



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

NICOLLI CRISTINA OSÓRIO

**Diatomáceas como bioindicadoras em estudo de longa duração
na planície de inundação do alto rio Paraná**

Maringá
2021

NICOLLI CRISTINA OSÓRIO

**Diatomáceas como bioindicadoras em estudo de longa duração
na planície de inundação do alto rio Paraná**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ecologia e Limnologia.
Área de Concentração: Ecologia e Limnologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Liliana Rodrigues

Maringá
2021

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

- O83d Osório, Nicolli Cristina, 1992-
Diatomáceas como bioindicadoras em estudo de longa duração na planície de inundação do alto rio Paraná / Nicolli Cristina Osório. -- Maringá, 2021.
140 f. : il. (color.).
- Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2021.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Liliana Rodrigues.
1. Algas perifíticas - Comunidades, Ecologia de - Bioindicadores - Mudanças climáticas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Algas perifíticas - Bioindicadores - Mudanças climáticas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 3. Diatomáceas - Taxonomia - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 4. Microalgas perifíticas de água doce - Jogos didáticos. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -579.85178209816

NICOLLI CRISTINA OSÓRIO

**Diatomáceas como bioindicadoras em estudo de longa duração
na planície de inundação do alto rio Paraná**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof.^a Dr.^a Liliana Rodrigues
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Fabiana Schneck
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Prof.^a Dr.^a Elaine Cristina Rodrigues Bartozek
Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu (UNILA)

Dr.^a Cláudia Costa Bonecker
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Dr. Alfonso Pineda
Universidade Estadual de Maringá (Pós-graduando PEA/UEM)

Aprovada em: 27 de abril de 2021.

Local de defesa: Realizado em *home office*, via acesso remoto por videoconferência pelo aplicativo Google Meet, no endereço eletrônico meet.google.com/zzq-pyir-gbr, devido a situação do Covid-19.

*'Dedico este trabalho aos meus
pais, José Antônio e Elizabete'.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer todos da minha família pela força, carinho e orações. Em especial aos meus pais José Antônio e Elizabete por todo amor, dedicação, incentivo e apoio em todos os momentos e a minha irmã, Anna Julia, que é minha companhia diária e meu grande apoio. Amo muito vocês!

Toda minha gratidão a minha orientadora profa. Dr.^a Liliana Rodrigues, que ao longo desses anos tem sido muito mais que minha “mãe científica” e tem acreditado em mim muito mais do que sou capaz, está sempre disposta a dar bons conselhos e facilitou muito essa jornada acadêmica com seus ensinamentos, apoio, paciência e abraços acolhedores. Amo você!

Agradeço os membros da banca examinadora, por terem aceitado prontamente o convite para contribuir nesta etapa do trabalho.

Sou muito grata por toda ajuda, atenção do Fernando Miranda Lansac Tôha (Nando) que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sempre disposto a ajudar a todos e comigo não foi diferente, aprendi demais com você. Muito obrigada!

Gostaria de agradecer também ao Luc Ector e ao Carlos Wetzel por abrirem as portas do LIST e me proporcionarem a oportunidade de me aprofundar ainda mais no mundo das diatomáceas. Pude vivenciar e aprender muito mais do que eu imaginava. Sou eternamente grata pelos ensinamentos e apoio. Espero poder continuar essa parceria!

Agradeço ao professor Maurilio Campano Junior e aos seus alunos, Felipe Bezerra de Assis, Marvin Massaru Tomizawa, João Pedro Broietti Pissolito, Vitor Barbosa, Luiz Henrique Moreira Montanher, Renato Carrazoni Santana, que me auxiliaram prontamente com a ideia do jogo virtual e que graças à parceria e ajuda de cada um estamos colocando esta ideia em prática.

Minha gratidão por ter convivido e aprendido muito com todos os meus companheiros e amigos do laboratório de ecologia de algas perifíticas ao longo de 10 anos. Cada um de vocês me proporcionou experiências únicas. Agradeço em especial aos que conviveram comigo durante a fase do doutorado: Andressa, Aparecida, Bárbara (obrigada por estar sempre aberta a me ouvir e disposta a ajudar), Daiane, Helivânia (pela amizade linda que construímos), Lorena, Luciana (pelo carinho, atenção, viagens e os conselhos mais

sinceros), Maria Gabriela, Ubirajara (pelos momentos de superação que me encorajaram).

Agradeço em especial a grande amiga que o laboratório me deu, Daiane. A Dai é daquelas amigas que você sente falta de cada momento, mesmo estando longe ela tem sido minha grande incentivadora, ajudando em cada etapa deste processo. Gratidão por ter uma amiga tão especial.

Gratidão também por conviver com um parceiro tão especial que a vida me deu, Augusto, que sempre foi meu grande motivador e que torce a cada pequena conquista. Obrigada por estar sempre disposto a me ouvir, ajudar e acolher diante das várias etapas deste trabalho.

Agradeço a cada professora e professor que fez com que todo esse processo de crescimento e aprendizagem se tornasse real. Muito obrigada pelos ensinamentos concedidos, fundamentais para minha formação. Em especial agradeço a Dr.^a Evanilde Benedito, Dr.^a Claudia Bonecker, Dr.^a Susicley, Dr.^a Luzia Rodrigues e Dr. Roger Mormul que me propuseram grandes oportunidades e tenho grande carinho.

Gratidão aos amigos que a vida me proporcionou e que fazem uma grande diferença no dia a dia. Sintam-se todos citados aqui.

Agradeço ao Matheus (Max) que abriu meus olhos ao mundo da extensão e que me possibilitou entender que o processo de doutoramento é muito mais completo quando a gente une pesquisa, ensino e extensão. Obrigada pela confiança!

Agradeço todos da equipe de campo da base do Nupélia, em especial ao Tião e Alfredinho por estarem sempre dispostos a ajudar; Lucão que me ensinou em todos os momentos de coletas, sempre com muita descontração (sou muito grata por ter aprendido com você), e ao Tato, uma pessoa com o coração infinito e que deixa meus dias mais leves a cada chocolatinho e um “Oh menina”.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA) e ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia), pelo apoio logístico para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à secretaria do PEA, à Elizabete Custódio da Silva (Bete) e à Jocemara Celestino dos Santos (Jô) pelas ajudas burocráticas, por todo apoio, carinho e sempre

nos tranquilizar nos momentos difíceis. Também agradeço a Marlyse e o Norton, da secretaria do Nupélia que sempre foram muito solícitos.

Minha gratidão a Biblioteca Setorial do Nupélia, especialmente a Maria Saete Ribelatto Arita que sempre me recebeu de braços abertos e me trouxe palavras muito acolhedoras durante esse processo e ao João Fábio Hildebrandt, sempre muito atencioso.

Agradeço ao Laboratório de Limnologia, à Ana Paula Bonini e ao Ranulfo Junior pelas grandes ajudas, em cada preparo de materiais para análise e por ensinar sempre coisas novas. Obrigada por toda parceria, paciência e momentos de descontração.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Gostaria também de agradecer à todas as pessoas que não foram citadas aqui, mas que ajudaram direta ou indiretamente para que este trabalho se tornasse realidade.

Agradeço a todos que acreditam na ciência e as pesquisadoras e pesquisadores que se superam a cada obstáculo.

Diatomáceas como bioindicadoras em estudo de longa duração na planície de inundação do alto rio Paraná

RESUMO

Ecossistemas de água doce como a planície de inundação do alto rio Paraná estão constantemente submetidos a mudanças ambientais causadas por distúrbios naturais, mas principalmente por impactos antrópicos (como barramentos), que tem afetado drasticamente a biodiversidade desses sistemas aquáticos. Uma forma de avaliar as taxas de alterações ambientais em sistemas como as planícies, é por meio dos estudos de biomonitoramento em grandes escalas temporais, sendo as diatomáceas excelentes bioindicadoras na determinação de mudanças ambientais nos diversos ecossistemas aquáticos. Com base nisso, foi investigado o padrão temporal da comunidade de diatomáceas perifíticas de um lago da planície de inundação do alto rio Paraná, a fim de buscar padrões que refletem as alterações ambientais desta planície, abrangendo estudos com diferentes abordagens, como ecologia, taxonômica e de educação ambiental. Como resultado destes diferentes estudos, ressalta-se que a associação da abordagem taxonômica e funcional nos componentes da diversidade beta foi de extrema importância para a interpretação de variação da composição de espécies de diatomáceas em uma longa série temporal, principalmente quando consideramos a importância da contribuição local da diversidade beta - LCBD. Também se buscou evidenciar o uso das diatomáceas como indicadores na determinação das alterações hidrológicas, reforçando a necessidade de um monitoramento contínuo da região, no intuito de acompanhar a direção das mudanças ecológicas, tanto hidrológicas quanto climáticas desta planície. A importância dos estudos taxonômicos na planície, também foi destaque nesta tese, a fim de conhecer melhor a biodiversidade local de diatomáceas, uma vez que novas espécies estão sendo registradas, como a *Staurosirella paranaensis*. Por fim, esta tese engloba uma proposta de jogos didáticos sobre microalgas e a importância ecológica delas na indicação ambiental de corpos aquáticos, no intuito de ressaltar a relevância da educação ambiental no processo de pesquisa, ensino e extensão.

Palavras-chave: Biomonitoramento. Diversidade Beta. Indicador ecológico. Taxonomia. Educação Ambiental.

Diatoms as bioindicators in a long-term study in the Upper Paraná River floodplain

Freshwater ecosystems such as the Upper Paraná River floodplain are constantly subjected to environmental changes caused by natural disturbances, but mainly by anthropogenic impacts (such as dams), which have drastically affected the biodiversity of these aquatic systems. One way to assess the rates of environmental change in systems such as plains is through biomonitoring studies on large temporal scales, with diatoms being excellent bioindicators in determining environmental changes in different aquatic ecosystems. Based on this, the temporal pattern of the periphytic diatom community of a lake in the upper Paraná River floodplain was investigated in order to seek patterns that reflect the environmental changes in this plain, covering studies with different approaches, such as ecology, taxonomic and of environmental education. As a result of these different studies, it is noteworthy that the association of the taxonomic and functional approach in the components of beta diversity was extremely important for the interpretation of variation in the composition of diatom species in a long time series, especially when considering the importance of the contribution beta diversity site - LCBD. It was also sought to highlight the use of diatoms as indicators in determining hydrological changes, reinforcing the need for continuous monitoring of the region, in order to follow the direction of ecological changes, both hydrological and climatic in this plain. The importance of taxonomic studies in the plain was also highlighted in this thesis, in order to better understand the local biodiversity of diatoms, since new species such as *Staurosirella paranaensis* are being registered. Finally, this thesis includes a proposal for educational games on microalgae and their ecological importance in the environmental indication of aquatic bodies, to emphasize the relevance of environmental education in the research, teaching and extension process.

Keywords: Biomonitoring. Beta diversity. Ecological Indicators. Taxonomy. Environmental education.

Tese elaborada e formatada conforme as normas das publicações científicas de *Aquatic Sciences*, *Water*, *Phytotaxa* e *Revista Brasileira de Educação Ambiental - RevBEA*. Disponíveis em:

<https://www.springer.com/journal/27/aims-and-scope>

<https://www.mdpi.com/journal/water>

<https://www.mapress.com/phytotaxa/author.htm>

<https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
	REFERÊNCIAS	17
2	MUDANÇAS TEMPORAIS NA DIVERSIDADE BETA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE DIATOMÁCEAS PERIFÍTICAS EM UMA PLANÍCIE SUBTROPICAL	22
	RESUMO	22
	ABSTRACT	23
2.1	Introdução	24
2.2	Materiais e métodos	27
2.2.1	Área de estudo	27
2.2.2	Amostragem	28
2.2.3	Análise das diatomáceas perifíticas	29
2.2.4	Traços funcionais.....	30
2.2.5	Análise de dados	30
2.3	Resultados	32
2.4	Discussão	39
	REFERÊNCIAS	44
3	DIAOMÁCEAS PERIFÍTICAS COMO INDICADORAS DE DIFERENTES PERÍODOS HIDROLÓGICOS EM UM LAGO DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: UM ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO	53
	RESUMO	53
	ABSTRACT	54
3.1	Introdução	55
3.2	Materiais e métodos	57
3.2.1	Área de estudo	57
3.2.2	Amostragem e Análise de diatomáceas perifíticas	58
3.2.3	Variáveis limnológicas	58
3.2.4	Análise de dados	59
3.3	Resultados	60
3.4	Discussão	66
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICE A	77
4	STAUROSIRELLA PARANAENSIS SP. NOV., UMA NOVA DIATOMÁCEA EPIFÍTICA DE ÁGUA DOCE (BACILLARIOPHYCEAE) DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ, BRASIL, AMÉRICA DO SUL	79
	RESUMO	79

<u> </u> ABSTRACT	80
4.1 Introdução	81
4.2 Material e métodos	82
4.2.1 Área de estudo	82
4.2.2 Preparação e análise das amostras	83
4.3 Resultados	84
4.4 Discussão	92
<u> </u> REFERÊNCIAS	93
5 PROPOSTA DE JOGOS DIDÁTICOS PARA PROMOVER O CONHECIMENTO E A PRESERVAÇÃO DE CORPOS AQUÁTICOS: “O MUNDO INVISÍVEL DAS MICROALGAS”	99
<u> </u> RESUMO	99
<u> </u> ABSTRACT	100
5.1 Introdução	101
5.2 Descrição dos jogos didáticos	103
5.3 Jogo virtual	104
5.3.1 Recomendações do jogo	104
5.3.2 Plataforma e requisitos de hardware.....	104
5.3.3 Licença.....	105
5.3.4 O jogo	105
5.4 Jogo de tabuleiro	108
5.4.1 Recomendações do jogo	108
5.4.2 Materiais e desenvolvimento	108
5.5 Perspectivas	112
<u> </u> REFERÊNCIAS	112
<u> </u> APÊNDICE B - Cartas	115
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
<u> </u> APÊNDICE C - Tabela S1. Lista de espécies de diatomáceas encontradas em amostras perifíticas	127
<u> </u> ANEXO A - Artigos de pesquisa publicados durante o período de desenvolvimento do doutorado que contribuíram para a execução desta tese	139

1 INTRODUÇÃO GERAL

Em todo mundo, rápidas mudanças têm alterado a biodiversidade e suas múltiplas funções nos ecossistemas gerando potenciais consequências ambientais e na geração de serviços ecossistêmicos (CARDINALE et al., 2012; PECL et al., 2017). Essas mudanças estão certamente relacionadas a impactos antrópicos diversos e tem sido o foco de muitos pesquisadores que buscam evidências de alterações na biodiversidade no intuito de determinar padrões ecológicos que auxiliem em programas de monitoramento e conservação (CARDINALE et al., 2012; PEREIRA et al., 2013). Uma forma de avaliar as mudanças ambientais atuais e futuras de ecossistemas aquáticos e terrestres é por meio de estudos de longo prazo (WOLKOVICH et al., 2014). É importante destacar que os estudos ecológicos de longa duração geram bancos de dados suficientes para a identificação de padrões de diversidade, sejam eles decorrentes das mudanças climáticas globais (HANNAH et al., 2002), uso da terra (FOLEY et al., 1987) e/ou mudanças físicas e químicas na água (FROST et al., 1998; DUDGEON et al., 2006).

Uma das poucas ferramentas utilizadas para rastrear e quantificar impactos em escala temporal é o biomonitoramento (CAMARGO, 1994; NIEMI; MCDONALD, 2004). Para acessar estas informações dos impactos nos ambientes aquáticos, o biomonitoramento conta com a capacidade de amostrar, analisar sinais físicos, limnológicos e biológicos preservados nos ambientes para determinar as mudanças ambientais e a resposta do ambiente a fatores locais, regionais e até globais (CAMARGO, 1994). Embora o biomonitoramento não permita inferências diretas sobre as relações de causa e efeito, ele pode facilitar a compreensão de padrões dinâmicos complexos (FOLEY et al., 1987) e gerar hipóteses sobre as relações ecológicas.

