.1

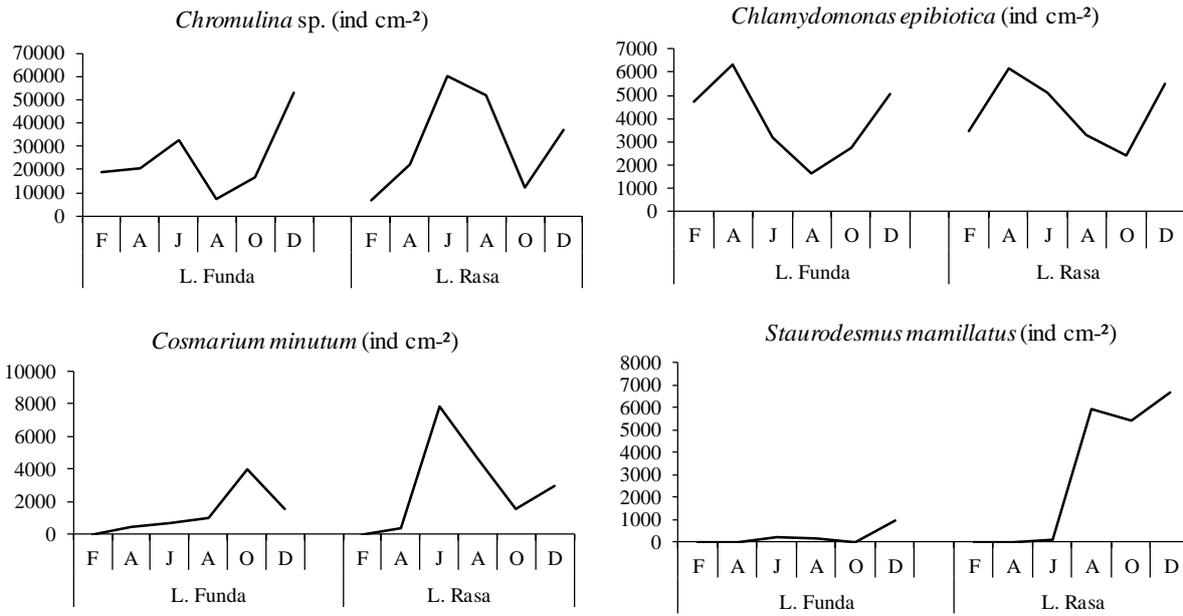


Figura 3. Variação temporal e espacial da densidade de quatro espécies descritoras da comunidade de algas perifíticas em *M. aquaticum* na região litorânea funda e rasa no período de estudo.

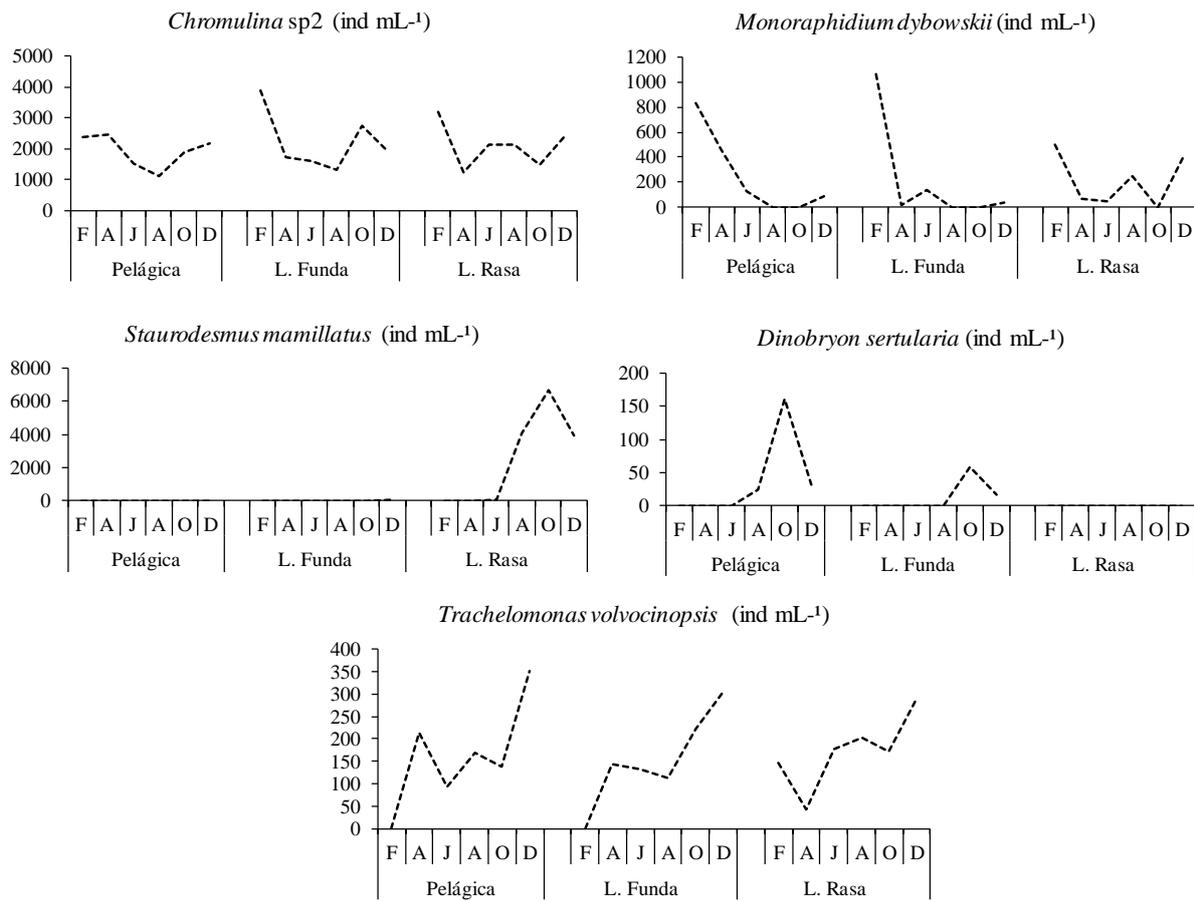


Figura 4. Variação temporal e espacial da densidade de cinco espécies descritoras do fitoplâncton na região pelágica, litorânea funda e rasa durante o período de estudo.

Formas de vida das espécies de algas epifíticas e planctônicas

Considerando as formas de vidas, o epifíton foi caracterizado pela contribuição de um maior número de formas de vida (Figura 5A). As flageladas foram dominantes no período de estudo na zona litorânea rasa, mas na litorânea funda houve aumento da forma colonial e unicelular a partir de junho. Verificou-se que as formas flageladas foram dominantes na zona pelágica e litorânea funda no fitoplâncton (Figura 5B). Estas formas foram substituídas pelas unicelulares (não-móveis) na litorânea rasa a partir de agosto.