As diatomáceas, são reconhecidas como excelentes indicadores do estado ecológico de corpos aquáticos e fortemente utilizadas em programas de biomonitoramento para identificar variações ambientais (LOBO et al., 2004; SOININEN et al., 2004; MORAIS et al., 2018). Essa comunidade possui diversas características que as tornam fortes bioindicadoras de mudanças ambientais, uma vez que elas são comumente encontradas nos ambientes aquáticos e muitas vezes em alta abundância (ROUND; CRAWFORD; MANN, 1990; SMOL; STOERMER, 2010). A frústula da diatomácea, composta de sílica, consegue ser resistente a adversidades ambientais como distúrbios biológicos, químicos e físicos (FLOWER, 1993; SMOL;

STOERMER, 2010). Como a taxonomia das diatomáceas é baseada nas ornamentações da frústula, a sua resistência acaba favorecendo o processo de identificação do táxon para diversos estudos (ROUND; CRAWFORD; MANN, 1990). As diversas espécies de diatomáceas também apresentam tolerância e preferências específicas às diferentes condições limnológicas, onde determinado *pool* de espécies é capaz de caracterizar um ambiente (PASSY, 2007; SMOL; STOERMER, 2010). Elas também possuem altas taxas de migração podendo colonizar novos *habitats* e recolonizar outros após condições pós-distúrbio (SMOL, 2008). Dessa forma, alterações ambientais geram mudanças na composição da comunidade de diatomáceas, funcionando assim como excelente *proxy* (SMOL; STOERMER, 2010).

A possibilidade de usar diversos atributos ecológicos da comunidade de diatomáceas, como a abundância, riqueza, traços funcionais, guildas ecológicas e material genético (PASSY, 2007; SMOL; STOERMER, 2010; BERTHON; BOUCHEZ; RIMET, 2011), facilitam na determinação e padrões ecológicos de longa duração, essenciais para predizer cenários futuros dos ecossistemas. Outra ferramenta que vem sendo muito utilizada para obter mais informações sobre os mecanismos por trás da variação temporal nas comunidades em estudos de biomonitoramento, é a diversidade beta (BASELGA, 2010). A diversidade beta é uma medida útil da biodiversidade regional com implicações para a conservação (SOCOLAR et al., 2016) e funcionamento do ecossistema (VAN DER PLAS et al., 2016). As métricas da diversidade beta costumam ser baseadas na identidade taxonômica das espécies, e recentemente nas características funcionais (VIOLLE et al., 2007), que juntas se complementam na busca da compreensão de padrões de mudanças da biodiversidade que afetam o funcionamento do ecossistema (XU et al., 2019). Essas ferramentas capazes de destacar as mudanças ambientais nos ecossistemas, causadas principalmente pelos impactos antrópicos, vem sendo utilizadas para entender padrões de diferentes corpos aquáticos (CARDINALE et al., 2012).

Entre os ecossistemas que sofrem alterações provocadas pelo homem, estão as planícies de inundação (JUNK et al., 1989; NEIFF, 1990; WARD et al., 1999). Isso porque, as planícies sustentam uma gama de serviços ecossistêmicos que agregam valor ao uso desenfreado principalmente relacionados a água doce (AGOSTINHO et al., 2004). Entre as principais ameaças a biodiversidade em planícies de inundação estão as mudanças no regime hidrológico (DUDGEON et al., 2006; AGOSTINHO et al., 2009).

O regime de variação hidrológica, mantido pelo pulso de inundação, é o principal fator que determina a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas de planície, garantindo altos níveis de diversidade e produtividade (JUNK et al., 1989; AGOSTINHO; ZALEWSKI, 1996). Dessa forma, as alternâncias entre períodos de cheia e seca têm um papel central na interpretação de processos ecológicos desses sistemas, uma vez que em períodos de cheia (inundação da várzea) há um aumento da disponibilidade de nichos e fontes de nutrientes alóctones, carregados de encostas ou presentes em materiais orgânicos ou inorgânicos inundados (AGOSTINHO et al., 2004).

Na planície de inundação do alto rio Paraná, a regulação devido a uma cascata de reservatórios a montante, têm causado importantes alterações no regime hidrológico natural (AGOSTINHO et al., 2004; SOUZA FILHO, 2009). A regulação hidrológica alterou o tempo de permanência dos períodos de cheia e seca e levou à diminuição da conectividade dos ambientes (AGOSTINHO et al., 2009), bem como mudanças nas características limnológicas e na estrutura do *habitat*. Isso acarretou graves impactos na diversidade de várias comunidades aquáticas (AGOSTINHO et al., 2009; AGOSTINHO et al., 2004; SOUZA-FILHO et al., 2004; SOUZA-FILHO, 2009), agravadas após a construção da última barragem mais próxima da planície, a Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (SOUZA FILHO, 2009, 2016; SOUZA FILHO et al. 2010). Estudos realizados na planície de inundação do alto rio Paraná registraram substituição e perda de espécies, introdução de espécies não nativas, alterações na abundância de espécies nativas e diminuição da diversidade após a construção de barragens (SOUZA et al., 2010; MARTINS et al., 2013; ALGARTE et al., 2016; ERNANDES-SILVA et al., 2016; PETSCH et al., 2017; QUIRINO et al., 2021).

Impactos ambientais são corriqueiramente observados nos ambientes aquáticos principalmente associados a perda de biodiversidade e diminuição da qualidade de água, e conhecer microalgas, como as diatomáceas, é uma forma de acessar a importância ambiental desses sistemas, uma vez que são organismos chave na indicação de qualidade de água (LOBO et al., 2004). Porém, por serem visíveis apenas com auxílio de microscópios, acabam sendo negligenciadas e pouco exploradas sobre sua importância ambiental e econômica. Neste sentido, a implementação de métodos que efetivem a discussão e a construção de valores que garantam uma melhoria ambiental é essencial (LANDIN-NETO et al., 2013). Uma forma de acessar isso é através da educação ambiental que busca considerar as questões de cidadania a partir do universo

cognitivo, comunicativo e sociopolítico dos sujeitos envolvidos na construção educacional, onde a partir de uma consciência adquirida os indivíduos são capazes de agir, individualmente ou coletivamente, na busca de soluções para os diversos problemas ambientais (UNESCO, 1997).

Dessa forma, considerando as transformações ambientais em corpos aquáticos e a importância de entendermos essas alterações ao longo de um período, esta tese consiste em quatro capítulos associados ao Programa de pesquisas ecológicas de longa duração na planície de inundação do alto rio Paraná. Nesta tese buscou-se enfatizar a importância de avaliar a comunidade de diatomáceas perifíticas para entender diferentes padrões ecológicos em série temporal; além de contribuir sobre a taxonomia e diversidade de diatomáceas da planície; e agregar um valor educacional as microalgas enfatizando o papel ecológico deste grupo de microrganismos no funcionamento de corpos aquáticos. O primeiro estudo avaliou padrões de diversidade beta taxonômica e funcional de diatomáceas determinados pelas variações ambientais naturais e antrópicas de longa duração em um lago da planície de inundação do alto rio Paraná, utilizando dados de presença e ausência de diatomáceas perifíticas. O segundo estudo avaliou o padrão temporal da abundância de diatomáceas, neste mesmo lago, com o intuito de determinar a influência das mudanças ambientais e das variações dos períodos hidrológicos (seca e cheia) na comunidade de diatomáceas perifíticas. O terceiro estudo contribuiu com informações taxonômicas de uma nova espécie, *Saturosirella paranaensis*, para a planície de inundação do alto rio Paraná. Por fim, o quarto estudo teve como objetivo promover educação ambiental através de jogos didáticos em formato físico e virtual a fim de tornar o conhecimento sobre microalgas mais difundido.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; ZALEWSKI, M. **A planície alagável do alto rio Paraná: importância e preservação.** Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá. p.100, 1996.
- AGOSTINHO, A. A.; S. M. THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. **Ecohydrology and Hydrobiology**, v.4, p.267-280, 2004.

- AGOSTINHO, A. A.; BONECKER, C. C.; GOMES, L. C. Effects of water quantity on connectivity: the case of the upper Paraná River floodplain. **Ecohydrol. Hydrobiol**, v.9, p. 99–113, 2009.
- ALGARTE, V. M.; DUNCK, B.; LEANDRINI, J. A.; RODRIGUES, L. Periphytic diatom ecological guilds in floodplain: Ten years after dam. **Ecological Indicators**, v.69, p.407-414, 2016.
- BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Glob. Ecol. Biogeogr.**, v.19, p.134–143, 2010.
- BERTHON, V.; BOUCHEZ, A; RIMET, F. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pollution in rivers: case study of south-eastern French rivers. **Hydrobiologia**, v.673, p.259-271, 2011.
- CAMARGO, J. A. The importance of biological monitoring for the ecological risk assessment of freshwater pollution: A case study. **Environment International**, v. 20, p.229-238, 1994.
- CARDINALE, B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v.486, p.59–67, 2012.
- DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v.81, p.163–82, 2006.
- ERNANDES-SILVA, J.; RAGONHA, F. H.; RODRIGUES, L. C.; MORMUL, R. P. Freshwater invasibility level depends on the population age structure of the invading mussel species. **Biological Invasion**, v.18, p.1421-1430, 2016.
- FLOWER, R. J. Diatom preservation: experiments and observations on dissolution and breakage in modern and fossil material. **Hydrobiologia**, v.269/270, p.473–484, 1993.
- FOLEY, J. A. et al. Importance and justification of long-term studies in ecology. In LIKENS, G. E. (ed.). **Long-term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives**. Springer-Verlag, New York, p. 3–20, 1987.
- FROST, T. M.; MONTZ, P. K.; GONZALEZ, M. J.; SANDERSON, B. L.; ARNOTT, S. E. Rotifer responses to increased acidity: long-term patterns during the

- experimental manipulation of Little Rock Lake. **Hydrobiologia**, v.387, p.141–152, 1998.
- HANNAH, L. et al. Conservation of biodiversity in a changing climate. **Conserv. Biol.**, v.16, p.264–268, 2002.
- JUNK, W. J.; BAILEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Can. J. Fish Aquat. Sci.**, v.106, p.110–127, 1989.
- LANDIN-NETO, F. O.; MENDES, J. S.; RABELO, F. B. D.; SILVA, E. V.; GORAYEB, A. Educação ambiental e extensão universitária: conservação e preservação dos recursos naturais da comunidade de Mundaú-Trairi/Ceará. **Meio Ambiente**, v.3, p.15-25, 2013.
- LOBO, E. A.; CALLEGARO, V. L. M.; HERMANY, G.; BES, D.; WETZEL, C. A.; OLIVEIRA, M. A. Use of epilithic diatoms as bioindicators from lotic systems in southern Brazil, with special emphasis on eutrophication. **Acta Limnol. Bras.**, v.16, p.25-40, 2004.
- MARTINS, S. V.; MILNE, J. M.; THOMAZ, S. M.; MCWATERS, S.; MORMUL, R. P.; KENNEDY, M.; MURPHY, K. J. Human and natural drivers of changing macrophyte community dynamics over 12 years in a Neotropical riverine floodplain system. **Aquatic Conservation**, v.23, p.678-697, 2013.
- MORAIS, G. F.; GUILHERME, L.; CARLO, J.; ORTEGA, G.; HEINO, J.; MAURICIO, L. Biological surrogates: A word of caution. **Ecological Indicators**, v.88, p.214–218, 2018.
- NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. **Interciencia**, v.15, p.424-441, 1990.
- PASSY, S. I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behaviour along nutrient and disturbance gradients in running waters. **Aquatic Botany**, v.86, p.171-178, 2007.
- PETSCH, D. K.; PINHA, G. D.; TAKEDA, A. M. Dispersal mode and flooding regime as drivers of benthic metacommunity structure in a Neotropical floodplain. **Hydrobiologia**, v.788, p.131–141, 2017.

- PECL, G. T. et al. Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. **Science**, v.355, p.1-9, 2017.
- PEREIRA, H. M. et al. Essential biodiversity variables. **Science**, v.339, p.277–278, 2013.
- QUIRINO, B. A.; LANSAC-TÔHA, F. M.; THOMAZ, S. M.; HEINO, J.; FUGI, R. Macrophyte stand complexity explains the functional α and β diversity of fish in a tropical river-floodplain. **Aquatic Sciences**, v.83, p.1-14, 2021.
- ROUND, F. E.; CRAWFORD, R.M.; MANN, D.G. **The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera**. Cambridge: Cambridge University Press, p.747, 1990.
- SMOL, J. P. **Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective**. Malden, USA: Blachwell, 2nd edition, p.396, 2008.
- SMOL, J. P.; STOERMER, E. F. **The diatoms: applications for the environmental and earth sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, p.611, 2010.
- SOCOLAR, J. B.; GILROY, J. J.; KUNIN, W. E.; EDWARDS, D. P. How Should Beta-Diversity Inform Biodiversity Conservation? Conservation Targets at Multiple Spatial Scales. **Trends Ecol. Evol.**, v.31, p.67–80, 2016.
- SOININEN, J.; ELORANTA, P. Seasonal persistence and stability of diatom communities in rivers: are there habitats specific differences? **European Journal of Phycology**, v.39, p.153-160, 2004.
- SOUZA FILHO, E. E.; ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.; STEVAUX, J. C. Effects of the Porto Primavera Dam on physical environment of the downstream floodplain. In THOMAZ S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (eds.). **The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation**. Backhuys Publishers, Leiden: p.55-74, 2004.
- SOUZA FILHO, E. E. Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. **Brazilian Journal of Biology**, v.69, p.707–716, 2009.
- SOUZA FILHO, E. E.; ZANETTI, K.; PECCINI, J. P.; FRANÇA, V. D. A hidroquímica do Rio Paraná após a barragem de Porto Primavera. **Boletim de Geografia**, v.28, p.101–112, 2010.

- SOUZA FILHO, E. E. The Porto Primavera dam and the fluvial transport on the Porto São José section, Parana River. **Mercator.**, v.15, p.65–81, 2016.
- SOUZA, W. Z. T.; THOMAZ, S. M.; MURPHY, J. K. Response of native *Egeria najas* Planch. and invasive *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle to altered hydroecological regime in a subtropical river. **Aquatic Botany**, v.92, p.40–48, 2010.
- UNESCO-UNEP. International strategy for action in the field of environmental education and training for the 1990s. **Paris: UNESCO e Nairobi**, 1987.
- VAN DER PLAS, F. et al. Jack-of-all-trades effects drive biodiversity-ecosystem multifunctionality relationships in European forests. **Nat Comm.**, v7, p.11109, 2016.
- VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v.116, p.882–892, 2007.
- WARD, J. V.; TOCKNER, K.; SCHIEMER, F. Biodiversity of Floodplain River Ecosystems: Ecotones and Connectivity. **River Research and Applications**, v.15, p.125–139, 1999.
- WOLKOVICH, E. M.; COOK, B. I.; MCLAUCHLAN, K. K.; DAVIES, T. J. Temporal ecology in the Anthropocene. **Ecology Letters**, v.17, p. 1365-1379, 2014.
- XU J. et al. Cross-taxon congruence of multiple diversity facets of freshwater assemblages is determined by large-scale processes across China. **Freshwater Biology**, p.1–12, 2019.

2 MUDANÇAS TEMPORAIS NA DIVERSIDADE BETA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE DIATOMÁCEAS PERIFÍTICAS EM UMA PLANÍCIE SUBTROPICAL

RESUMO

A diversidade beta é uma ótima ferramenta para a determinação de processos ecológicos que regem a estruturação das comunidades ao longo do tempo e a associação das abordagens taxonômicas e funcionais se tornam complementares neste contexto. Assim, buscamos explicar mecanismos de diversidade beta taxonômica e funcional de diatomáceas com base em padrões temporais de uma longa série de 19 anos, determinados pelas variações ambientais naturais e antrópicas em um lago de planície. A dissimilaridade taxonômica e funcional entre comunidades de diatomáceas foi principalmente associada ao efeito de substituição de espécies. Porém, a diferença de riqueza taxonômica e funcional foi representativa em alguns períodos, indicando uma possível perda de espécies e funcionalidade, que fica mais evidente quando consideramos a importância da contribuição local da diversidade beta – LCBD. Assim, períodos com alta e baixa riqueza taxonômica e funcional contribuíram respectivamente de forma significativa para a diversidade beta taxonômica e funcional das diatomáceas. Também foi observado uma relação significativa entre turbidez e LCBD taxonômica e funcional, que evidencia a importância desse parâmetro na determinação da riqueza taxonômica e funcional de diatomáceas em alguns períodos ao longo da série temporal. Com isso, destaca-se o papel das diatomáceas como *proxy* na determinação de padrões evidenciados pela diversidade beta utilizando a abordagem taxonômica e funcional. Padrões esses determinados por filtros ambientais locais que são mantidos devido as oscilações naturais da planície, mas que vem apresentando mudanças que refletem o impacto antrópico causado pelos barramentos nesta região.

Palavras-chave: Estudo de longa-duração. LCBD. Riqueza taxonômica. Características funcionais.

ABSTRACT

Beta diversity is a great tool for determining the ecological processes that govern the structuring of communities over time and the association of taxonomic and functional approaches become complementary in this context. Thus, we seek to explain mechanisms of beta-taxonomic and functional diversity of diatoms based on temporal patterns of a 19-year long series, determined by natural and anthropogenic environmental variations in a lowland lake. The taxonomic and functional dissimilarity between diatom communities was mainly associated with the species substitution effect. However, the difference in taxonomic and functional richness was representative in some periods, indicating a possible loss of species and functionality, which becomes more evident when we consider the importance of the local contribution of beta diversity – LCBD. Thus, periods with high and low taxonomic and functional richness contributed significantly respectively to the taxonomic and functional beta diversity of diatoms. Furthermore, there was a significant relationship between turbidity and taxonomic and functional LCBD, which highlights the importance of this parameter in determining the taxonomic and functional richness of diatoms at some periods along the time series. Thus, we highlight the role of diatoms as a proxy in determining patterns evidenced by beta diversity using the taxonomic and functional approach. These patterns are determined by local environmental filters that are maintained due to the natural oscillations of the plain, but that have been showing changes that reflect the anthropic impact caused by dams in this region.

Keywords: Long-term study. LCBD. Taxonomic richness. Functional characteristics.

2.1 Introdução

A maior ameaça à biodiversidade aquática é a busca por benefícios proporcionados pelos serviços ecossistêmicos, que levam a alterações da paisagem, redução do fornecimento de matéria orgânica e energia, e principalmente em mudanças na sazonalidade natural do ambiente (Tockner et al. 2002; Agostinho et al. 2004). Entre os ambientes que sofrem essas alterações, estão as planícies de inundação, que apresentam alta variação nas propriedades físicas, químicas e biológicas, principalmente relacionadas com as oscilações no nível da água, garantindo uma alta biodiversidade (Junk et al. 1989; Neiff 1990; Ward et al. 1999). Em algumas planícies o principal impacto antrópico é a regulação da vazão de água por barragens, que modificam a dinâmica das cheias, o que causa mudanças nos aspectos físicos, químicos e biológicos, além de acentuar a ocorrência de secas extremas (Agostinho et al. 2004; Roberto et al. 2009, Stevaux et al. 2009; Moi et al. 2020). Dessa forma, os barramentos impedem o fluxo natural de água, além de reter materiais particulados e nutrientes, que refletem no aumento da transparência da água e na perda de biodiversidade desta planície (Agostinho et al. 2008; Roberto et al. 2009). Assim, alterações provocadas artificialmente, afetam não apenas o curso principal do rio, mas também ambientes adjacentes, principalmente a jusante, através das reduções de nível, alterações limnológicas e a consequente exposição de áreas litorâneas (Souza Filho et al. 2004; Agostinho et al. 2008).

Essas alterações ecossistêmicas de causa antrópica interagem em diversas escalas espaciais e temporais dentro dos ambientes de planície. Portanto, uma observação pontual desse ambiente dificulta a busca por padrões que expliquem a importância relativa dos processos regulatórios que regem o sistema (Smol et al. 2001; Morais et al. 2018). Isso porque, uma amostra instantânea do local de estudo pode não ser suficiente para inferir os principais processos que regem a estrutura das comunidades (Nabout et al. 2009). No entanto, existem muitas ferramentas e novas abordagens para entender as mudanças ambientais de longo prazo, como o biomonitoramento de longa duração. Estudos de longo prazo sobre organismos de água doce são importantes para a compreensão da dinâmica temporal de comunidades e podem ter implicações para programas de gestão e monitoramento (Schneck et al. 2011), especialmente em ambientes represados. Modelos formulados pelos estudos de

longa duração ajudam a compreender as flutuações irregulares e eventos recorrentes, que são necessários para o desenvolvimento do cenário para monitoramentos futuros (Bovo-Scomparin e Train 2008).

Uma medida que vem sendo muito utilizada para obter mais informações sobre os mecanismos por trás da variação temporal e espacial nas comunidades é a diversidade beta (Baselga 2010). Essa medida útil da biodiversidade regional tem fortes implicações para a conservação (Socolar et al. 2016) e funcionamento do ecossistema (van der Plas et al. 2016). As métricas da diversidade beta costumam ser baseadas na identidade taxonômica das espécies, mas, recentemente, a diversidade beta funcional, tem sido sugerida como uma abordagem alternativa ou complementar (Violle et al. 2007; Braghin et al. 2018; Campos et al. 2018; Quirino et al. 2021; Diniz et al. 2021). Ela está relacionada ao aumento de estudos utilizando a abordagem de traços funcionais de espécies, que tem se tornado eficaz na compreensão de processos que determinam e fundamentam as regras de montagem de comunidades (Heino et al. 2014; Algarte et al. 2016).

Com a partição da diversidade beta taxonômica e funcional (substituição de espécies - β -*Repl* e diferença de riqueza - β -*Rich*) é possível diferenciar quais processos ecológicos estão atuando para estruturar as comunidades ao longo do tempo (Cardoso et al. 2014; Heino et al. 2019). O componente β -*Repl* caracteriza a variação de espécies ou características funcionais dentro da escala de estudo, enquanto o componente β -*Rich* representa a perda/ganho de espécies ou características em escala temporal ou espacial (Baselga 2010; Cardoso et al. 2014). Portanto, o uso da diversidade beta taxonômica e funcional são ótimas abordagens na busca de entender como a mudança da biodiversidade pode afetar o funcionamento do ecossistema e, até mesmo, na prestação de serviços ecossistêmicos (Xu et al. 2019).

Outra forma de explorar a diversidade beta taxonômica e funcional é utilizando o coeficiente LCBD – contribuição local para a diversidade beta – que indica comparativamente a singularidade ecológica em diferentes amostras utilizando a composição de espécies (Legendre e De Cáceres 2013). Assim, este atributo permite indicar pontos com combinações raras de espécies que podem corresponder a áreas que apresentam condições ecológicas únicas (Silva et al. 2018) e conseqüentemente alto valor de conservação, ou locais degradados e pobres em espécies que precisam de restauração ecológica (Legendre e De Cáceres 2013). Com base nisso, o LCBD pode ser utilizado facilmente em estudos de monitoramento de longa duração, no intuito de

pontuar padrões temporais que indiquem particularidades da composição de espécies em determinados períodos.

Estudos realizados com o perifíton em planícies mostraram que esta comunidade respondeu de maneira precisa à padrões ambientais utilizando ferramentas como a diversidade beta (Algarte et al. 2016; Bichoff et al. 2018; Osório et al. 2019). Dentre as algas perifíticas, as diatomáceas constituem um grupo muito importante como indicadores ambientais, isso porque elas apresentam uma diversidade taxonômica excepcional e adaptações morfológicas únicas que favorecem o seu desenvolvimento nos substratos (Round et al. 1990; Rimet and Bouchez 2012). As diatomáceas respondem de forma eficaz por serem sensíveis à diversos estímulos ambientais, incluindo alterações físicas e químicas no ambiente aquático, tanto em estudos de abordagem taxonômica quanto funcional (Stoermer and Smol 1999; Passy 2007). As propriedades morfológicas e funcionais das diatomáceas fornecem importantes informações sobre mudanças ambientais a longo prazo, fazendo com que elas sejam fortemente utilizadas como *proxy* ambiental nos programas de biomonitoramento (Soininen e Eloranta 2004; Letáková et al. 2018; Ács et al. 2020). Dessa forma, mudanças nas condições ambientais ao longo do tempo podem refletir de forma direta na comunidade de diatomáceas (Soininen et al. 2007), uma vez que a determinação de características morfológicas e funcionais das diatomáceas está sensivelmente relacionada aos filtros ambientais, que selecionam características que facilitam a persistência de espécies.

Portanto, assumindo que mudanças, de impacto antrópico e natural, na precipitação, temperatura e regime hidrológico são fatores-chave na estruturação de aspectos físicos, químicos e biológicos em sistemas de planícies de inundação de rios (Junk et al. 1989; Thomaz et al. 2007), é esperado uma variação temporal dos componentes (β -*Repl* e β -*Rich*) da diversidade beta taxonômica e funcional de diatomáceas, de um lago da planície de inundação do alto rio Paraná. Consideramos o forte impacto antrópico que esta planície sofre devido a uma cascata de reservatórios a montante, que afetam consideravelmente a dinâmica do pulso de inundação e a diminuição da turbidez, concentração total de fósforo e nutrientes, devido a retenção de materiais particulados pelos barramentos (Agostinho et al. 2004; Thomaz et al. 2004). Para atender o objetivo deste estudo, utilizamos um conjunto de dados de uma longa

série temporal (19 anos), referente a presença e ausência de espécies e a grupos funcionais de diatomáceas perifíticas.

Assim, consideramos que a dinâmica temporal seria importante para explicar padrões de diversidade beta taxonômica e funcional de diatomáceas determinados pelas variações ambientais naturais e antrópicas de longa duração em uma lagoa de planície. Dessa forma, é esperado (1) uma homogeneização taxonômica e funcional, impulsionada pela perda de espécies (*β -Rich*) ao longo do tempo. Considerando uma redução na heterogeneidade ambiental provocada pelas alterações ambientais na planície, espera-se (2) uma homogeneização taxonômica com o favorecimento de espécies comuns e amplamente distribuídas e que a seleção de espécies mais generalistas ao longo do tempo reflita na homogeneização funcional da comunidade de diatomáceas por meio da promoção de características associadas ao generalismo ecológico (*e.g.* alta dispersão e capacidade reprodutiva). Devido as oscilações hidrológicas naturais e as reguladas pelo barramento, é previsto (3) um aumento dos valores de LCBD indicando que em determinados períodos a composição de espécies é fortemente diferente, ou seja, pobre em espécies; conseqüentemente a LCBD irá diminuir com o aumento da riqueza taxonômica e riqueza funcional, baseado em padrões observados para a relação riqueza taxonômica-LCBD (Legendre e De Cáceres 2013; Silva et al. 2018). Por fim, (4) é previsto que altos valores de LCBD ao longo do tempo pudessem estar relacionados com variáveis abióticas como nível, turbidez e temperatura; considerando que estas variáveis remetem de forma direta os impactos antrópicos provocados pelos barramentos e a mudanças climáticas (Roberto et al. 2009).

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo está inserida na planície de inundação do alto rio Paraná, localizada entre os estados de Mato Grosso do Sul e Paraná, Brasil. A bacia de drenagem do rio Paraná compreende mais de 10% do território brasileiro (891.000 km²), apresentando clima tropical a subtropical, com temperaturas médias acima de 15 °C e precipitação acima de 1.400 mm/ano (IBGE 2017). Esta planície tem períodos hidrológicos marcados em períodos de cheia (novembro a março) e períodos de seca (maio a outubro) (Souza Filho e Stevaux 2004; Roberto et al. 2009; Souza Filho 2009). A planície de inundação tem sofrido com vários efeitos antrópicos, principalmente

como consequência da intensa exploração por aproveitamentos energéticos (Thomaz et al. 2007; Agostinho et al. 2007), que resulta em uma série de barragens a montante. Em dezembro de 1998, o fechamento da barragem Sérgio Motta (também conhecida como Porto Primavera), localizado no meio do trecho da planície, reduziu esta área em 230 km de extensão (a montante do Reservatório de Itaipu e a jusante da hidroelétrica de Porto Primavera). Sendo assim, este é o último remanescente da planície de Inundação do alto rio Paraná livre de barragens em território brasileiro (Agostinho et al. 2004; Stevaux et al. 2009).

O local de amostragem selecionado para este estudo é a lagoa das Garças (22° 43' S e 53° 14' W) que é permanentemente conectado ao rio Paraná (sub-bacia afetada diretamente pelo barramento) através de um canal com aproximadamente 100 m de extensão (Figura 1). Dessa forma, sofre influência direta das variações hidrológicas naturais e de alterações antrópicas. A lagoa apresenta profundidade média de 2,5 m, 150 m de largura e 2000 m de comprimento, aproximadamente.

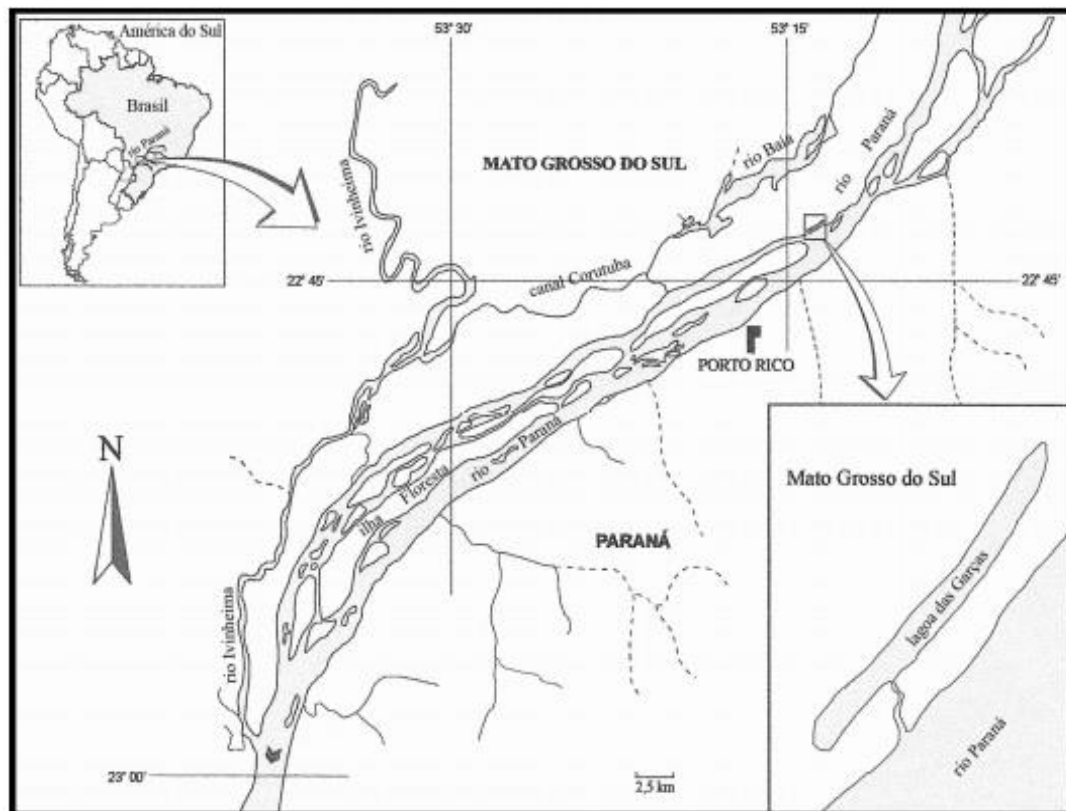


Figura 1. Mapa da planície de inundação do alto Rio Paraná, PR-MS. Ambiente amostrado para este estudo: lagoa das Garças.