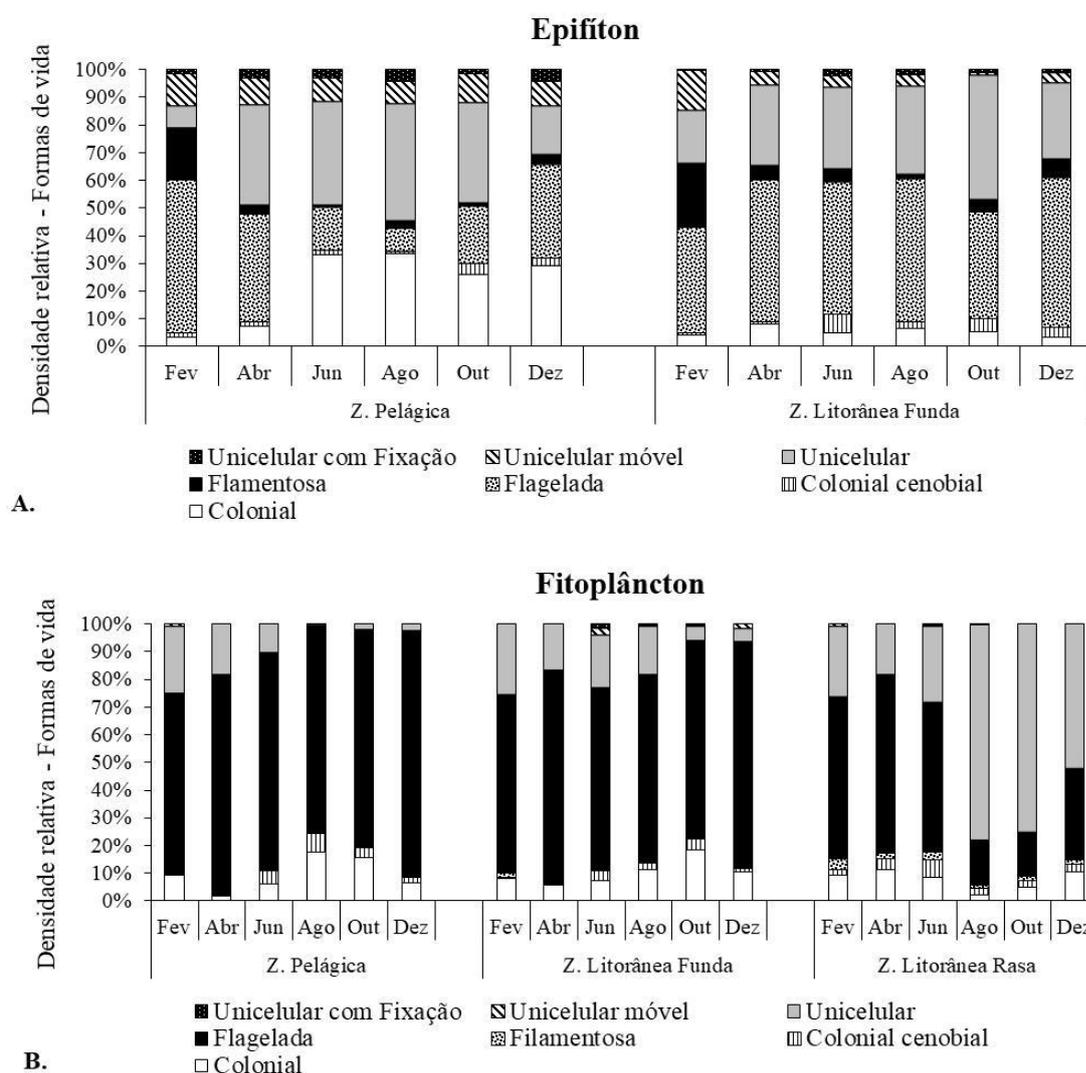


Figura 5. Densidade relativa das formas de vida do epifíton e fitoplâncton na zona pelágica e litorânea funda e rasa durante o período de estudo.

Análise conjunta das variáveis abióticas e densidade das algas epifíticas (RDA)

A análise de redundância (RDA) foi realizada com 4 variáveis ambientais e a densidade de 34 espécies de algas perifíticas cuja representatividade foi maior que 2% da densidade total (Figura 6, Tabela 5). Os autovalores do eixo 1 (2,8) e 2 (1,9) explicaram 14,1% da variabilidade total dos dados. A alta correlação espécie-ambiente para o eixo 1 (0,777) e 2 (0,662) indicou boa relação entre distribuição de espécies e as variáveis ambientais.

As espécies descritoras do epifíton foram ordenadas no eixo 1 da RDA principalmente em função da zonação do litoral na lagoa. A zona litorânea funda em fevereiro, abril, junho e agosto foram ordenadas no lado positivo do eixo 1 e estiveram mais correlacionadas com as maiores concentrações de CO₂ livre e NT ($r > 0,7$) e com as densidades de *Chlamydomonas epibiotica*, *Chlamydomonas sagitula* e *Pseudanabaena* sp.1 ($r > 0,5$). No lado negativo do eixo 1, foram ordenadas as unidades amostrais da zona litorânea rasa de todo o período estudado e foram correlacionadas com as maiores concentrações de PT ($r = -0,551$) e com a alta densidade de *Brachysira* sp., *Chlorophyceae* sp.9, *Cosmarium* sp. 17, *Fragilaria* sp.5 e *Tabellaria* sp. 1 ($r > -0,5$).

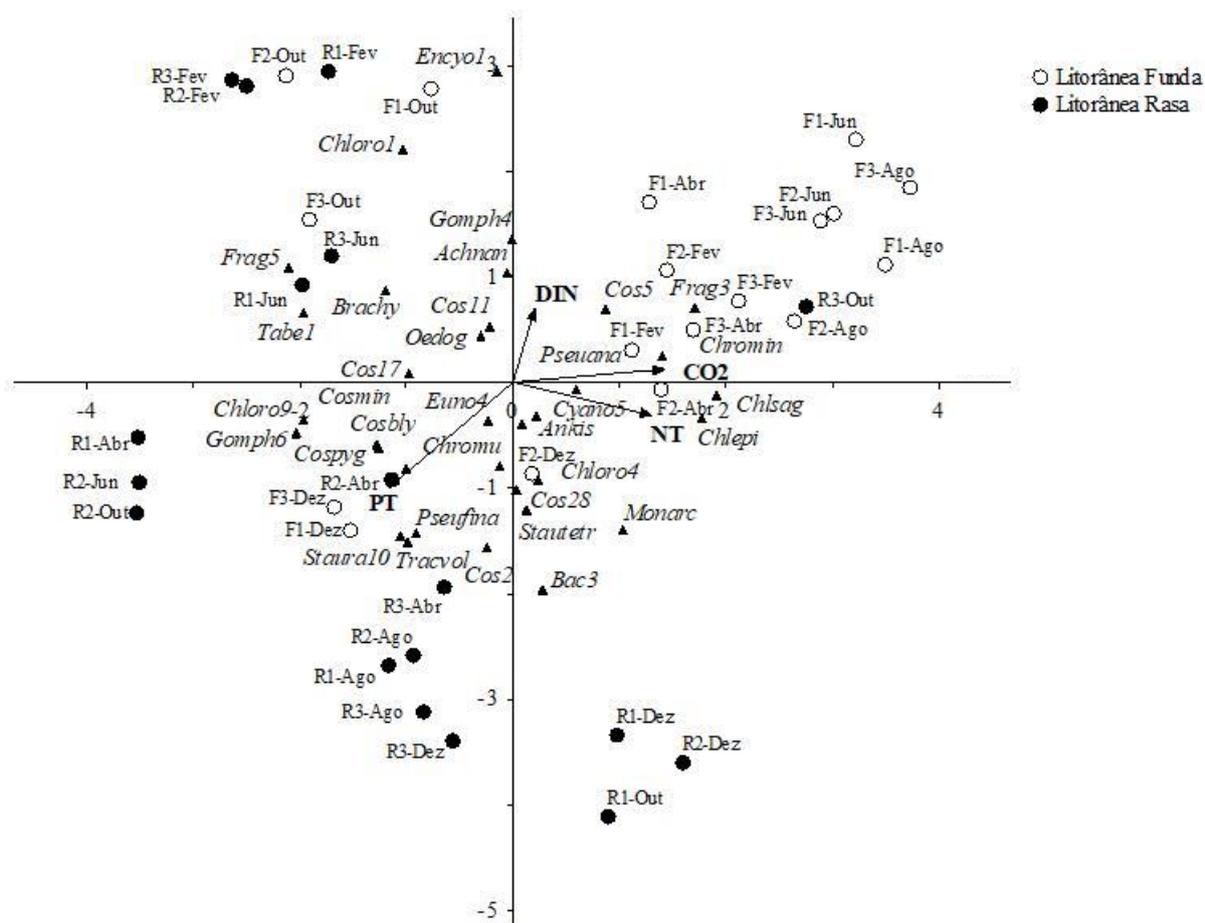


Figura 6. RDA da comunidade de algas epifíticas no *M. aquaticum* na região litorânea funda e rasa durante o período de estudo. Abreviações: unidades amostrais: as duas primeiras letras referem-se região amostrada (LF-litorânea funda e LR-litorânea rasa) e as últimas letras referem-se ao mês (Fev-fevereiro, Abr-abril, Jun-junho, Ago-agosto, Out-outubro, Dez-dezembro). Vetores: CO₂-CO₂ livre; NT – nitrogênio total; PT - fósforo total e DIN – nitrogênio inorgânico dissolvido. Correlação das espécies com os eixos 1 e 2 e seus respectivos códigos encontram-se na tabela 5.