2.2.2 Amostragem

O levantamento de campo faz parte do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – PELD/LTER, realizado entre os anos 2000 e 2018. A amostragem foi feita quatro vezes ao ano em intervalos de três meses, exceto em 2001, 2003 e 2017 que foram realizadas apenas duas amostragens por ano e em 2009 apenas três amostragens, totalizando 69 amostras. Nesta planície, e principalmente na lagoa das Garças, a macrófita *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth é abundante, e considerada de fácil coleta, sendo utilizada como substrato de estudo para a comunidade perifítica durante todo PELD. Assim, a comunidade de diatomáceas perifíticas foi obtida de forma aleatória através de raspagem de pecíolos em estágio de maturidade, entre o quinto e sétimo entrenó da macrófita. Os pecíolos coletados foram acondicionados em frascos de *Wheaton* de 150 ml e mantidos no gelo até a remoção do biofilme perifítico. Com a ajuda de lâmina de aço inoxidável envoltas em papel alumínio e jatos de água destilada, o material biológico foi removido, fixado e preservado em solução acética de Lugol a 0,5%, conforme recomendado por Bicudo e Menezes (2006).

Em cada amostragem, foram medidos temperatura da água (°C) (termistor digital) e turbidez (NTU), parâmetros limnológicos estes utilizados como variáveis preditoras. As variáveis limnológicas foram cedidas pelo laboratório de Limnologia do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura - Nupélia, da Universidade Estadual de Maringá. Também foi incluída como variável preditora, valores do nível hidrométrico (cm) do rio Paraná, que foram fornecidos pelo sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, estação: 64.575.001). A série temporal (2000 a 2018) para esta variável foi obtida pela média aritmética dos 10 dias que antecederam o dia de cada coleta (Algate et al. 2009).

2.2.3 Análise das diatomáceas perifíticas

As amostras de diatomáceas foram oxidadas e limpas seguindo a técnica de Simonsen (1974) modificada por Moreira-Filho e Valente-Moreira (1981), posteriormente, lâminas permanentes foram preparadas com resina *Naphrax*®. A análise quantitativa foi feita com a contagem de no mínimo 600 valvas (Kobayasi e Mayama 1982) utilizando microscópio óptico equipado com sistema de captura de imagem, em aumento de 1000×. Durante a análise qualitativa, os diferentes táxons encontrados foram identificados até o menor nível taxonômico possível, com base nas

características morfológicas de cada espécie. A classificação taxonômica foi baseada em Round et al. (1990), exceto para os gêneros posteriores a esta obra.

2.2.4 Traços funcionais

A seleção de características funcionais de diatomáceas perifíticas compreendeu quatro diferentes aspectos do nicho das espécies, distribuídos em 12 categorias: forma de vida (unicelular, filamentosa e colonial), intensidade de aderência (firme, frouxa e móvel), forma de aderência (não aderida, móvel, ereta, prostrado, pedúnculo de mucilagem e tubo de mucilagem) e tamanho (Biggs et al. 1998; Burliga e Schwarzbald 2013). A escolha das características foi baseada em estudos de algas perifíticas que utilizaram características funcionais (Ferragut e Bicudo 2010; Passy e Larson 2011; Schneck e Melo 2012; Dunck et al. 2013; 2015; 2016; Algarte et al. 2014; Lange et al. 2016). Foi incluído como um traço funcional as três guildas ecológicas (*low-profile*, *high-profile* e *motile*) proposta por Passy (2007). A guilda *low-profile* inclui espécies de pequeno tamanho, prostrados, eretos, e de movimento lento, capazes de tolerar distúrbios físicos e a baixa concentração de nutrientes. A guilda de *high-profile* compreende espécies grandes, ou organismos que tendem a formar colônias (como as filamentosas, ramificadas, pedunculadas ou tubo de mucilagem), sendo mais suscetível à turbulência físicas e favorecido por melhores condições de nutrientes e luz. Por fim, a guilda *motile* é caracterizada por espécies de rápidos movimentos, capazes de migrar em busca de condições ambientais mais favoráveis (Passy 2007). Dessa forma, a matriz funcional das espécies foi composta por cinco características funcionais distintas, que foram classificadas de acordo com observação em amostras oxidadas e com auxílio de bibliografia.

2.2.5 Análise de dados

Para testar os objetivos propostos no trabalho foi calculada a diversidade beta taxonômica e funcional de diatomáceas perifíticas, a partir de matrizes taxonômicas de dissimilaridade aplicando o índice de *Sørensen* em dados de presença-ausência (Peres-Neto e Jackson 2001; Legendre 2014). As análises de diversidade beta taxonômica e funcional foram baseadas na abordagem proposta por Podani e Schmera (2011) e a de Carvalho et al. (2012), onde $\beta\text{-total} = \beta\text{-repl} + \beta\text{-rich}$. Ambas as medidas de diversidade beta taxonômica e funcional foram decompostas em componentes de substituição ($\beta\text{-repl}$) e de diferença de riqueza ($\beta\text{-Rich}$). O $\beta\text{-repl}$ refere-se à substituição de uma

espécie ou traço funcional por outro, e β -rich evidencia as diferenças de perda e/ou ganho na riqueza de espécies ou traços funcionais. Para isso foi utilizada a função *beta* do pacote "BAT" (Cardoso et al. 2015).

Antes de analisar a diversidade beta funcional, uma matriz de distância foi calculada entre as características funcionais das espécies de diatomáceas com base no coeficiente de distância de Gower (Gower 1966). Para isso, foi utilizada a função *gowdis* do pacote "FD" (Laliberté et al. 2014). Em seguida, foi gerado um cluster a partir de um agrupamento dessa matriz de dissimilaridade, com auxílio da função *hclust* do pacote "stats". Também foi calculado o índice de riqueza funcional (FRic). FRic representa o volume do espaço multidimensional preenchido pelas espécies da comunidade de interesse e aumenta com a presença de características extremas (Mason et al. 2005). O índice foi calculado no ambiente R (R Core Team 2020) usando a função "dbFD" do pacote FD (Laliberté e Legendre 2010).

Por fim, foi calculada a contribuição local para a diversidade beta funcional e taxonômica (LCBD; Legendre e De Cáceres 2013) de cada amostra para os três componentes da diversidade beta gerados na etapa anterior, usando a função *LCBD.comp* do pacote "adespatial" (Dray et al. 2019). Para investigar as relações entre LCBD de cada componente da diversidade beta (β -total, β -repl e β -rich) com a riqueza taxonômica e funcional das diatomáceas, foram realizadas beta regressões (Ferrari e Cribari-Neto 2004), uma análise apropriada para variáveis de resposta contínua que são restritas entre zero e um. Para avaliar essa relação não linear, modelamos riqueza funcional de acordo com a riqueza taxonômica de diatomáceas com base em um modelo polinomial de primeira a terceira ordem. O termo de terceira ordem foi usado para permitir que a curva do modelo diminuísse após o pico. Modelos com diferentes polinômios foram avaliados por testes de razão de verossimilhança, com o melhor modelo (menor número de polinômios) sendo escolhido quando nenhuma diferença significativa foi encontrada. A fim de avaliar as relações entre LCBD de cada componente da diversidade beta taxonômica (LCBD Tax-total, LCBD Tax-repl, LCBD Tax-rich) e funcional (LCBD Fun-total, LCBD Fun-repl, LCBD Fun-rich) com as variáveis ambientais (turbidez, temperatura da água e nível), também foram usadas beta-regressões. As beta-regressões foram realizadas usando a função *betareg* do pacote "betareg" (Zeileis et al. 2019).

Todas as análises foram realizadas no programa R versão 4.0.1 (R Development Core Team 2020), e os gráficos plotados com auxílio do pacote "ggplot2".

2.3 Resultados

Nas 69 amostras de diatomáceas perifíticas analisadas entre os anos de 2000 e 2018, um total de 335 táxons foram registrados, distribuídos em 49 gêneros diferentes. A riqueza taxonômica variou de 8 a 64 espécies por período amostrado, uma média de 35 espécies por amostragem. Dos gêneros encontrados neste estudo, alguns foram altamente representativos de acordo com o número de espécies, como *Encyonema*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Luticula*, *Nitzschia*, *Nupela*, *Pinnularia* e *Sellaphora*. Dentre os táxons registrados 4 % apresentaram frequência maior que 50 % entre os anos amostrados, incluindo algumas espécies como *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Achnanthydium tropicocatenatum* Marquardt, Wetzel & Ector, *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *Brachysira neoexilis* Lange-Bertalot, *Discostella stelligera* (Cleve & Grunow) Houk & Klee, *Encyonema neomesianum* Krammer, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Eunotia pseudosudetica* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, *Gomphonema affine* Kützing, *Gomphonema gracile* (complexo) Ehrenberg, *Gomphonema lagenula* Kützing, *Nitzschia amphibia* Grunow, *Nitzschia palea* var. *debilis* (Kützing) Grunow e *Staurosirella paranaensis* Osório, Ector, Rodrigues & Wetzel.

2.3.1 Diversidade beta e LCBD taxonômica e funcional

A diversidade beta taxonômica (média = 0,59) apresentou valores mais altos que a diversidade beta funcional (média = 0,44) ao longo de todos os períodos amostrados de 2000 a 2018 (Fig. 2). Em geral, o componente com maior contribuição foi β -*Repl* (substituição de espécies) tanto para a diversidade taxonômica (média = 0,35) quanto funcional (média = 0,26). Os baixos valores de β -*Rich*, tanto referentes a diversidade beta taxonômica (média = 0,23) quanto a funcional (média = 0,18), mostram que no geral houve uma substituição de espécies ao longo dos anos e que apenas em determinados períodos dessa série temporal houve uma representativa diferença de riqueza.

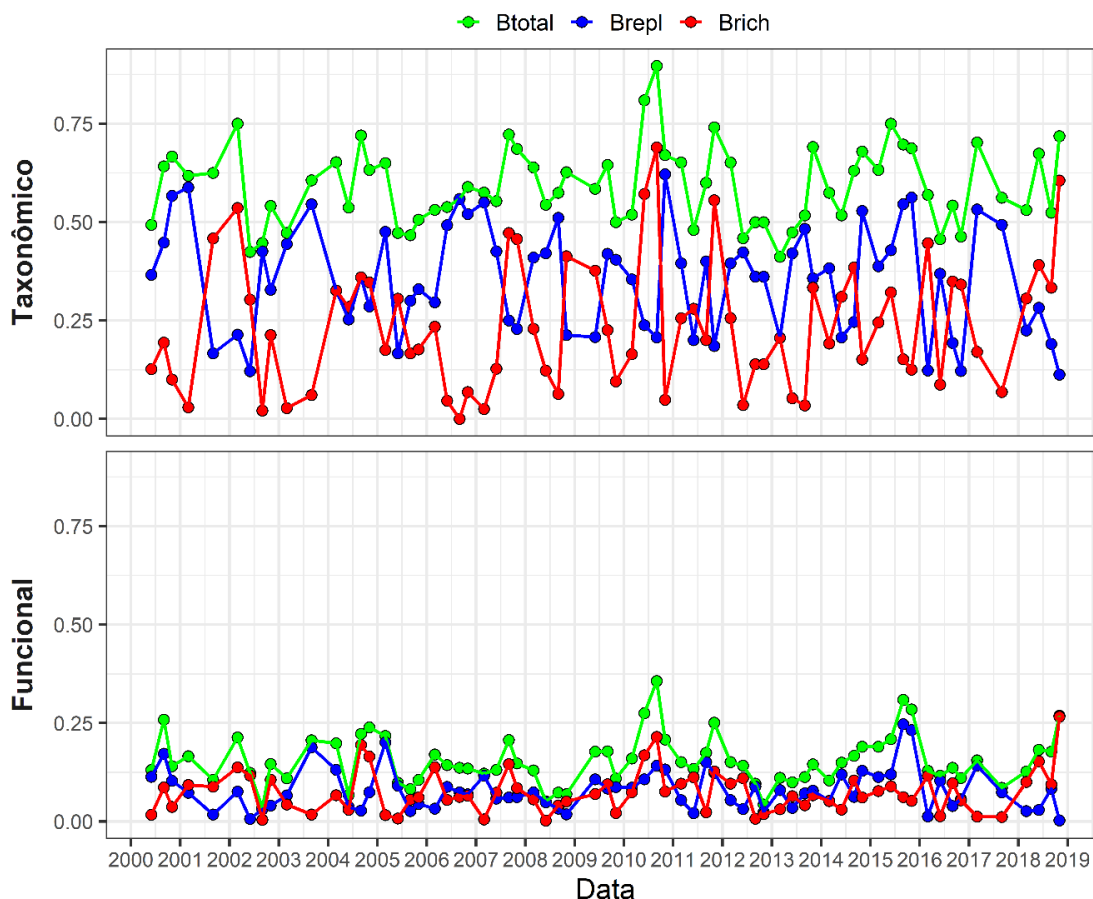


Figura 2. Variação temporal da diversidade beta taxonômica e funcional, incluindo a β -total (círculos verdes) e seus componentes β -repl (círculos azuis) e β -rich (círculos vermelhos), utilizando dados de presença e ausência de diatomáceas periféricas entre os anos de 2000 e 2018.

Ao longo dos anos amostrados é possível identificar uma oscilação de aumento e queda em ambos os valores dos componentes β -repl e β -rich. Apesar de β -repl apresentar uma maior contribuição taxonômica e funcional em escala temporal, β -rich contribui com altos valores em apenas alguns períodos, como entre 2010, 2011 e 2018 para análise taxonômica e em 2004, 2010, 2015 e 2018 para abordagem funcional (Fig. 2). Esse padrão fica mais evidente quando a contribuição local (de cada amostra) para a diversidade beta funcional e taxonômica foi calculada (Fig. 3). Ao observar os valores da LCBD taxonômica e funcional é possível confirmar os altos valores de β -rich em alguns períodos. Na abordagem taxonômica ficou evidente os altos valores de β -rich em 2001, 2004, 2010, 2011, 2015 e 2018, na abordagem funcional também foi observado nestes mesmos anos, exceto em 2001. Outro padrão temporal evidenciado pela LCBD foi a maior variação dos valores de β -total na abordagem funcional, comparada a taxonômica que neste caso teve grande contribuição da β -repl.

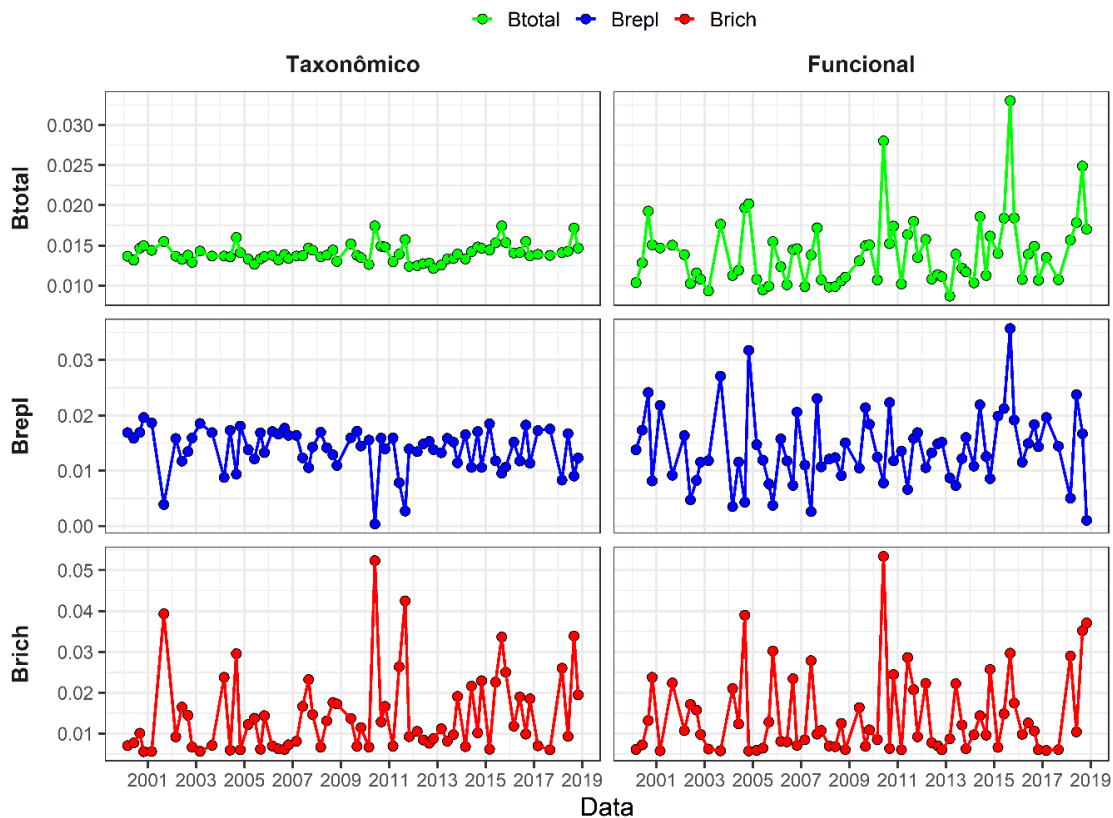


Figura 3. Variação temporal da contribuição local para a diversidade beta (LCBD) taxonômica e funcional, incluindo a β -total (círculos verdes) e seus componentes β -repl (círculos azuis) e β -rich (círculos vermelhos), utilizando dados de presença e ausência de diatomáceas periféricas entre os anos de 2000 e 2018.