Tabela 5. Correlação de Pearson (r) entre a densidade das algas epifíticas e os eixos 1 e 2 da RDA e seus respectivos códigos.

Táxons	Códigos	Eixo 1	Eixo 2
<i>Achnantheidium</i> sp.1	Achnan	-0,229	0,417
<i>Ankistrodesmus</i> sp.1	Ankis	0,124	-0,238
<i>Brachysira</i> sp.	Brachy	-0,513	0,471
<i>Chlamydomonas epibiotica</i>	Chlepi	0,585	0,091
<i>Chlamydomonas sagittula</i>	Chlsag	0,603	0,191
Chlorophyceae sp.1	Chloro1	-0,231	0,322
Chlorophyceae sp.4	Chloro4	0,156	-0,341
Chlorophyceae sp.9	Chloro9	-0,688	-0,421
<i>Chromulina</i> sp.	Chromu	-0,036	-0,274
<i>Chroococcus minutus</i>	Chromin	0,468	0,086
<i>Cosmarium blytii</i>	Cosbly	-0,382	-0,534
<i>Cosmarium</i> cf. <i>pygmaeum</i>	Cospyg	-0,214	-0,382
<i>Cosmarium</i> cf. <i>minutum</i>	Cosmin	-0,448	-0,214
<i>Cosmarium</i> sp. 11	Cos11	-0,064	-0,297
<i>Cosmarium</i> sp. 17	Cos17	-0,557	-0,127
<i>Cosmarium</i> sp. 2	Cos2	0,181	-0,717
<i>Cosmarium</i> sp. 28	Cos28	0,081	-0,453
<i>Cosmarium</i> sp. 5	Cos5	0,299	0,317
Cyanophyceae sp.5	Cyano5	0,157	0,062
Diatomacea sp.3	Bac3	0,199	-0,467
<i>Encyonema</i> sp.1	Encyo1	-0,073	0,590
<i>Eunotia</i> sp.4	Euno4	-0,068	-0,221
<i>Fragilaria</i> sp.3	Frag3	0,387	0,230
<i>Fragilaria</i> sp.5	Frag5	-0,808	0,381
<i>Gomphonema</i> sp.4	Gomph4	-0,001	0,621
<i>Gomphonema</i> sp.6	Gomph6	-0,714	-0,224
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	Monarc	0,178	-0,521
<i>Oedogonium</i> sp.	Oedog	0,153	0,030
<i>Pseudanabaena</i> sp.1	Pseuana	0,556	0,054
<i>Pseudodidymocystis fina</i>	Pseufina	-0,483	-0,582
<i>Staurastrum</i> sp.10	Staura10	-0,428	-0,716
<i>Staurastrum tetracerum</i>	Stautetr	-0,242	-0,588
<i>Tabellaria</i> sp. 1	Tabe1	-0,595	0,335
<i>Trachelomonas volvocina</i>	Tracvol	-0,294	-0,537

Análise conjunta das variáveis abióticas e da densidade do fitoplâncton

A análise de redundância (RDA) foi realizada com 5 variáveis ambientais e a densidade de 40 espécies de algas fitoplanctônicas cuja representatividade foi maior que 2% da densidade total (Figura 7, Tabela 6). Os autovalores do eixo 1 ($\lambda=1,8$) e 2 ($\lambda=1,5$) explicaram 65,3% da variabilidade total dos dados. A alta correlação espécie-ambiente para o eixo 1 (0,971) e 2 (0,938) indicou forte relação entre distribuição de espécies e variáveis ambientais. O teste de randomização de Monte Carlo mostrou que ambos os eixos são interpretáveis ($p = 0,001$).

As espécies descritoras do fitoplâncton foram ordenadas no eixo 1 da RDA principalmente em função da zonação do litoral na lagoa. As unidades amostrais referentes às três regiões estudadas nos meses de outubro e dezembro e também a unidades de agosto da zona litorânea funda e rasa foram ordenadas no lado positivo do eixo 1 e estiveram mais correlacionadas com os maiores valores de radiação subaquática e ortofosfato ($r>0,4$) e com as densidades de *Botryococcus* sp.4, *Cosmarium pygmaeum*, *Fragilaria* sp.8, *Synechocystis aquatilis* e *Trachelomonas volvocinopsis* ($r>0,4$). No lado negativo do eixo 1, foram ordenadas as unidades amostrais dos meses de fevereiro, abril e junho e apresentaram correlação com os maiores valores de DIN, nível hidrométrico ($r>0,7$) e com a espécie *Choricystis minor* ($r>-0,3$).

A PERMANOVA de 2-fatores mostrou que a estrutura taxonômica do fitoplâncton foi significativamente diferente entre os (F = 7.04; $p < 0,0001$) e as zonas da lagoa (F = 12.06; $p < 0,0009$), mas a interação entre espaço e tempo foi significativa (F = 5.34; $p < 0,0001$).

Tabela 6. Correlação de Pearson (r) entre a densidade fitoplâncton e os eixos 1 e 2 da RDA e seus respectivos códigos.

Táxons	Códigos	Eixo 1	Eixo 2
<i>Achnantheidium</i> sp.	Achnan	0,091	-0,052
<i>Botryococcus</i> sp.2	Botry2	0,050	0,398
<i>Botryococcus</i> sp.3	Botry3	0,235	0,412
<i>Botryococcus</i> sp.4	Botry4	-0,577	-0,224
<i>Chlamydomonas epibiotica</i>	Chlepi	0,324	0,274
<i>Chlamydomonas</i> sp.3	Chlamy3	0,201	0,001
<i>Choricystis minor</i>	Choricy	0,214	0,741
<i>Chromulina</i> sp.2	Chromu2	0,022	0,181
<i>Cosmarium</i> cf. <i>pygmaeum</i>	Cospyg	-0,455	-0,118
<i>Cosmarium</i> sp.28	Cos28	-0,733	-0,103
<i>Cosmarium</i> sp.38	Cos38	-0,435	0,158
<i>Cosmarium</i> sp.41	Cos41	-0,461	0,005
<i>Cryptomonas</i> sp.2	Crypto2	0,069	-0,198
<i>Cryptomonas</i> sp.4	Crypto4	-0,164	-0,114
<i>Dinobryon</i> cf. <i>sertularia</i>	Dinoser	0,227	-0,539
<i>Encyonema</i> sp.1	Encyo1	-0,135	0,286
<i>Euglena</i> sp.1	Eugle1	0,296	-0,034
<i>Euglena</i> sp.2	Eugle2	-0,052	-0,242
<i>Euglena</i> sp.3	Eugle3	0,228	0,285
<i>Euglena</i> sp.4	Eugle4	0,181	-0,218
<i>Eunotia</i> sp.4	Euno4	-0,113	0,089
<i>Fragilaria</i> sp.8	Frag8	0,109	-0,741
<i>Kirchneriella irregularis</i>	Kirchirre	0,161	0,261
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	Monarc	-0,686	-0,070
<i>Monoraphidium dybowskii</i>	Monody	-0,099	0,394
<i>Monoraphidium contortum</i>	Moncon	0,120	0,388
<i>Ochromonas</i> sp.	Ochro	0,216	0,297
<i>Pseudanabaena</i> sp.1	Pseuana	-0,058	0,316
<i>Scenedesmus ecornis</i>	Scecor	-0,776	0,076
<i>Scenedesmus</i> sp.1	Scenep1	-0,715	0,012
<i>Staurastrum tetracerum</i>	Stautetr	-0,747	0,006
<i>Stauroidesmus mamillatus</i>	Stauromami	-0,875	-0,132
<i>Stauroidesmus</i> sp.1	Stauro1	-0,778	0,031
<i>Synechocystis aquatilis</i>	Syneaqua	0,149	-0,244
<i>Teilingia</i> sp.	Teilin	-0,773	-0,022
<i>Tetrastrum komarekii</i>	Tetrakom	0,400	-0,532
<i>Trachelomonas</i> sp.3	Trache3	-0,197	-0,350
<i>Trachelomonas</i> sp.4	Trache4	0,299	0,477
<i>Trachelomonas volvocina</i>	Tracvol	-0,092	-0,271
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	Volvocino	-0,151	-0,592