2.3.2 Relação entre LCBD e riqueza taxonômica e riqueza funcional

Tanto a riqueza taxonômica quanto a riqueza funcional foram significativamente relacionadas aos três componentes da LCBD (Tabela 1). A relação entre LCBD Tax-total e LCBD Fun-total com a riqueza taxonômica e a riqueza funcional respectivamente, foram melhor descritas por uma relação polinomial de segunda ordem. A riqueza taxonômica apresentou poder preditivo maior que a riqueza funcional, explicando respectivamente 51% da variação da LCBD Tax-total ($\text{Pseudo-R}^2 = 0,51$) e 36% da LCBD Fun-total ($\text{Pseudo-R}^2 = 0,36$). Ambos LCBD Tax-total e LCBD Fun-total tendem a diminuir com o aumento da riqueza taxonômica e riqueza funcional (Fig. 4A e B).

Porém, quando os componentes LCBD Tax-repl e LCBD Fun-repl e diferença de riqueza foram analisados, foi possível observar uma diferença na descrição dos modelos. Isso fica bem evidente na relação de LCBD Tax-repl e LCBD Fun-repl com a riqueza taxonômica e a riqueza funcional, respectivamente. A relação de LCBD Tax-

repl e a riqueza taxonômica foi melhor descrita por um modelo polinomial de segunda ordem, onde a riqueza taxonômica explicou quase 65% da variação da LCBD Tax-repl (Pseudo- $R^2 = 0,649$), com esse componente decaindo em alta e baixa riqueza e aumentando em valores intermediários da riqueza taxonômica (Fig. 4C).

Tabela 1: Resultados da análise de beta-regressão para contribuição local da diversidade beta (LCBD) taxonômica e funcional, utilizando riqueza taxonômica e funcional como variáveis preditoras.

	Estimativa	Erro padrão	Z	P
A) LCBD Tax-total				
Intercepto	-4,255	0,006	-660,17	<0,001
Riqueza taxonômica	-0,257	0,052	-4,93	<0,001
Riqueza taxonômica ²	0,381	0,052	7,31	<0,001
B) LCBD Fun-total				
Intercepto	-4,265	0,025	-168,21	<0,001
Riqueza funcional	-0,764	0,182	-4,18	<0,001
Riqueza funcional ²	1,167	0,173	6,75	<0,001
C) LCBD Tax-repl				
Intercepto	-4,313	0,023	-189,44	<0,001
Riqueza taxonômica	0,918	0,212	4,33	<0,001
Riqueza taxonômica ²	-2,773	0,220	-12,58	<0,001
D) LCBD Fun-repl				
Intercepto	-4,284	0,058	-73,93	<0,001
Riqueza funcional	-0,824	0,0446	-1,85	0,064
Riqueza funcional ²	-0,137	0,432	-0,32	0,751
Riqueza funcional ³	-1,558	0,454	-3,43	<0,001
E) LCBD Tax-rich				
Intercepto	-4,377	0,025	-175,79	<0,001
Riqueza taxonômica	-1,191	0,146	-8,15	<0,001
Riqueza taxonômica ²	3,977	0,150	26,43	<0,001
F) LCBD Fun-rich				
Intercepto	-4,265	0,065	-64,98	<0,001
Riqueza funcional	-0,897	0,431	-2,08	0,037
Riqueza funcional ²	1,662	0,404	4,11	<0,001

A relação entre LCBD Fun-repl e a riqueza funcional foi descrita por uma relação polinomial de terceira ordem, explicando praticamente 15% da variação da LCBD Fun-repl ($\text{Pseudo-R}^2 = 0,149$), com esse componente decaindo em valores baixos de riqueza funcional, aumentando em valores intermediários e subsequentemente diminuiu sucessivamente em valores elevados de riqueza (Fig. 4D).

Quando é observada a relação de LCBD Tax-rich e LCBD Fun-rich com a riqueza taxonômica e a riqueza funcional, respectivamente, é possível classificar ambos os modelos com uma relação polinomial de segunda ordem. A riqueza taxonômica explicou quase 89% da variação da LCBD Tax-rich ($\text{Pseudo-R}^2 = 0,887$), e a riqueza funcional explicou 25% da variação da LCBD Fun-rich ($\text{Pseudo-R}^2 = 0,254$). Na relação de LCBD Tax-rich e a riqueza taxonômica, foi observado um forte aumento dos valores da LCBD Tax-rich em baixa e alta riqueza, com queda expressiva dos valores da LCBD Tax-rich em valores intermediários de riqueza taxonômica (Fig. 4E). Apesar da relação entre a LCBD Fun-rich e a riqueza funcional apresentar um modelo de mesma relação e ordem ao taxonômico, o modelo funcional tem um padrão menos marcado que o taxonômico, com menos variação dos valores de LCBD Fun-rich em relação a riqueza funcional (Fig.4F).

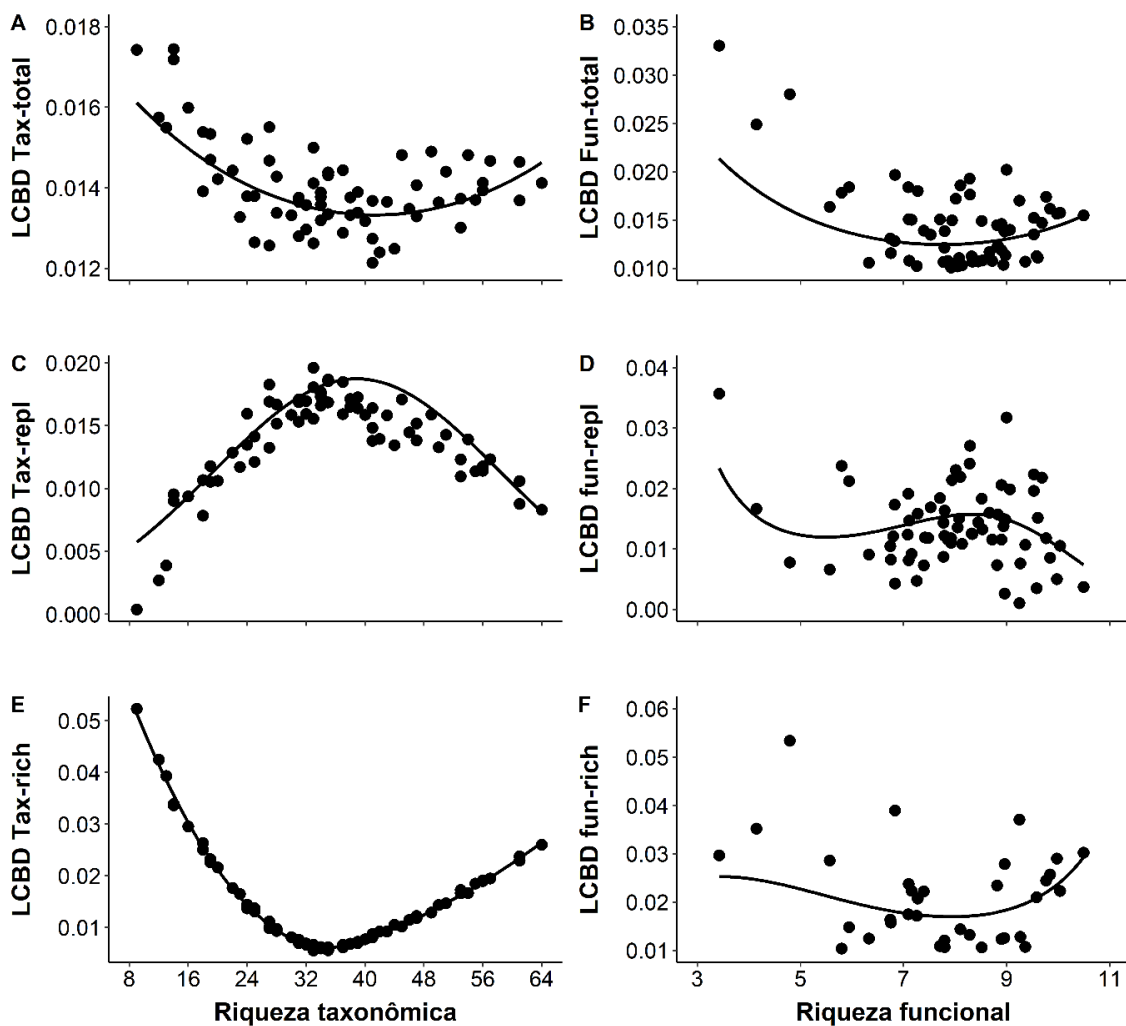


Figura 4. Relação entre a contribuição local para a diversidade beta (LCBD) para cada componente da diversidade beta taxonômica e funcional e a riqueza taxonômica (A, C e E) e a riqueza funcional (B, D e F) de diatomáceas perifíticas.

2.3.3 Relação entre LCBD e variáveis ambientais

As beta-regressões mostraram que, tanto a LCBD Tax-total quanto a LCBD Fun-total foram significativamente relacionadas ao parâmetro turbidez (Tabela 2), explicando aproximadamente 8,5% da variação em LCBD Tax-total (Pseudo- $R^2 = 0,085$) e 12,2% da variação em LCBD Fun-total (Pseudo- $R^2 = 0,122$). O LCBD Tax-repl e o LCBD Fun-repl não tiveram relação significativa com nenhuma das variáveis comparadas. Analisando o componente de diferença de riqueza, não houve relação do LCBD Tax-rich com as variáveis ambientais, porém com o LCBD Fun-rich há uma relação significativa também com o parâmetro turbidez. A relação de LCBD Fun-rich com turbidez teve 15,8% de poder explicativo (Pseudo- $R^2 = 0,158$).

Tabela 2: Resultados da análise de beta-regressão para contribuição local da diversidade beta (LCBD) taxonômica e funcional, com variáveis ambientais (Nível, Temperatura da água e Turbidez).
*marginalmente significativo.

	Estimativa	Erro padrão	Z	P
A) LCBD Tax-total				
Intercepto	-4,26	6,02	-70,65	<0,001
Nível	-1,51	9,29	-1,62	0,104
Temperatura da água	7,77	2,41	0,32	0,747
Turbidez	1,84	6,87	2,68	0,007
B) LCBD Fun-total				
Intercepto	-3,89	0,21	-17,69	<0,001
Nível	-0,0005	0,004	-1,47	0,141
Temperatura da água	-0,01	0,009	-1,21	0,226
Turbidez	0,005	0,002	2,27	0,022
C) LCBD Tax-repl				
Intercepto	-4,61	0,23	-19,17	<0,001
Nível	0,0004	0,0002	1,34	0,179
Temperatura da água	0,014	0,009	1,47	0,142
Turbidez	-0,005	0,004	-1,35	0,178
D) LCBD Fun-repl				
Intercepto	-4,08	0,36	-11,31	<0,001
Nível	0,0002	0,0004	0,58	0,562
Temperatura da água	-0,005	0,014	-0,38	0,703
Turbidez	-0,0089	0,005	-1,72	0,084*
E) LCBD Tax-rich				
Intercepto	-3,66	0,455	-8,05	<0,001
Nível	-0,001	0,0008	-1,48	0,139
Temperatura da água	-0,011	0,018	-0,65	0,516
Turbidez	0,007	0,004	1,50	0,133
F) LCBD Fun-rich				
Intercepto	-3,52	0,44	-7,94	<0,001
Nível	-0,002	0,0007	-2,21	0,027
Temperatura da água	-0,018	0,018	-1,002	0,316

Turbidez	0,015	0,004	3,35	<0,001
----------	-------	-------	------	--------

2.4 Discussão

A comunidade de diatomáceas é conhecida por sua diversidade e ampla distribuição geográfica (Round et al. 1990). A forte capacidade de dispersão e replicação desses microrganismos facilitou a evolução dos mesmos, o que garantiu amplas tolerâncias ecológicas e respostas plásticas às mudanças ambientais locais (Smol 2008; Smol e Stoermer 2010). Com base nisso, era esperado que tanto a riqueza taxonômica quanto a funcional local poderiam ser alta, enquanto a dissimilaridade taxonômica e funcional da comunidade de diatomáceas poderiam ser baixas sob condições naturais. No entanto, este padrão não é apoiado pelos resultados em escala temporal, onde o alto nível histórico de dissimilaridade taxonômica e funcional entre comunidades de diatomáceas foi principalmente associado ao efeito de substituição de espécies, conforme indicado pela alta contribuição relativa do *B-repl* ao longo do tempo. Esse mesmo padrão de forte contribuição do componente de substituição também foi observado por Algarte et al. (2016) em outros ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná. Ruwer e Rodrigues (2021) (*in prep.*), analisando um conjunto de dados paleolimnológicos de diatomáceas que abrangem mais de 50 anos de história da mesma lagoa deste estudo, também apontam uma alta contribuição do componente de substituição (*B-repl*) para traços funcionais, indicando essa dissimilaridade histórica na comunidade de diatomáceas.

White et al. (2006) sugeriram que grandes flutuações temporais no ambiente podem fazer com que as espécies sejam mais temporalmente desiguais em sua ocorrência, o que deve aumentar a substituição das espécies. As planícies de inundação são ambientes altamente flutuantes, sua dinâmica hidrológica cria um complexo mosaico de *habitats* e gradientes de conectividade hidrológica (Friedman e Auble 2000; Thomaz et al. 2007; Paillex et al. 2009). Em um ambiente de perturbação hidrológica historicamente intensa, como a planície de inundação do alto rio Paraná (Ruwer et al. 2018), é esperado uma alta dissimilaridade taxonômica e conseqüentemente alta contribuição da substituição de espécies, que pode ser explicada pelo forte efeito de filtros ambientais que a heterogeneidade ambiental pode exercer na persistência de espécies (Zhang et al. 2018). Dessa forma, os filtros ambientais podem ser considerados fatores determinantes na substituição de espécies de diatomáceas em ambientes de

planície. Isso porque, os efeitos dos filtros ambientais na biodiversidade podem estar relacionados ao grau de adaptação das espécies em relação às condições ambientais locais (Zhang et al. 2018). Assim, espera-se que a variação natural do ambiente resulte no aumento do *turnover* de espécies promovido por uma especificidade das espécies adquirida ao longo do tempo. Como base nisso, os resultados vão contra a nossa expectativa inicial de uma homogeneização taxonômica e funcional em escala temporal, promovida por distúrbios ambientais que levam a uma perda de espécies.

A adaptação das diatomáceas perante a distúrbios está cada vez mais sendo explorada por pesquisadores. Por exemplo, para propor as guildas funcionais de diatomáceas, Passy (2007) leva em consideração a sensível resposta das mesmas a uma extensa gama de estímulos ambientais, incluindo alterações físicas e químicas no ambiente aquático. Neste estudo, apesar de observarmos poucas espécies comuns (4% do total de táxons), as espécies que apresentam essa alta frequência no estudo são consideradas em sua maioria cosmopolitas e são comumente encontradas nos diversos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná (Algarte et al. 2016; Bichoff et al. 2017; Dunck et al. 2018; Osório et al. 2019). Entre elas podemos destacar principalmente *Achnantheidium minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema lagenula* e *Nitzschia amphibia*. Essas espécies também foram registradas em estudos paleolimnológicos de mais de 100 anos, indicando a persistência histórica dessas espécies (Ruwer et al. 2018). Porém, essas espécies comuns representam uma pequena parcela da comunidade, que é marcada por uma grande quantidade de espécies raras, e provavelmente são estas que estão determinando o padrão de substituição ao longo do tempo.

Padrões constantes de diversidade beta taxonômica e funcional, podem representar a heterogeneidade ambiental criada pelos ciclos hidrológicos da planície, que agem mantendo a diversidade de espécies e suas funcionalidades ecossistêmicas ao longo do tempo (Bozelli et al. 2015; Pineda et al. 2019). É importante destacar que apesar da diversidade beta taxonômica e funcional apresentarem padrões relativamente constantes, a diversidade beta taxonômica apresentou maiores valores que a diversidade beta funcional. No geral, podemos considerar que há uma forte substituição de espécies, porém, uma menor dissimilaridade funcional ao longo do tempo. Não se pode descartar o fato de que em alguns períodos o componente *B-rich* foi mais elevado do que o padrão temporal determinado pelo *B-repl*. Este resultado, evidenciado principalmente

pela análise de contribuição local para a diversidade beta (LCBD) funcional e taxonômica, revela que em determinados momentos dentro dessa escala temporal, a diferença de riqueza contribui mais que a substituição de espécies. Essa contribuição do *B-rich* pode estar relacionada com a diminuição de pulsos de inundação da planície nos últimos anos, devido ao controle hidrológico imposto pelos barramentos, que resultou em períodos secos mais prolongados e intensos (Bertoncin et al. 2019). Isso acarreta longos períodos de isolamento entre os ambientes, fortalecendo os filtros ambientais (Chase 2007) que, por sua vez, selecionaram determinadas espécies e traços funcionais.

Assim, destaca-se que apesar da variação hidrológica natural de planície determinar um forte padrão de substituição (*B-repl*) taxonômica e funcional ao longo do tempo, outros tipos de distúrbios, como os antrópicos, podem ter determinado esses picos de maior contribuição da diferença de riqueza (*B-rich*). Isso pode levar à perda de espécies, começando por táxons especializados, que podem não resistir as novas condições ambientais locais impostas, que vão além dos limites da variabilidade natural na qual as espécies estão adaptadas. Considerando que o índice de riqueza funcional reflete o espaço funcional preenchido por espécies, enfatizando os traços mais extremos (Villéger et al. 2008), a adição de espécies raras tem contribuições relevantes para a estrutura funcional de comunidades ecológicas (Mouillot et al. 2013). De fato, os períodos com maior riqueza funcional foram os que apresentaram maior riqueza taxonômica e, conseqüentemente, incorporaram espécies raras com características específicas. Isso porque, as espécies raras, muitas vezes, desempenham funções únicas no ecossistema, causando diferenças na diversidade funcional (Toussaint et al. 2016; Violle et al. 2017).

O grau de contribuição local para a diversidade beta foi variável, com a composição de diatomáceas, sendo singulares ou comuns dentro do gradiente temporal, padrão similar ao registrado em escalas espaciais proposto por Legendre e De Cáceres (2013). Os componentes LCBD Tax-total e LCBD Fun-total mostraram uma relação quadrática em forma de U com a riqueza taxonômica e a riqueza funcional respectivamente. Assim como foi demonstrado em estudos anteriores sobre a diversidade beta, esperávamos uma relação negativa (Legendre e De Cáceres 2013; Heino e Grönroos 2017; Silva et al. 2018), porém os resultados demonstram que os valores de LCBD taxonômicos e funcionais tendem a aumentar novamente acima de um determinado valor de riqueza. Portanto, de forma geral, períodos com alta e baixa riqueza taxonômica e funcional contribuem significativamente para a diversidade beta

taxonômica e funcional das diatomáceas. Isso mostra que tanto comunidades ricas quanto pobres em espécies podem hospedar espécies funcionalmente diferentes e, neste caso, elas contribuem mais para a diversidade beta do que comunidades intermediárias em espécies. Esse pode ser o caso principalmente para LCBD Fun-repl, uma vez que os níveis mais elevados de riqueza funcional refletiram baixas contribuições para a substituição de características funcionais. O inverso é observado em LCBD Fun-rich na qual níveis elevados de riqueza funcional refletiram em uma alta diferença de riqueza funcional. Considerando esses resultados, podemos entender que ao longo do tempo, filtros ambientais locais provavelmente determinaram períodos ecologicamente únicos capazes de suportar uma combinação incomum de características de espécies (Legendre e De Cáceres 2013).

Comparando a LCBD Tax-repl e LCBD Tax-rich, observamos que valores intermediários de riqueza de espécies favorecem o componente de substituição, mas valores extremos sejam eles baixos ou elevados de riqueza determinam uma grande diferença na composição taxonômica. Neste caso, períodos com altos valores de LCBD relacionados a riqueza taxonômica possuem combinações incomuns de espécies, indicando altos valores de conservação. Os períodos com altos valores de LCBD, relacionados a riqueza extremamente baixa ou elevada, podem ser relacionados com condições ambientais específicas que podem levar a uma alteração brusca na composição de espécies. Já é reconhecido que altos valores de LCBD podem indicar locais valiosos para orientar a conservação da biodiversidade, pois apresentam singularidade ecológica (Legendre e De Cáceres 2013). Somado a isso, os resultados apresentados aqui enfatizam que as diatomáceas refletem as variações ambientais provocadas pelas oscilações hidrológicas naturais e antrópicas. Dessa forma, ressalta-se a importância da manutenção das oscilações hidrológicas naturais, pois alterações ambientais não regulares, causadas principalmente pela atuação do barramento, podem levar a perdas bruscas de espécies, podendo causar consequências para toda a teia alimentar aquática.

O controle hidrológico que os barramentos exercem determinam a oscilação do nível da água, independente da variação hidrológica natural exercida em ambientes de planície (Agostinho et al. 1995; Thomaz et al. 2004; Roberto et al. 2009). Quando analisamos a relação do nível de água sobre a LCBD taxonômica e funcional, não conseguimos identificar associações significativas, indicando que este fator não foi

crucial para a estrutura taxonômica e funcional da comunidade ao longo do tempo. Apesar disso, é sabido que a variação do nível da água tem forte efeito sobre a abundância de algumas espécies de diatomáceas, como *A. minutissimum*, que é uma espécie persistente nos ambientes desta planície, mas tem sua abundância aumentada em períodos de seca, principalmente em secas extremas (Ruwer et al. 2021).

Estudos limnológicos realizados antes do último barramento construído na planície de inundação do alto rio Paraná, indicavam que os ambientes apresentavam maiores valores de turbidez (Agostinho et al. 1995; Thomaz et al. 2004; Roberto et al. 2009). Isso porque, além de afetar as oscilações do nível de água, os barramentos também exercem forte efeito sobre as características limnológicas nesta planície, como a retenção de partículas orgânicas e inorgânicas, que levam a um aumento da transparência da água (Agostinho et al. 2004; Roberto et al. 2009). Considerando isso, a relação positiva da turbidez sobre a LCBD Tax-total e a LCBD Fun-total que encontramos neste estudo, evidencia a importância desse parâmetro na determinação da particularidade da composição de espécies e características funcionais em determinados períodos ao longo da série temporal. Assim, muitas espécies residentes, que apresentam adaptações para persistir às variações ambientais, acabam determinando a biodiversidade local bem como a dinâmica das comunidades de diatomáceas (Rodrigues e Bicudo 2001; Algarte et al. 2009; 2016; Bichof et al. 2018).

Em conclusão, destaca-se que embora o *Brepl* tenha permanecido como o principal contribuinte para a dissimilaridade taxonômica e funcional das diatomáceas perifíticas ao longo de uma larga escala temporal, a diferença de riqueza taxonômica e funcional foi representativa em alguns períodos, indicando uma possível perda de espécies e funcionalidade. Com base nisso, este estudo apresenta novas evidências sobre os padrões de diversidade taxonômica e funcional em comunidades de diatomáceas e como esta comunidade tem se adaptado ao longo do tempo em relação aos efeitos ambientais locais, bem como sobre o impacto de atividades antrópicas, como o barramento. Assim, ressalta-se que a associação da abordagem taxonômica e funcional nos componentes da diversidade beta foi de extrema importância para a interpretação de variação da composição de espécies de diatomáceas em uma longa série temporal, principalmente quando consideramos a importância da contribuição local da diversidade beta. Essas ferramentas pontuaram importantes padrões ecológicos considerados relevantes dentro de ecossistemas de planície, uma vez que as diatomáceas representam

um grupo extremamente notório de produtores aquáticos. Destaca-se a importância de considerar a comunidade de diatomáceas dentro dos estudos de monitoramento, uma vez que elas respondem muito bem às variações ambientais, gerando dados indispensáveis para estudos de manejo e conservação de áreas que sofrem impacto antrópico.

REFERÊNCIAS

Ács E, Bíró T, Berta C et al (2020) Long-Term Changes of Species Composition and Functional Traits of Epiphytic Diatoms in the Szigetköz Region (Hungary) of the Danube River. *Water* 12: 776.

Agostinho AA, Vazzoler AEAM, Thomaz SM (1995) The high Parana River basin: Limnological and ichthyological aspects. In: Tundisi JG, Bicudo CEM, Matsumura-Tundisi T (eds) *Limnology in Brazil*, 4rd edn Brazilian Academy of Science, Brazilian Limnological Society, Rio de Janeiro, pp 59–104.

Agostinho AA, Thomaz SM, Gomes LC (2004) Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Int J Ecohydrol Hydrobiol* 4: 255–268.

Agostinho AA, Pelicice FM, Gomes LC (2008) Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Braz J Biol* 68: 1119–1132.

Agostinho AA, Pelicice FM, Petry AC et al (2007) Fish diversity in the upper Paraná River basin: habitats, fisheries, management and conservation. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 10: 174–186.

Algate VM, Siqueira NS, Murakami EA, Rodrigues L (2009) Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Brazilian Journal of Biology* 69: 609–616.

Algate VM, Rodrigues L, Landeiro VL et al (2014) Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia* 722: 279-290.

Algarte VM, Dunck B, Leandrini JA, Rodrigues L (2016) Periphytic diatom ecological guilds in floodplain: Ten years after dam. *Ecological Indicators*, 69: 407-414.

Baselga A (2010) Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr* 19:134–143.

Bertoncin APS, Pinha GD, Baumgart MT, Mormul RP (2019) Extreme drought events can promote homogenization of benthic macroinvertebrate assemblages in a floodplain pond in Brazil. *Hydrobiologia* 826: 379–393.

Bichoff A, Osório NC, Ruwer DT et al (2017) Influence of tributaries on the periphytic diatom community in a floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia* 29: e110.

Bichoff A, Osório NC, Ruwer DT et al (2018). Trait structure and functional diversity of periphytic algae in a flood-plain conservation area. *Brazilian Journal of Botany* 41: 601–610.

Bicudo CEM, Menezes M (2006). Gêneros de algas de água doce continentais do Brasil: chaves para identificação e descrições. ed. Rima, São Carlos.

Biggs BJB, Stevenson RJ, Lowe, RL (1998) A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Arch. Hydrobiol.* 143: 21-56.

Bovo-Scomparin VM, Train S (2008) Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. *Hydrobiologia* 610: 331-344.

Bozelli RL, Thomaz SM, Padial AA et al (2015) Floods decrease zooplankton beta diversity and environmental heterogeneity in an Amazonian floodplain system. *Hydrobiologia* 753: 233–241.

Braghin LSM, Almeida BA, Amaral DC et al (2018) Effects of dams decrease zooplankton functional b-diversity in river-associated lakes. *Freshwater Biology* 63: 721–730.

Burliga AL, Schwarzbald A (2013) Perifíton: Diversidade taxonômica e morfológica. In: Schwarzbald A, Burliga AL, Torgan LC (eds.). *Ecologia do Perifíton*. Rima, São Carlos, pp 1-16.

Campos R, Lansac-Tôha FM, Conceição EO et al (2018) Factors affecting the metacommunity structure of periphytic ostracods (Crustacea, Ostracoda): a deconstruction approach based on biological traits. *Aquatic Sciences* 80: 16.

Cardoso P, Rigal F, Carvalho JC et al. (2014) Partitioning taxon, phylogenetic and functional beta diversity into replacement and richness difference components. *Journal of Biogeography* 41, 749–761.

Carvalho RA, Tejerina-Garro FL (2015) Relationships between taxonomic and functional components of diversity: implications for conservation of tropical freshwater fishes. *Freshwater Biology* 60:1854–1862.

Carvalho JC, Cardoso P, Gomes P (2012) Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns. *Glob. Ecol. Biogeogr* 21: 760–771.

Chase JM (2007) Drought mediates the importance of stochastic community assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, pp 17430–17434.

Diniz LP, Braghin LSM, Pinheiro TSA et al (2021) Environmental filter drives the taxonomic and functional β -diversity of zooplankton in tropical shallow lakes. *Hydrobiologia*.

Dray S, Bauman D, Blanchet G et al (2020) Adespatial: multivariate multiscale spatial analysis. R package version 0.3-7. <https://cran.r-project.org/web/packages/adespatial/index.html>.

Dunck B, Bortolini JC, Rodrigues LC et al (2013) Flood pulse drivers functional diversity and adaptive strategies of planktonic and periphytic algae in isolated tropical floodplain lake (Brazil). *Braz. J. Bot.* 36: 257-266.

Dunck B, Rodrigues L, Bicudo DC (2015) Functional diversity and functional traits of periphytic algae during a short-term successional process in a Neotropical floodplain lake. *Braz. J. Biol.* 75: 587-597.

Dunck B, Schneck F, Rodrigues L (2016). Patterns in species and functional dissimilarity: insights from periphytic algae in subtropical floodplain lakes. *Hydrobiologia* 763: 237-247.

- Dunck BD, Junqueira MG, Bichoff AP et al (2018) Periphytic and planktonic algae records from the Upper Paraná River floodplain, Brazil: an update. *Hoehnea* 45: 560-590.
- Ferragut C, Bicudo DC (2010) Periphytic algal community adaptative strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia* 646: 295-309.
- Ferrari S, Cribari-Neto F (2004) Beta regression for modelling rates and proportions. *J Appl Stat* 31:799–815.
- Friedman JM, Auble GT (2000) Floods, flood control, and bottomland vegetation. In: Wohl EE (ed) *Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities*, (Cambridge: Cambridge University Press).
- Gower JC (1966) Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika* 53:325–338
- Heino J, Ilmonen J, Paasivirta L (2014) Continuous variation of macroinvertebrate communities along environmental gradients in northern streams. *Boreal Environ. Res.* 19.
- Heino J, Grönroos M (2017) Exploring species and site contributions to beta diversity in stream insect assemblages. *Oecologia* 183:151–160.
- Heino J, Alahuhta J, Fattorini S, Schmera D (2019) Predicting beta diversity of terrestrial and aquatic beetles using ecogeographical variables: insights from the replacement and richness difference components. *Journal of Biogeography* 46, 304–315.
- IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2000 - 2010 - 2012 - 2014. Rio de Janeiro.
- Junk WJ, Bailey PB, Sparks RE (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fishers and Aquatic* 106: 110–127.
- Kobayashi H, Mayama S (1982) Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Jap. J. Phycol.* 30: 188-196.

Laliberté E, Legendre P (2010) A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91: 299–305. <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>

Lange K, Townsend CR, Matthaei CD (2016) A trait-based framework for stream algal communities. *Ecol. Evol.* 6: 23-36.

Legendre P, De Cáceres M (2013) Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecol Lett* 16: 951–963.

Legendre P (2014) Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr* 23:1324–1334.

Letáková M, Fránková M, Pouličková A (2018) Ecology and applications of freshwater epiphytic diatoms – review. *Cryptogamie, Algologie* 39: 3-22.

Mason NWH, Mouillot D, Lee WG, Wilson JB (2005) Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111:112–118.