4. Discussão

Estudo anterior evidenciou a ocorrência de duas fases limnológicas distintas em decorrência do período seca prolongado na lagoa marginal estudada, principalmente no início do ano do presente estudo (Capítulo 1). Dentro deste cenário, a variação da biomassa fotossintética das comunidades algais nos diferentes habitats foi bastante associada à zonação da lagoa, sendo as diferenças limnológicas e de biomassa mais acentuadas no período de menor volume (Fase 2) e na zona litorânea rasa (Capítulo 1). No presente capítulo, as mudanças na estrutura taxonômica da comunidade de algas epifíticas e planctônicas também foram encontradas entre as fases limnológicas e entre as zonas da lagoa (pelágica e litorânea). Tais observações foram constatadas tanto na análise de redundância realizada com as espécies descritoras, como pelas mudanças na composição de classes algais, espécies e formas de vida.

Em relação à estrutura taxonômica da comunidade de algas epifíticas durante o período de menor volume de água na lagoa (Fase 2, Capítulo 1), constatou-se que *Achnantheidium* sp. e *Fragilaria* sp.5 apresentaram as maiores contribuições para estrutura do epifíton. Na fase 2 foram encontradas as maiores concentrações de fósforo, que pode ter ocorrido tanto pela concentração de nutrientes na fase de menor volume ou pela ressuspensão do fósforo do sedimento devido a diminuição da profundidade, o que certamente favoreceu a alta abundância de diatomáceas na comunidade. Carapunarla *et al.* (2014) também relacionaram a abundância de diatomáceas à disponibilidade de nutrientes dissolvidos na planície de inundação do Rio Paraná, o que ocorreu devido a ressuspensão do sedimento no período de águas baixas.

Ainda sobre o epifíton, na zona litorânea rasa nos meses de menor volume na lagoa (Fase 2, Capítulo 1), Zygnemaphyceae foi uma classe importante para a estrutura da comunidade. Conforme Rodrigues & Bicudo (2001), essa classe pode ser dominante na ausência de distúrbio, particularmente decorrente da baixa precipitação e do pulso hidrológico. Algarte *et al.* (2006) afirmam que as desmídeas apresentam vantagens em ambientes mais protegidos,

como encontrado na zona litorânea rasa, onde a cobertura das macrófitas é elevada. Além disso, por serem algas de tamanho grande, desmídeas podem ser facilmente carregadas pelo fluxo de água (Coesel 1996) e distribuídas através da ação do efeito homogeneizador das correntes. Assim, na ausência do efeito da entrada de água na lagoa (Fase 2, de menor volume), as desmídias permaneceram em elevada abundância na zona litorânea rasa.

Em relação à comunidade fitoplanctônica, a maior mudança ocorreu na região litorânea rasa nos meses de menor volume na lagoa (Fase 2, Capítulo 1), com o aumento da densidade de Zygnemaphyceae, representada pela dominância de *Staurodesmus mamillatus*. As desmídeas podem ter sido favorecidas pela alta cobertura de macrófitas nesta fase limnológica (Capítulo 1), pois a presença de substratos naturais para o desenvolvimento de desmídias pode influenciar na riqueza, diversidade e abundância, já que essas algas dependem de um substrato para o seu desenvolvimento (Bland & Brook 1974, Coesel 1982). Além disso, as desmídeas podem ter sido favorecidas também pela baixa circulação de água que ocorreu na zona litorânea na fase 2 (menor volume) (Bland & Brook 1974, Barbosa *et al.* 2013).

S. mamillatus foi uma espécie abundante tanto epifíton como no fitoplâncton. Espécies de *Staurostrum*, com máxima dimensão linear menor do que 20 μ m, que é o caso de *S. mamillatus*, são consideradas espécies r-estrategistas, ou seja, são espécies de colonização rápida e rápida assimilação de nutrientes (Reynolds 2006, Barbosa *et al.* 2013). A presença de *S. mamillatus* no fitoplâncton pode ser explicada pela baixa taxa de afundamento dessa espécie, que é pequena se comparada a outras espécies de desmídias (Barbosa *et al.* 2013b). Todas essas características favorecem o sucesso de *S. mamillatus* nas condições encontradas na lagoa do Barbosa, na zona litorânea rasa durante a fase 2, pois conferem a essa espécie a habilidade de dominar comunidades em ambientes com condições estressantes, como a maior atenuação da luz (Reynolds, 2006), como encontrada na fase 2 da lagoa (Capítulo 1).

Duas espécies de *Chromulina* estiveram entre as espécies descritoras todo o período de estudo, em todas as regiões e comunidades amostradas. Isso se deve ao fato de que as

crisofíceas são algas oportunistas, de rápido crescimento, possuem flagelo e estratégias adaptativas para usar diferentes fontes de recursos em situações diversas (Almeida & Melo 2011, Pelegrini & Ferragut 2012). A presença de flagelo confere mobilidade às algas, possibilitando a busca por melhores condições na coluna de água (Sommer 1988). Portanto, as espécies de *Chromulina* possuem estratégias adaptativas que possibilitam seu sucesso em condições ambientais distintas e em diferentes períodos do ano e compartimentos diferentes, como encontrado no presente trabalho.

A principal diferença entre os habitats planctônicos e bentônicos é a estrutura de seus gradientes ambientais, que determinam as propriedades dos nichos das espécies e sua coexistência (Passy & Legendre, 2006). Portanto, se a estrutura do habitat muda, como ocorreu no caso da região litorânea rasa devido à redução do volume da lagoa, a fronteira entre estes habitats também muda. Em ecossistemas aquáticos, as algas apresentam requerimentos semelhantes e, por isso, os nichos se sobrepõem, causando importantes mudanças na estrutura das comunidades (Ricklefs 2001). A redução do volume de água e profundidade causou a zonação da lagoa ao longo do ano, levando a uma possível homogeneidade de condições ambiental entre o habitat epifítico e planctônico, favorecendo a ocorrência das mesmas espécies em diferentes habitats.

Durante o período de estudo, verificou-se a existência de duas fases limnológicas na lagoa: a fase 1, de maior volume e a fase 2, de menor volume, condições que afetaram a dinâmica, principalmente, da zona litorânea rasa. As comunidades algais responderam as essas alterações ambientais e a zonação da lagoa parece ter causado uma maior associação entre as comunidades algais de habitats distintos. A diminuição do volume pode ter causado a perda habitats para as algas na fase 2 da lagoa.

Referências bibliográficas

Algarte, V.M., Moresco, C., & Rodrigues, L. 2006. Algas do perifíton de distintos ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 28(3).

Almeida, F.F. & Melo, S. 2011. Estrutura da comunidade fitoplanctônica de um lago de inundação amazônico (Lago Catalão, Amazonas, Brasil). *Neotrop. Biol. Conserv.*, 6(2):112-123.