Moi DA, Ernandes-Silva J, Baumgartner MT, Mormul RP (2020) The effects of river-level oscillations on the macroinvertebrate community in a river–floodplain system. *Limnology* 21: 219–232

Mouillot D, Bellwood DR, Baraloto C et al (2013) Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *PLoS Biol* 11: e1001569.

Morais GF, Guilherme L, Carlo J et al (2018). Biological surrogates: A word of caution. *Ecological Indicators* 88, 214–218.

Moreira-Filho H, Valente-Moreira IM (1981) Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Bacillariophyceae) epifíticas em algas pluricelulares obtidas nos litorais dos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. *Boletim do Museu Botânico Municipal* 47:1-17.

Nabout JC, Siqueira T, Bini LM, Nogueira IS (2009) No evidence for environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities. *Acta Oecologica* 35: 720–726.

Neiff JJ (1990) Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* 15: 424–441.

- Osório NC, Cunha ER, Tramonte RP et al (2019) Habitat complexity drives the turnover and nestedness patterns in a periphytic algae community. *Limnology* 20: 297–307.
- Paillex A, Doledec S, Castella E, Merigoux S (2009) Large river floodplain restoration: predicting species richness and trait responses to the restoration of hydrological connectivity. *J. Appl. Ecol.* 46: 250–258.
- Passy SI (2007) Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86: 171–178.
- Passy S, Larson CA (2011) Succession in stream biofilms is an environmentally driven gradient of stress tolerance. *Microb. Ecol.* 62: 414–424.
- Peres-Neto PR, Jackson DA (2001) How well do multivariate data sets match? The advantages of a procrustean superimposition approach over the Mantel test. *Oecologia* 129: 169–178.
- Pineda A, Peláez Ó, Dias JD et al (2019) The El Niño Southern Oscillation (ENSO) is the main source of variation for the gamma diversity of plankton communities in subtropical shallow lakes. *Aquatic Sciences* 81: 1–15.
- Podani J, Schmera D (2011) A new conceptual and methodological framework for exploring and explaining pattern in presence - absence data. *Oikos* 120: 1625–1638.
- Quirino BA, Lansac-Tôha FM, Thomaz SM et al (2021) Macrophyte stand complexity explains the functional α and β diversity of fish in a tropical river-floodplain. *Aquatic Sciences*, 83: 1–14.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>. Accessed 10 Dec 2020
- Rimet F, Bouchez A (2012) Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406: 1–14.
- Roberto MC, Santana NF, Thomaz SM (2009) Limnology in the Upper Paraná river floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Brazilian Journal of Biology* 69: 717–725.

- Rodrigues L, Bicudo DC (2001) Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 24: 235–248
- Round F, Crawford R, Mann D (1990) *The diatoms*, Cambridge University Press, Bristol.
- Ruwer DT, Bernardes MC, Rodrigues L (2018) Diatom responses to environmental changes in the Upper Paraná River floodplain (Brazil) during the last ~1000 years. *Journal of Paleolimnology* 60: 543-551.
- Ruwer DT, Osório NC, Costa-Böddeker S, Rodrigues L (2021) Influence of temporal changes on a diatom species in a floodplain lake: paleolimnological and biomonitoring approach. *Diatom Research*.
- Ruwer DT, Rodrigues L (2021) Evidência paleolimnológica do efeito dos barramentos na comunidade de diatomáceas em uma planície de inundação subtropical, (*in prep.*).
- Schneck F, Rodrigues SC, Schwarzbald A, Melo AS (2011) Environmental variability drives phytoplankton assemblage persistence in a subtropical reservoir. *Austral Ecology* 36: 839-848.
- Schneck F, Melo AS (2012) Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. *Freshwater Biology* 57: 1678–1688.
- Simonsen R (1974) The diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V. *Meteor, Forschungsergebnisse. Reihe D-Biologie* 19: 1-66.
- Soininen J, Eloranta P (2004) Seasonal persistence and stability of diatom communities in rivers: are there habitats specific differences? *European Journal of Phycology* 39: 153-160.
- Soininen J, McDonald R, Hillebrand H (2007) The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography* 30: 3–12.
- Souza Filho EE (2009) Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. *Braz J Biol* 69: 707–716

Souza Filho EE, Stevaux JC (1997) Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinhema. In: Vazzoler AEAM, Agostinho AA, Hahn NS (eds) A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. EDUEM, Maringá, pp 3–46.

Stevaux JC, Martins DP, Meurer M (2009) Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology* 113: 230–238.

Stoermer EF, Smol JP (1999) *The Diatoms: Application for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge.

Socolar JB, Gilroy JJ, Kunin WE, Edwards DP (2016) How Should Beta-Diversity Inform Biodiversity Conservation? Conservation Targets at Multiple Spatial Scales. *Trends Ecol. Evol.* 31: 67–80.

Silva PG, Hernández MIM, Heino J (2018) Disentangling the correlates of species and site contributions to beta diversity in dung beetle assemblages. *Divers Distrib* 24:1674–1686.

Smol JP, Birks HJB, Last WM (2001) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Smol JP (2008) *Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective*. 2nd ed. Malden, USA: Blachwell pp 396.

Smol JP, Stoermer EF (2010) *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*. University Press, Cambridge

Souza Filho EE, Rocha PC, Comunello E, Stevaux JC (2004) Effects of the Porto Primavera Dam on physical environment of the downstream floodplain. In: Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS (eds) *The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. Backhuys Publishers, Leiden, pp 55–74.

Stevaux JC, Martins DP, Meurer M (2009) Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology* 113: 230–238.

Thomaz SM, Pagioro TP, Bini LM et al (2004) Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. In Thomaz SM,

Agostinho AA, Hahn NS (eds.), *The Upper Paraná River and its Floodplain*. Backhuys Publishers, Leiden: 75–102.

Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL (2007) Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579: 1–13.

Toussaint A, Charpin N, Brosse S, Villéger S (2016) Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread. *Sci Rep* 6:22125.

Tockner K, Ward J, Stanford JA, Schiemer F (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environ Conserv* 29:308–330.

Van der Plas, F. et al. (2016). Jack-of-all-trades effects drive biodiversity-ecosystem multifunctionality relationships in European forests. *Nat Comm.* 7: 11109.

Villéger S, Mason NWH, Mouillot D (2008) New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89: 2290–2301.

Violle C, Navas ML, Vile D et al (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116: 882–892.

Violle C, Thuiller W, Mouquet N et al (2017) Functional rarity: the ecology of outliers. *Trends Ecol Evol* 32:356–367.

Ward JV, Tockner K, Schiemer F (1999) Biodiversity of Floodplain River Ecosystems: Ecotones and Connectivity. *River Research and Applications* 15: 125–139.

White EP, Adler PB, Lauenroth WK et al. (2006) A comparison of the species–time relationship across ecosystems and taxonomic groups. *OIKOS* 112: 185–195.

Xu J, García Molinos J, Su G et al. (2019) Cross-taxon congruence of multiple diversity facets of freshwater assemblages is determined by large-scale processes across China. *Freshwater Biology*, 1–12.

Zhang M, García Molinos J, Zhang X and Xu J (2018) Functional and Taxonomic Differentiation of Macrophyte Assemblages Across the Yangtze River Floodplain Under Human Impacts. *Front. Plant Sci.* 9: 387.

Zeileis A, Cribari-Neto F, Gruen B, Kosmidis I (2019) Beta Regression. R package version 3.1-2. <https://cran.r-project.org/web/packages/betar/betar.pdf>.

3 DIATOMÁCEAS PERIFÍTICAS COMO INDICADORAS DE DIFERENTES PERÍODOS HIDROLÓGICOS EM UM LAGO DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: UM ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO

RESUMO

A planície de inundação do alto Rio Paraná tem sido submetida a várias perturbações naturais e antrópicas (como a construção de barragens), o que tem provocado alterações no regime hidrológico. Assim, utilizando uma série temporal de quase 20 anos de biomonitoramento (2000 a 2018), buscamos determinar a influência das mudanças ambientais e das variações dos períodos hidrológicos (seca e cheia) na comunidade de diatomáceas perifíticas. Com base nisso, testamos a hipótese de que os períodos hidrológicos (seca e cheia) irão determinar a composição da comunidade de diatomáceas perifíticas, pois esperamos que as diatomáceas atuem como indicador na determinação de variações hidrológicas e ambientais da planície de inundação do alto rio Paraná. Para isso, utilizamos o método IndVal para determinar as espécies indicadoras de cada período hidrológico. Encontramos 28 táxons que indicaram o período de cheia e apenas *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki como indicador do período de seca. Os resultados da RDA, utilizando variáveis limnológicas e a abundância relativa de espécies de diatomáceas perifíticas, ressaltam um agrupamento entre períodos hidrológicos (seca e cheia). Desta forma, os resultados deste estudo mostram que as diatomáceas atuaram bem como surrogate na determinação das alterações hidrológicas, o que reforça a necessidade de um monitoramento contínuo da região, no intuito de acompanhar a direção das mudanças ecológicas, tanto hidrológicas quanto climáticas desta planície.

Palavras-chave biomonitoramento, bioindicação, epifíton, rio Paraná.

ABSTRACT

The upper Paraná River floodplain has been subjected to several natural and anthropogenic disturbances (like the construction of dams), which has caused changes in the hydrological regime. Thus, using a time series of almost 20 years of biomonitoring (2000 to 2018), we seek to determine the influence of environmental changes and variations in hydrological periods (dry and flood) in the periphytic diatom community. Based on this, we tested the hypothesis that the hydrological periods (dry and flood) will determine the composition of the diatom community, because we expect the diatoms act as "surrogates" in determining hydrological and environmental variations of the upper Parana river floodplain. For this, we use the IndVal method to determine the indicator species for each hydrological period. We found 28 taxa that indicated the flood period and only *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki as an indicator of the drought period. In addition, the results of the RDA, using limnological variables and the relative abundance of periphytic diatom species, highlight a grouping between hydrological periods (dry and flood). Thus, the results of this study show that diatoms acted well as "surrogates" in determining hydrological changes, so it is essential to maintain continuous monitoring of the region, in order to follow the direction of ecological changes, both hydrological and climatic of this plain.

Key-words biomonitoring, bioindication, epiphyte, Paraná river.

3.1 Introdução

Mudanças no regime hidrológico estão entre as ameaças mais sérias à biodiversidade, especialmente em planícies de inundação que apresentam uma dinâmica natural de alternância hidrológica [1,2]. Essas alternâncias entre períodos de cheia e seca têm um papel central na interpretação de processos ecológicos desses sistemas, o que motivou a formulação do conceito pulso de inundação [3,4]. Esse regime de variação hidrológica, mantido pelo pulso de inundação determina a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas de planície, garantindo altos níveis de diversidade e produtividade [3-5]. Isso porque em períodos de cheia (inundação da várzea) há um aumento da disponibilidade de nichos e fontes de nutrientes alóctones carregados de encostas ou nutrientes presentes em materiais orgânicos ou inorgânicos inundados [6]. Dessa forma, o pulso de inundação pode ser considerado um mecanismo que mantém a persistência de espécies, pois ele favorece a conectividade entre os muitos ambientes da planície, aumentando o potencial de dispersão de organismos [7,8].

Na planície de inundação do alto rio Paraná, os reservatórios a montante têm causado alterações no regime hidrológico natural, provocando uma redistribuição dos fluxos históricos sazonais de água ao longo do ano. A regulação hidrológica alterou o tempo de permanência dos períodos de cheia e seca e levou à diminuição da conectividade dos ambientes [2]. Essas mudanças afetam as características limnológicas e interferem na estrutura do *habitat*, causando graves impactos nas comunidades, como alterações na composição e biodiversidade de várias comunidades aquáticas [2,6,9,10], especialmente depois que o reservatório de Porto Primavera - o mais próximo - foi represado. É importante ressaltar que a construção da barragem diminuiu os pulsos de inundação, aumentou a transparência da coluna de água e alterou a concentração de nutrientes da planície de inundação do alto rio Paraná [11].

Em ambientes represados, estudos de longo prazo são de extrema importância para a compreensão da variação temporal das comunidades diante de impacto antrópico [12]. Nas últimas décadas, ecólogos e ambientalistas tem cada vez mais reconhecido a necessidade de estudos de longa duração, no intuito de formular modelos que ajudem na avaliação das mudanças ambientais atuais e no desenvolvimento de cenários futuros dos ecossistemas aquáticos [13-15]. Estudos ecológicos de longa duração forneceram um

banco de dados suficiente para obter um conhecimento mais preciso dos padrões de diversidade, trazendo o biomonitoramento para um novo estágio de compreensão dos fenômenos que promovem mudanças nesses padrões, sejam eles decorrentes das mudanças climáticas globais [16], uso da terra [17] e/ou mudanças físicas e químicas na água [1,18].

O biomonitoramento é um dos poucos métodos para avaliar a taxa de alterações ecossistêmicas em ambientes de água doce em uma escala temporal [19,20]. O monitoramento ambiental deve (i) mitigar a perda de biodiversidade, (ii) avaliar as respostas ecológicas às perturbações naturais e humanas e (iii) detectar mudanças na estrutura e função dos ecossistemas [21-23]. Embora o monitoramento ambiental não permita inferências diretas sobre as relações de causa e efeito, ele pode facilitar a compreensão de padrões dinâmicos complexos [17] e gerar hipóteses sobre as relações ecológicas.

Em todo o mundo, o uso de diatomáceas para biomonitoramento de água doce é crescente devido à sua forte resposta às mudanças ambientais, no espaço e no tempo, com base em condições climáticas, geomorfológicas e químicas da água [24-27]. Inúmeros motivos garantem que as diatomáceas sejam consideradas excelentes bioindicadores; primeiro porque são comumente encontradas em qualquer corpo aquático de água doce [28,29]; segundo porque apresentam uma diversidade taxonômica excepcional e adaptações morfológicas únicas que favorecem o seu desenvolvimento em diversos substratos [28]. Por fim, diferentes espécies de diatomáceas apresentam tolerância e preferências específicas à certas condições limnológicas, bem como altas taxas de migração podendo colonizar novos *habitats* rapidamente [29].

Desta forma, o principal objetivo deste estudo foi determinar a influência das mudanças ambientais e das variações dos períodos hidrológicos (seca e cheia) na comunidade de diatomáceas, utilizando dados de quase 20 anos de biomonitoramento (2000 a 2018) na planície de inundação do alto rio Paraná. E para isso, consideramos a importância da comunidade de diatomáceas como indicadores biológicos para determinação de variações hidrológicas e ambientais de planície. Com base nisso, testamos a hipótese de que os períodos hidrológicos (seca e cheia) irão determinar a composição da comunidade de diatomáceas perifíticas em cada período. Assim, esperamos que (i) a variação nos fatores abióticos ocorrerá como resultado da oscilação

dos períodos hidrológicos e, por sua vez, influenciará a estrutura da comunidade de diatomáceas, (ii) espécies ambientalmente tolerantes a distúrbios hídricos indicarão os períodos de cheia, e (iii) espécies mais tolerantes à dessecação terão maior persistência e indicarão os períodos de seca.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Área de estudo

O lago das Garças ($22^{\circ} 43' S$ e $53^{\circ} 14' W$, Figura 1) está localizado na planície de inundação do alto rio Paraná, entre os estados de Mato Grosso do Sul e Paraná, apresentando clima tropical a subtropical. Está conectado de forma direta e permanentemente ao rio Paraná (sub-bacia afetada diretamente pelo barramento) por um canal de aproximadamente 100m de extensão. Devido a isso, a água do lago se mistura com a água do rio Paraná ao longo do ano [30]. O lago das Garças apresenta profundidade média de 2,5m, tem 150m de largura e 2.000m de comprimento. É importante destacar que toda a planície de inundação tem um regime hidrológico sazonal com período de cheia que compreende geralmente os meses de novembro a março, e o período seco de maio a outubro [9-11].