Barbosa, L. G., Barbosa, F. A. R. & Bicudo, C. E. M. 2013. Adaptive strategies of desmids in two tropical monomictic lakes in southeast Brazil: do morphometric differences promote life strategies selection? *Hydrobiologia* 710:157–171.

Barbosa, L. G., Barbosa, F. A. R., Araujo, G. J. M. & Bicudo, C. E. M. 2013b. The dominance of desmids in tropical monomictic lakes (SE Brazil). *Limnetica*, 32: 71-86.

Bichoff, A., Osório, N.C., Dunck, B. & Rodrigues, L. 2016. Periphytic algae in a floodplain lake and river under low water conditions. *Biota Neotropica* 16(3): e20160159.

Bicudo, C.E.M., Carmo, C.F., Bicudo, D.C., Henry, R., Piao, A.C.S., Santos, C.M. & Lopes, M.R.M. 2002. Morfologia e morfometria de três reservatórios do PEFI. In: D.C. Bicudo, M.C.Forti, & C.E.M. Bicudo (eds.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo. Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, pp. 141-158.

Birks, H.J.B. 2010. Numerical methods for the analysis of diatom assemblage data. In: J.P. Smol & E.F. Stoermer (eds). *The diatoms: Applications for the Environmental and Earth Science*, 2° ed. Editora Cambridge University Press, pp. 23-54.

Bland, R. D. & Brook A. J. 1974. The spatial distribution of desmids in lakes in northern Minnesota, USA. *Freshwater Biology* 4: 543–556.

Borduqui, M. & Ferragut, C. 2012. Factors determining periphytic algae succession in a tropical hypereutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 683, 109–122.

Brown, S.-D. & Austin, A.P. 1973. Spatial and temporal variation in periphyton and physicochemical conditions in the littoral of a lake. *Archiv für Hydrobiologie* 71: 183-232.

Burkholder, J. M. 1996. Interactions of benthic algae with their substrata. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.) *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 253-297.

Cano, M.G., Casco, M.A., Solari, L.C., Mac Donagh, M.E., Gabellone, N.A., Claps, M.C. 2008. Implications of rapid changes in chlorophyll-a of plankton, epipelon, and

epiphyton in a Pampean shallow lake: an interpretation in terms of a conceptual model. *Hydrobiologia* 614: 33-45.

Cano, M.G., Casco, M.A. & Claps, M.A. 2013. Vertical distribution of epiphyton biomass and diversity in a shallow lake during contrasting ecosystem regimes. *Aquatic Botany* 110: 38-47.

Cano, M. G., Casco, M. A. & Claps, M. C. 2016. Epipelon dynamics in a shallow lake through a turbid-and a clear- water regime. *Journal of Limnology*, 75, 355–368.

Carapunarla, L., Baumgartner, D. & Rodrigues, L. 2014. Community structure of periphytic algae in a floodplain lake: a long-term study. *Acta Sci. Biol. Sci.*, 36:147-154.

Cardoso, L. S., Faria, D.M., Crossetti, L. O. & Marques, D. M. 2018. Phytoplankton, periphyton, and zooplankton patterns in the pelagic and littoral regions of a large subtropical shallow lake. *Hydrobiologia*. doi.org/10.1007/s10750-018-3729-2.

Carrick, H. J., Aldridje, F. J. & Schelske, C. L. 1993. Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnology and Oceanography*, 38, 1179–1192.

Casco, M. A., Mac Donagh, M. E., Cano, M. G., Solari, L., Claps, M. C. & Gbellone, N. 2009. Phytoplankton and epipelon responses to clear and turbid phases in a seepage lake (Buenos Aires, Argentina). *International Review of Hydrobiology*, 94, 153–168.

Chase, J. M. 2007. Drought mediates the importance of stochastic community assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(44), 17430–17434.

Coesel, P.F.M. 1982 Structural characteristics and adaptations of desmids communities. *Journal of Ecology*, 70: 163-177.

Coesel, P.F.M. 1996. Biogeography of desmids. *Hydrobiologia*, 336:41-53.

Cronk, J. K. & Mitch, W. J. 1994. Periphyton productivity on artificial and natural surfaces in constructed freshwater wetlands under different hydrologic regimes. *Aquatic Botany*, 48, 325–341.

Davanso, R.C.S. & Henry, R. 2007. Composition and abundance of Chironomidae and Ephemeroptera in a lateral lake in the mouth zone of Paranapanema River into Jurumirim Reservoir (State of São Paulo). *Acta Limnol. Bras.* 19:131-142.

Dodds, W.K. 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems. *Journal of Phycology* 39: 840-849.

Downes, B.J., Lake, P.S., Schreiber, E.S.G. & Glaister, A. 1998. Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, upland stream. *Ecological Monographs* 68: 237-257.

Downing, A. L., & Leibold, M. A. 2002. Ecosystem consequences of species richness and composition in pond food webs. *Nature*, 416(6883), 837–841. doi:10.1038/416837^a

Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Pieur-Richard, A., Soto, D., Stiassny, M.L.J. & Sullivan, C.A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biology Reviews* 81: 163-182.

Dunck, B., Bortolini, J. C., Rodrigues, L., Rodrigues, L. C., Jati, S. & Train, S. 2013. Functional diversity and adaptative strategies of planktonic and periphytic algae in isolated tropical floodplain lake. *Brazilian Journal of Botany*, 36, 257–266.

Ferragut, C., Bicudo, D.C., Vercellino, I.S. 2013. Amostragem e medidas de estrutura da comunidade perifítica. In: A. Schwarzbold, A.L. Burliga & L.C. Torgan (eds.). *Ecologia do perifíton*. Rima, São Carlos, p. 157-177.

Flöder, S., Combüchen, A., Pasternak, A. & Hillebrand, H. 2006: Competition between pelagic and benthic microalgae for phosphorus and light. *Aquatic Science* 68: 425–433.

Genkai-Kato, M., Vadeboncoeur, Y., Liboriussen, L. & Jeppesen, E. 2012. Benthic–planktonic coupling, regime shifts, and whole-lake primary production in shallow lakes. *Ecology* 93(3): 619–631.

Goldsborough, L.G. & Robinson, G.G.C. 1996. Pattern in wetlands. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 77–117.

Golterman, H.L. & Clymo, R.S. 1971. *Methods for chemical analysis of freshwaters*. Blackwell Scientific Publications, International Biological Program, Oxford.

Golterman, H.L., Clymo, R.S. & Ohmstad, M.A.M. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Granado, D. C., R. Henry & A. Tucci, 2009. Influência da variação hidrométrica na comunidade fitoplanctônica do rio Paranapanema e de uma lagoa marginal na zona de desembocadura na represa de Jurumirim (SP). *Hoehnea* 36: 113–129.

Granado, D.C. & Henry, R. 2014. Phytoplankton community response to hydrological variations in oxbow lakes with different levels of connection to a tropical river. *Hydrobiologia* 721: 223-238.

Hammer, O., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.

Hansson, L. A. 1988. Effects of competitive interactions on the biomass development of planktonic and periphytic algae in lakes. *Limnology and Oceanography*, 33, 121–128.

Havens, K. E., East, T. L., Meeker, R. H., Davis, W. P. & Steinman, A. D. 1996. Phytoplankton and periphyton responses to in situ experimental nutrient enrichment in a shallow subtropical lake. *Journal of Plankton Research*, 18, 551–566.

Henry, R., Ushinohama, E. & Ferreira, R.M.R. 2006. Fitoplâncton em três lagoas marginais ao Rio Paranapanema e em sua desembocadura no Reservatório de Jurumirim (São Paulo, Brasil) durante um período prolongado de seca. *Revista Brasileira de Botânica* 29: 399-414.

Henry, R. 2003. Os ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos: conceitos, tipos, processos e importância. Estudo de aplicação em lagoas marginais ao rio Paranapanema na zona de sua desembocadura na represa de Jurumirim. In: Henry, R. (Org.). *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: Fundibio, Rima, p. 1-28.

Henry, R. 2005. The connectivity of the Paranapanema river with two lateral lakes in its mouth zone into the Jurumirim reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 17(1):57-69.

Huszar, V.L.M., Bicudo, D.C., Giani, A., Ferragut, C., Martinelli, L.A. & Henry, R. 2005. Subsídios para a compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e perifiton em ecossistemas continentais lênticos no Brasil. In: Roland, F., César, D. & Marinho, M. (ed.) *Lições em Limnologia: Fronteiras conceituais*. Rima Editora, São Carlos, Brazil, pp. 243-260.

Iwaniec, D.M., Childers, D.L., Rondeau, D., Madden, C.J. & Colin Saunders, C. 2006. Effects of hydrologic and water quality drivers on periphyton dynamics in the southern Everglades. *Hydrobiologia* 569:223–235.

Junk, W. J. 1980. Áreas inundáveis – um desafio para a limnologia. *Acta Amazonica*, 10, 775–795.

Junk, W. J. 1996. Ecology of floodplains – a challenger for tropical limnology. In F. Schiemer & K. T. Boland (Eds.), *Perspectives in tropical limnology* (pp. 255–265). Amsterdam: Academic Publishing.

Kangur, K., Möls, T., Milius, A. & Laugaste, R. 2003. Phytoplankton response to changed nutrient level in Lake Peipsi (Estonia) in 1992–2001. *Hydrobiologia* 506-509: 265-272.

Larson, C. A. & Passy, S. I. 2013. Rates of species accumulation and taxonomic diversification during phototrophic biofilm development are controlled by both nutrient supply and current velocity. *Applied and Environmental Microbiology*, 79: 2054–2060.

Liboriussen, L. & Jeppesen, E. 2003. Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology* 48: 418-431.

Liboriussen, L. & Jeppesen, E. 2006. Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology* 51: 95-109.

Lowe, R.L. & Pan, Y. 1996. Benthic algal communities as biological monitors. *In*: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 705-739.

Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le-Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.

Mackereth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F. 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Titus Wilson and Son Ltda, Kendall.

MacArthur, R.H. & MacArthur, J.W. 1961. On Bird Species Diversity. *Ecology* 42: 594-598.

Magurran, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science, Oxford.

McCormick, P. V. & O'Dell, M. B. 1996. Quantifying periphyton responses to phosphorus in the Florida Everglades: a synoptic-experimental approach. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 248–262.

McCormick, P.V. & Stevenson, R.J. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34: 726-733.

McCune, B. & Mefford, M.J. 2011. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data*.

Monti, D & Legendre, P. 2009. Shifts between biotic and physical driving forces of species organization under natural disturbance regimes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66: 1282–1293.

Morales, E.A & Trainor, F.R. 1999. Phenotypic plasticity in *Scenedesmus*: Implications for algal taxonomy and ecology. *Gayana Botanica* 56: 77-86.

Moschini-Carlos, V., Pompêo, M.L.M. & Henry, R. 1998. Temporal variation in C, N and P of the temporal aquatic macrophyte *Echinocloa polystachya* (H.B.K.) Mitch. in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Japanese Journal of Limnology* 59: 281-294.

Moschini-Carlos, V., Henry, R. & Pompêo, M. L. M. 2000. Seasonal variation of biomass and productivity of the periphytic community on artificial substrata in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, 434, 35–40.

Moss, B. 1981. The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. II. Interrelationships between water chemistry, phytoplankton populations and periphyton

populations in a shallow lake and associated experimental reservoirs ('Lund tubes'). *European Journal of Phycology* 16: 59-76.

Nekola, J. C., & White, P. S. 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography*, 26(4), 867–878. doi:10.1046/j.1365-2699.1999.00305.x

Nogueira, M. G., Henry, R., & Maricatto, F. E. 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, Sao Paulo, Brazil. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 4(3-4), 107–120. doi:10.1046/j.1440-1770.1999.00086.x

Odum, E.G. 1983. *Ecologia*. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro.

Passarge, J., Hol, S., Escher, M. & Huisman, J. 2006. Competition for nutrients and light: stable coexistence, alternative stable states, or competitive exclusion? *Ecological Monographs*, 76(1): 57–72.

Passy, S.I. & Legendre, P. 2006. Are algal communities driven toward maximum biomass? *Proc. R. Soc. B.* 273: 2667–2674.

Passy, S.I. & Blanchet, F.G. 2007. Algal communities in human-impacted stream ecosystems suffer beta-diversity decline. *Diversity and Distributions*, 13: 670–679.

Pelegrini, B.P. & Ferragut, C. 2012. Variação sazonal e sucessional da comunidade de algas perifíticas em substrato natural em um reservatório mesotrófico tropical. *Acta Bot. Bras.*, 26:810-821.

Pouličková, A., Hašler, P., Lysáková, M. & Spears, B. 2008. The ecology of freshwater epipellic algae: an update. *Phycologia* 47: 437–450.

Pompêo, MLM., Henry, R. & Moschini-carlos, V. 1999. *Ecologia de Echinochloa polystachya* do Rio Paranapanema – SP, Brasil. In Henry, R. (Ed.). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: FAPESP; FUNDIBIO, p.737-767.

Reynolds, C.S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Ricklefs, R.E. 2001. *A economia da natureza*. 5a ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

Rodrigues, L. & Bicudo, D.C. 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper River floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 235-248.

Roeder, D.R. 1977. Relationships between phytoplankton and periphyton communities in a central Iowa stream. *Hydrobiologia* 56: 145-151.

Sand-Jensen, K. 1983. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. *In*: R.G. Wetzel (ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 63-71.

Sand-Jensen, K. & Borum, J. 1991. Interactions among phytoplankton periphyton and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany* 41: 137-175.

Santos, T.R. 2017. Dinâmica da comunidade de algas planctônicas, perifíticas e metafiticas em reservatório tropical raso: um estudo observacional e experimental. Tese de doutorado, Instituto de Botânica, São Paulo.

Sartory, D. P. & Grobbelaar, J. U. 1984. Extraction of chlorophyll-a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 114, 177–187.

Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M.L., Moss, B. & Jeppesen, E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 275-279.

Scheffer, M., Szabo, S., Gragnani, A., van Nes, E.H., Rinaldi, S., Kautsky, N., Norberg, J., Roijackers, R.M.M. & Franken, R.J.M. 2003. Floating plant dominance as a stable state. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 100: 4040–4045.

Schindler, D. E. & Scheuerell, M. D. 2002. Habitat coupling in lake ecosystems. *Oikos*, 98, 177–189.

Shimabukuro, E. M. 2013. Os macroinvertebrados bentônicos em lagoas marginais ao Rio Paranapanema: avaliação dos hábitos alimentares de Chironomidae e Ephemeroptera através de análise do conteúdo estomacal. Dissertação de mestrado, UNESP, Botucatu.

Silva, C. V. & Henry, R. 2013. Aquatic macroinvertebrates associated with *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth and relationships with abiotic factors in marginal lentic ecosystems (São Paulo, Brazil) . *Brazilian Journal of Biology*, 73, 149–162.

Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.

Sommer, U. 1988. Some size relationships in phytoflagellate motility. *Hydrobiologia* 161: 125–131.

Soininen, J. McDonald, R. & Hillebrand, H. 2007. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* 30: 3-1.

Steinman A.D., Meeker R.H., Rodusky A.J., Davis W.P. & McIntire C.D. 1997. Spatial and temporal distribution of algal biomass in a large, subtropical lake. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 29-50.

Stevenson, R.J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habits. In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds.). *Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, pp. 3-30.

Stevenson, R. J. 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 248–262.

Stevenson, R.J. & Smol, J.P. 2003. Use of Algae in Environmental Assessments. In: J.D. Wehr, & R.G. Sheath (eds.). *Freshwater Algae of North America*. Academic Press, California pp. 775-804.

Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1960. A manual of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 125: 1-185.

Taniguchi, G. M., Bicudo, D.C. & Senna, P. A. C. 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e ficoperífiton em uma lagoa da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *Revista Brasileira de Botânica*, 28, 137–147.

Tavares, D.A. 2018. Efeitos do enriquecimento por N e P e da razão luz:nutrientes sobre a estrutura da comunidade de algas planctônicas e epipélicas. Dissertação de mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo.

Thomaz, S. M., Roberto, M. C. & Bini, L. M. 1997. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In A. E. A. M. Vazzoler, A. A. Agostinho & N. S. Hahn (Eds.) *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos* (pp. 73–102). Maringá: EDUEM.

Thomaz, S. M., Bini, L. M. & Pagioro, T. A. 2004. Métodos em limnologia: macrófitas aquáticas. In C. E. Bicudo & D. C. Bicudo (Orgs.), *Amostragem em Limnologia* (pp. 193–212). São Carlos: Rima.

Tilman, D. 1994. Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology* 75: 2-16.

Trochine, C., Guerrieri, M.E., Liboriussen, L., Lauridsen, T.L. & Jeppesen, E. 2014. Effects of nutrient loading, temperature regime and grazing pressure on nutrient limitation of periphyton in experimental ponds. *Freshwater Biology* 59: 905-917.

Tundisi, T. Tundisi-Matsumura, C. S. Galli, (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, pp. 413-438.

Vadeboncoeur, Y., Lodge, D. M. & Carpenter, S. R. 2001. Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats. *Ecology* 82: 1065-1077.

Vadeboncoeur, Y. & Steinman, A. D. 2002. Periphyton function in lake ecosystems. *The Scientific World Journal*, 2, 1–20.

Vadeboncoeur, Y., Devlin, S.P., McIntyre, P.B. & Vander Zanden, M.J. 2014. Is there light after depth? Distribution of periphyton chlorophyll and productivity in lake littoral zones. *Freshwater Science* 33(2): 524–536.

Valderrama, G. C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10, 109–112.

Werner, P. & Köhler, J. 2005. Seasonal dynamics of benthic and planktonic algae in a nutrient-rich lowland river (Spree, Germany). *International Review of Hydrobiology*, 90, 1–20.

Wetzel, R.G. 1996. Benthic algae and nutrient cycling in lentic freshwater ecosystems. *In: R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (ed). Algal Ecology, freshwater benthic ecosystems.* Academic Press, New York, pp.641-667.

Zheng, L. & Stevenson, R. J. 2006. Algal assemblages in multiple habitats of restored and extant wetlands. *Hydrobiologia*, 561, 221–238.

Conclusão geral

O presente trabalho avaliou conjuntamente a dinâmica das comunidades de algas planctônicas, epipélicas e epifíticas durante um ano em uma lagoa marginal ao Rio Paranapanema, na zona pelágica e litorânea funda e rasa, com elevada abundância de macrófitas aquáticas. As principais conclusões foram:

- A desconexão da lagoa com o rio durante todo o período de estudo levou a redução gradual do volume de água da lagoa ao longo do ano, promovendo a ocorrência de duas fases limnológicas distintas que foram caracterizadas de acordo com a ordenação pela PCA dos dados abióticos da zona pelágica e litorânea, o volume da lagoa e da variação do nível hidrométrico da represa.
- A **fase 1** (janeiro a junho) caracterizou-se pelas maiores razões NT:PT, elevada concentração de NT, baixa precipitação pluviométrica, baixa biomassa do fitoplâncton, elevada biomassa do epifíton, dominância de *Myriophyllum aquaticum* e maior volume da lagoa.
- A **fase 2** (julho a dezembro), maior reflexo da seca do início do ano, sendo as condições ambientais caracterizadas pela maior precipitação pluviométrica, pela elevada concentração de PT, abundância de *Myriophyllum aquaticum* e aumento de *Eichhornia azurea*, elevada atenuação da luz e o menor volume da lagoa.
- A maior biomassa fotossintética do fitoplâncton, epipelon e epifíton ocorreu durante a Fase 1 na zona pelágica e litorânea funda. Na zona litorânea rasa, a maior biomassa fotossintética do fitoplâncton e epipelon foram encontradas na Fase 2. A variação temporal da biomassa fotossintética das comunidades algais apresentou diferenças entre as diferentes zonas, evidenciando a influência da zonação sobre fitoplâncton, epipelon e epifíton
- A estrutura taxonômica das comunidades algais variou sazonalmente e espacialmente. A redução do volume de água e profundidade causou a zonação da lagoa ao longo do ano, levando a uma possível homogeneidade de condições ambientais entre o habitat epifítico e

planctônico, favorecendo a ocorrência das mesmas espécies em diferentes habitats, como foi observado com *Staurodesmus mamillatus*. A diminuição do volume pode ter causado a perda de habitats para as algas na fase 2 da lagoa.

- A diversidade, riqueza aumentaram com a diminuição do volume e da profundidade da lagoa, além da maior similaridade e o número de espécies comuns entre fitoplâncton e epifíton, principalmente na zona litorânea rasa, durante a fase 2. A diminuição do volume e da profundidade da lagoa favoreceram a maior similaridade e a maior ocorrência de espécies comuns entre fitoplâncton e perifíton. As condições de seca extrema, como a que ocorreu no período de estudo, parecem diminuir a “barreira” entre o habitat planctônico e epifítico e, possivelmente, causam uma maior interação entre as comunidades de habitats distintos.

Considerações finais

A análise conjunta das comunidades algais evidenciou intensa inter-relação entre os autótrofos, o que tem reflexo direto sobre o funcionamento do ecossistema. Mudanças em uma comunidade algal pode afetar a dinâmica das demais comunidades algais devido à forte inter-relação entre os autótrofos.

É importante destacar que o período de estudo foi caracterizado por um evento de seca extrema (Nobre et al. 2016), o que deve se tornar mais frequentes no futuro próximo devido às mudanças climáticas e a diminuição de chuvas (Barnett et al. 2005, Woodward et al. 2010). Considerando a variação da estrutura da comunidade de algas, as alterações causadas pela seca prolongada, como a diminuição do volume, profundidade e área parecem atuar sobre a estruturação da comunidade de algas epifíticas e fitoplanctônicas. O conhecimento de como as comunidades algais respondem às mudanças drásticas no clima torna-se importante para entendermos como as comunidades biológicas responderão às mudanças climáticas futuras.

<i>Fragilaria</i> sp.5	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Fragilaria</i> sp.6	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.8	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.9	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X
<i>Frustulia</i> sp.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson) Lange-Bertalot & Krammer	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Frustulia</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.2	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.3	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Gomphonema</i> sp.4	X	-	X	-	X	X	X	X	-	X	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.5	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.6	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	X	-
<i>Gomphonema</i> sp.7	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.2	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Pinnularia</i> sp.5	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Stauroneis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Stenopterobia</i> sp.	-	-	X	-	X	X	-	-	-	X	-	-
<i>Tabellaria</i> sp.2	-	X	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
Chlorophyceae												
<i>Ankistrodesmus bernardii</i> Komárek	-	-	-	X	X	X	-	X	X	-	-	X
<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov	X	-	X	-	X	X	X	X	X	-	-	-
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	X	X	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda	X	-	X	-	X	X	-	X	X	X	-	-
<i>Ankistrodesmus</i> sp.1	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-

<i>Botryococcus</i> sp.1	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Botryococcus</i> sp.2	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Botryococcus</i> sp.3	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryococcus</i> sp.4	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
<i>Characium</i> sp.1	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Chlamydomonas debaryana</i> Goroschankin (<i>Gorozhankin</i>)	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
<i>Chlamydomonas epibiotica</i> Ettl	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas gloeopara</i> Rodhe & Skuja	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-
<i>Chlamydomonas sagittula</i> Skuja	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Chlamydomonas</i> sp.2	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chlamydomonas</i> sp.3	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck (Beijerinck)	X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	X	-
Chlorophyceae sp.1	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
Chlorophyceae sp.2	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.3	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.4	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-	X	-
Chlorophyceae sp.5	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.6	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.7	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.8	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.9	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
Chlorophyceae sp.10	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.11	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.12	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Chlorophyceae sp.13	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Chlorophyceae sp.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Choricystis minor</i> (Skuja) Fott	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	-
<i>Closteriopsis acicularis</i> (Chodat) J.H.Belcher & Swale	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-

<i>Scenedesmus alternans</i> Reinsch	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Scenedesmus linearis</i> Komárek	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Scenedesmus obtusus</i> Meyen	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Scenedesmus</i> sp.2	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp.3	-	-	X	-	-	-	X	X	X	-	X	X
<i>Scenedesmus</i> sp.4	-	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X	-
<i>Scenedesmus</i> sp.6	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-	X
<i>Scenedesmus</i> sp.7	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Scenedesmus</i> sp.8	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus</i> sp.9	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
<i>Scenedesmus</i> sp.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Scenedesmus</i> sp.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Tetraëdron</i> sp.	-	-	-	-	X	-	X	X	-	-	X	-
<i>Tetrastrum komarekii</i> Hindák	X	-	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X
<i>Tetrastrum</i> sp.	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Cryptophyceae												
<i>Cryptomonas curvata</i> Ehrenberg	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Cryptomonas</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-
<i>Cryptomonas</i> sp.2	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X
<i>Cryptomonas</i> sp.3	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Cryptomonas</i> sp.4	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X
<i>Cryptomonas</i> sp.5	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Chrysophyceae												

<i>Chromulina</i> sp.	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Chromulina</i> sp.2	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X
Chrysophyceae sp.1	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X
<i>Lagynion macrotrachelum</i> (Stokes) Pascher	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ochromonas</i> sp.	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria												
<i>Aphanocapsa elachista</i> West & G.S.West	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aphanocapsa</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Choroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
Cyanobacteria sp.10	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.1	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Cyanobacteria sp.11	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Cyanobacteria sp.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
Cyanobacteria sp.3	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.4	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.5	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.6	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.7	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.8	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria sp.9	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	-
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Pseudanabaena</i> sp.2	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek	X	-	-	X	-	-	X	-	X	-	X	-
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X
Dinophyceae												

<i>Peridinium</i> sp.	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Peridinium gatunense</i> Nygaard	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Peridinium umbonatum</i> F.Stein	-	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-
Euglenophyceae											
<i>Euglena</i> sp.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euglena</i> sp.1	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Euglena</i> sp.2	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Euglena</i> sp.3	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-
<i>Euglena</i> sp.4	-	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-
<i>Euglena</i> sp.5	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X
<i>Euglena</i> sp.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Phacus curvicauda</i> Svirenko	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Phacus</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Phacus</i> sp.2	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Phacus</i> sp.3	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phacus</i> sp.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Trachelomonas abrupta</i> Svirenko [Swirenko]	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein	X	X	-	X	-	X	-	-	-	X	-
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F.Stein	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Trachelomonas</i> sp.1	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-
<i>Trachelomonas</i> sp.2	-	X	-	X	-	-	X	-	-	-	X
<i>Trachelomonas</i> sp.3	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Trachelomonas</i> sp.4	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	X
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	X
Oedogoniophyceae											

<i>Bulbochaete</i> sp.	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oedogonium</i> sp.	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-
Trebouxiophyceae												
<i>Nephrocitium</i> sp.	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-
Xanthophyceae												
<i>Characiopsis</i> sp.1	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Characiopsis</i> sp.2	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Zygnemaphyceae												
<i>Closterium</i> sp.	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.1	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Closterium</i> sp.2	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.3	-	-	-	-	X	-	X	-	X	X	X	-
<i>Closterium</i> sp.4	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.5	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-
<i>Closterium</i> sp.6	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.7	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.8	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-	X
<i>Closterium</i> sp.9	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.10	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Cosmarium blyttii</i> Wille	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium pygmaeum</i> W.Archer	X	X	-	-	X	-	X	-	X	-	X	X
<i>Cosmarium minutum</i> Delponte	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Cosmarium majae</i> Strøm	X	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Cosmarium ocellatum</i> B.Eichler & Gutwinski	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	X

<i>Cosmarium pachydermum</i> P.Lundell	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium pseudoexiguum</i> Raciborski	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium</i> sp.4	X	-	-	X	X	-	X	X	-	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.5	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.6	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.7	X	-	X	-	X	-	-	-	X	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.8	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.9	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cosmarium</i> sp.12	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.13	X	-	X	-	X	X	X	X	X	-	-	X
<i>Cosmarium</i> sp.14	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.15	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.16	-	-	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.17	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.18	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.19	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.20	-	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.21	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.22	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.23	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.24	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.25	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.26	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.27	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-
<i>Cosmarium</i> sp.28	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Cosmarium</i> sp.29	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-

<i>Cosmarium</i> sp.30	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.31	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
<i>Cosmarium</i> sp.32	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.33	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X
<i>Cosmarium</i> sp.34	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
<i>Cosmarium</i> sp.35	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.36	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.37	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.38	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.39	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.40	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X
<i>Cosmarium</i> sp.41	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Cosmarium</i> sp.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Desmidium</i> sp.1	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Euastrum abruptum</i> Nordstedt	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-
<i>Euastrum</i> sp.1	X	-	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-
<i>Euastrum</i> sp.2	X	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-
<i>Euastrum</i> sp.3	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-
<i>Euastrum</i> sp.4	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X
<i>Euastrum</i> sp.5	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Haplotenium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Micrasterias furcata</i> C.Agardh ex Ralfs	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-
<i>Micrasterias</i> sp.1	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Micrasterias</i> sp.2	-	X	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-
<i>Micrasterias</i> sp.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Mougeotia</i> sp.	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Onychonema</i> sp.2	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Penium</i> sp.	X	-	X	-	X	X	-	-	X	-	X	X

<i>Penium</i> sp.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
<i>Pleurotaenium</i> sp.	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spirogyra</i> sp.	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X
<i>Staurastrum leptocladum</i> Nordstedt	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
<i>Staurastrum quadrangulare</i> Brébisson	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.1	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.2	X	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.3	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Staurastrum</i> sp.4	X	X	-	X	-	-	-	X	X	-	X	X
<i>Staurastrum</i> sp.5	X	-	-	-	X	-	-	X	-	X	X	X
<i>Staurastrum</i> sp.6	X	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.7	X	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.8	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.9	-	X	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.10	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Staurastrum</i> sp.11	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Staurastrum</i> sp.12	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X
<i>Staurastrum</i> sp.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Staurodesmus convergens</i> (Ehrenberg ex Ralfs) S.Lillieroth	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Staurodesmus dejectus</i> (Brébisson) Teiling	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Staurodesmus mamillatus</i> (Nordstedt) Teiling	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Staurodesmus</i> sp.1	X	-	-	-	X	-	X	X	-	X	-	X
<i>Staurodesmus</i> sp.2	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	X	-
<i>Staurodesmus</i> sp.3	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staurodesmus</i> sp.4	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Staurodesmus</i> sp.5	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-

<i>Staurodesmus</i> sp.6	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Staurodesmus</i> sp.7	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-
<i>Staurodesmus</i> sp.8	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	-
<i>Teilingia</i> sp.	-	X	-	-	-	X	-	X	X	X	-	X
<i>Zygogonium</i> sp.	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zygnemaphyceae</i> sp.1	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-