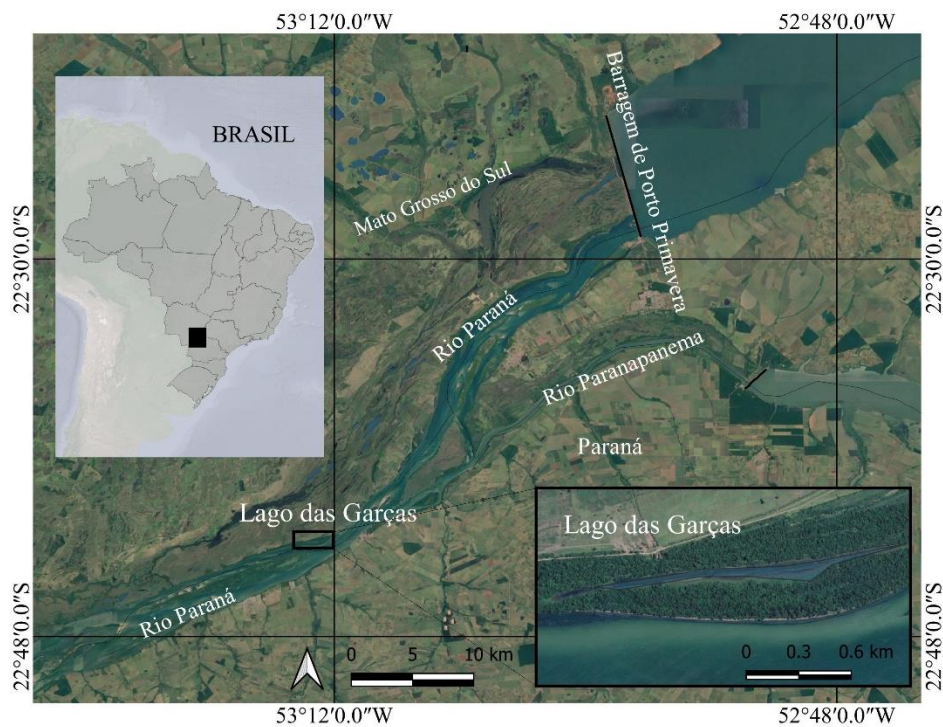


Figura 1 Mapa da planície de inundação do alto Rio Paraná, PR-MS. Ambiente amostrado para este estudo: Lago das Garças.

3.2.2 Amostragem e Análise de diatomáceas perifíticas

A amostragem da comunidade de diatomáceas perifíticas faz parte do Programa de Pesquisa Ecológica de Longo Prazo - PELD, realizado entre os anos 2000 a 2018. As coletas foram realizadas quatro vezes ao ano em intervalos de três meses, abrangendo, portanto, períodos de seca e cheia ($n = 69$). Em 2001, 2013 e 2017 foram realizadas apenas duas amostragens por ano e em 2009 apenas três amostragens. A comunidade de diatomáceas foi obtida de forma aleatória através de raspagem de pecíolos em estágio de maturidade, entre o quinto e sétimo entrenó da macrófita aquática mais abundante *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth, encontrada no lago das Garças. Os pecíolos coletados foram acondicionados em frascos de *Wheaton* de 150 ml e mantidos no gelo até a remoção do biofilme perifítico, com a ajuda de lâmina de aço inoxidável envoltas em papel alumínio e jatos de água destilada. Depois de removido, o perifíton foi fixado e preservado em solução acética de Lugol a 0,5% [31].

Para a separação da amostra de diatomáceas e análise qualitativa e quantitativa das espécies, o material perifítico foi oxidado e limpo seguindo a técnica de Simonsen (1974) modificada por Moreira-Filho & Valente-Moreira (1981) [32,33]. Após esse processo, lâminas permanentes foram preparadas com resina *Naphrax*®. A análise qualitativa e quantitativa foi feita com a contagem de no mínimo 600 valvas [34] utilizando microscópio óptico equipado com sistema de captura de imagem, em aumento de 1000×. Os dados quantitativos das espécies foram expressos em abundância relativa. Os táxons encontrados foram identificados até o menor nível taxonômico possível, considerando as características morfológicas de cada espécie. A classificação taxonômica foi baseada em Round *et al.* (1990) [28], exceto para os gêneros posteriores a esta obra.

3.2.3 Variáveis limnológicas

Em cada amostragem foram medidos os parâmetros limnológicos utilizados neste estudo como variáveis preditoras. Foram utilizados os seguintes parâmetros abióticos: oxigênio dissolvido (% de saturação e mg.L^{-1}) (oxímetro digital); pH (pHmetro); temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) (termistor digital); condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)

(condutivímetro); turbidez (NTU), nitrogênio e fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) [35,36]. Para análise da fração dissolvida dos nutrientes, as amostras foram filtradas em filtros *Whatman* GF/F, sob baixa pressão ($<0,5$ atm) e mantidas resfriadas a temperatura amena para posterior determinação em laboratório [11]. Todos os dados abióticos foram coletados simultaneamente com os dados bióticos. As variáveis limnológicas foram cedidas pelo laboratório de Limnologia do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia), da Universidade Estadual de Maringá.

Valores do nível hidrométrico (m) do rio Paraná também foram utilizados como variável preditora. Isso porque alguns dados de nível de água estavam ausentes para o lago das Garças, dessa forma, optamos por utilizar os dados do rio Paraná, uma vez que estes ambientes são conectados e apresentam o mesmo padrão de variação do nível hidrométrico. Os valores diários (de 2000 a 2018) do nível foram obtidos através do sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, estação: 64.575.001). A série temporal para esta variável foi composta pela média aritmética dos 10 dias precedentes da data de coleta de cada ano e período, conforme também realizado por Algarte *et al.* (2009) [37].

3.2.4 Análise de dados

Calculamos uma análise de Redundância (RDA) para avaliar a relação entre os dados abióticos e a abundância de espécies entre os períodos hidrológicos ao longo do tempo. Para isso, os dados foram primeiro padronizados através da função *decostand*, do pacote “vegan”. Nesta análise, as variáveis preditoras foram previamente transformados em log (exceto pH) e consideramos as variáveis com significância de $p < 0,05$. Antes das análises estatísticas, verificou-se a multicolinearidade entre as variáveis ambientais por meio de fatores de inflação de variância (VIF), porém, todas as variáveis apresentaram $VIF < 10$, ou seja, não houve multicolinearidade dos dados [38].

O método *IndVal* [39] foi realizado para testar o potencial de espécies de diatomáceas perifíticas como indicadoras de períodos de seca e cheia. Este método combina a abundância relativa de uma espécie com sua frequência relativa de ocorrência nos diferentes períodos. As espécies indicadoras são definidas como as espécies mais características de cada período. Uma matriz de dados de abundância das espécies de diatomáceas e dos períodos hidrológicos, previamente categorizados, foi utilizada em cada ano amostrado (2000 a 2018). Utilizamos a função *indval* do pacote

“labdsv”. Este método consiste na identificação de um índice para cada espécie (i) em cada período j (IndVal_{ij}) calculado através da expressão:

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100;$$

$$A_{ij} = N_{\text{indivíduos}_{ij}} / N_{\text{indivíduos}_j}.$$

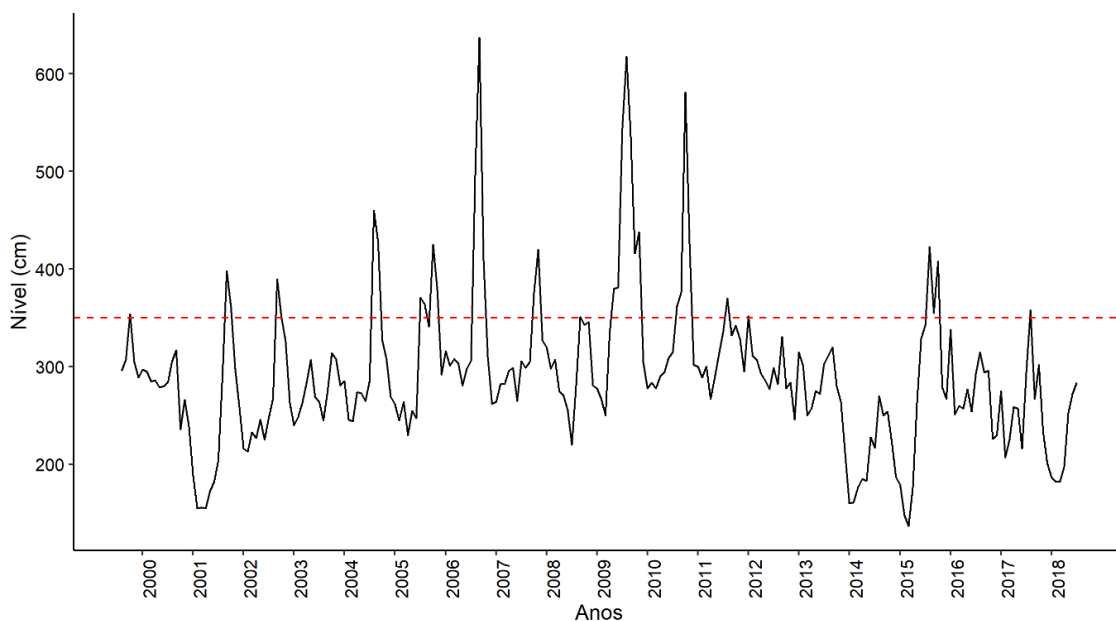
$$B_{ij} = N_{\text{períodos}_{ij}} / N_{\text{períodos}_j}$$

A_{ij} representa uma medida de especificidade e os elementos da fórmula são constituídos por $N_{\text{indivíduos}_{ij}}$ [número médio de densidade de espécies i nas amostras do grupo j (períodos)], $N_{\text{indivíduos}_j}$ (soma dos valores médios de densidade de espécie i em todos os grupos), A_{ij} é máximo quando a espécie i é encontrada apenas no cluster j , B_{ij} é a medida de fidelidade e os elementos da fórmula são $N_{\text{períodos}_{ij}}$ (número de amostras do agrupamento j onde espécie i está presente), $N_{\text{períodos}_j}$ (número total de amostras no grupo j), B_{ij} é máximo quando a espécie i é encontrada em todas as amostras do grupo j . As quantidades A e B são combinadas por multiplicação porque representam informações independentes sobre as distribuições de espécies (os resultados são expressos como porcentagem). O teste de Monte Carlo foi usado para testar a significância dos valores indicadores (IndVal) das espécies.

Todas as análises foram realizadas no programa R versão 4.0.1[40], e os gráficos plotados com auxílio do pacote “ggplot2”.

3.3 Resultados

De acordo com o período de estudo, tanto o período de cheia (com níveis de



água do rio até 6 metros), quanto o de seca (com níveis de água abaixo de três metros), foram característicos da planície de inundação do Alto Rio Paraná. Foi possível observar três grandes pulsos de inundação nos anos de 2006, 2009 e 2010. Durante esses períodos o nível hidrométrico atingiu níveis de água maior ou próximo a 6 m, o dobro da média para todo o período de estudo.

Figura 2 Variação do nível hidrométrico do rio Paraná (2000 a 2018), de acordo com dados fornecidos pela ANA – Agência Nacional das Águas.

Observou também períodos com menores valores de nível (abaixo de 3,5 m), durante os anos de 2000 a 2001, 2003, 2008, 2011 a 2015 e 2017 a 2018 (Figura 2). Os valores médios e desvios-padrão das variáveis limnológicas durante os anos de 2000 a 2018, para os períodos hidrológicos (seca e cheia) são apresentados no material suplementar Tabela 2.

Os resultados da Análise de Redundância (RDA) estão representados na Figura 3. Os dois primeiros eixos explicaram 36% (com porcentagem de explicação significativa: $F = 2,28$, $p < 0,001$) da variabilidade total dos dados (RDA1 = 23% e RDA2 = 13%). Ambos os eixos foram estatisticamente significativos (RDA1: $F = 8,78$, $p < 0,05$; RDA2: $F = 3,48$, $p < 0,05$). A partir do gráfico de dispersão dos escores da RDA, observou-se um agrupamento entre períodos hidrológicos (seca e cheia), de acordo com variáveis limnológicas, e abundância relativa de espécies de diatomáceas perifíticas (Figura 3). Os períodos de seca foram agrupados nos valores positivos ao eixo 1 e foram influenciados pelos maiores valores de nitrogênio total, pH, oxigênio dissolvido, condutividade. Por outro lado, períodos de cheia foram agrupados nos valores negativos do eixo 1. Esses pontos foram influenciados principalmente por maiores valores de temperatura, turbidez, fósforo total, nível hidrométrico.

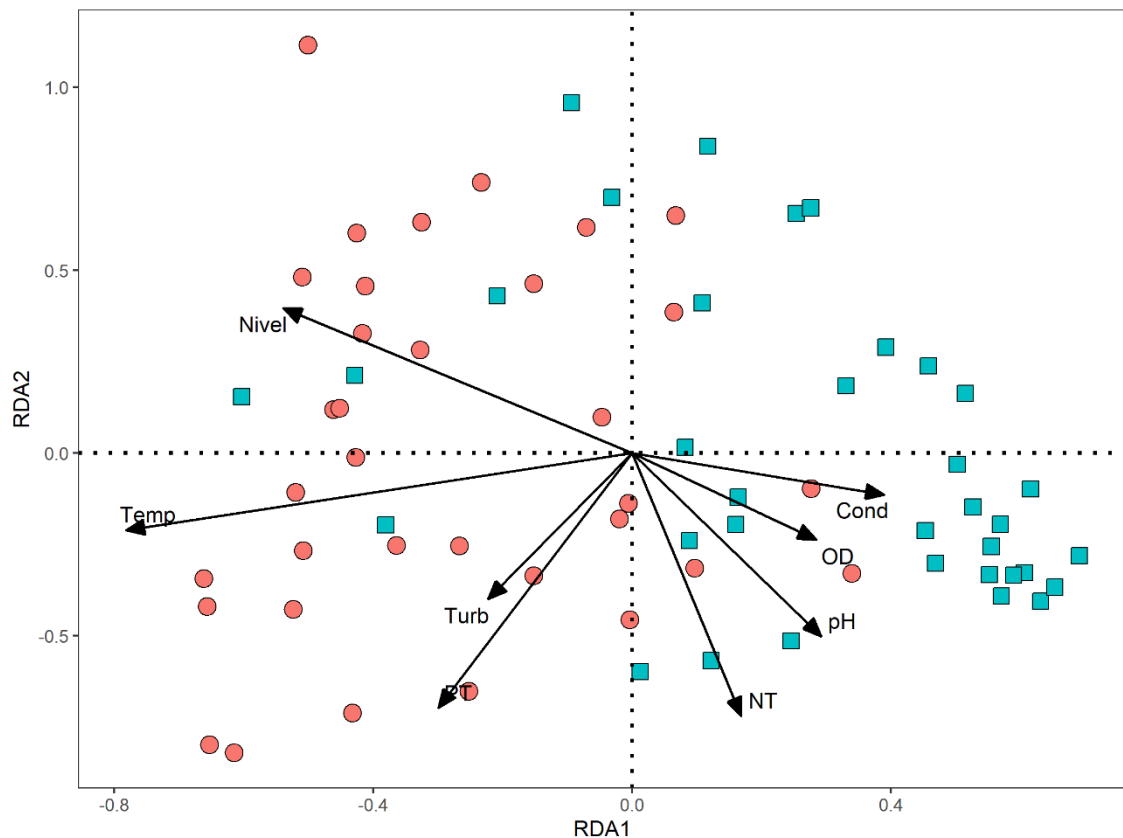


Figura 3 Diagrama de ordenação da Análise redundância (RDA), ilustrando as relações entre variáveis ambientais e diatomáceas entre os períodos de seca e cheia ao longo do período de amostragem, com base em dados de abundância de espécies. Os círculos vermelhos correspondem ao período de cheia e os quadrados verdes o período de seca.

Das 69 amostras analisadas entre os anos de 2000 a 2018 utilizando diatomáceas perifíticas, foram registrados 335 táxons, distribuídos em 49 gêneros diferentes. Desse total, 14 táxons tiveram frequência > 50% das amostras analisadas, são elas: *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Achnantheidium tropicocatenatum* Marquardt, Wetzel & Ector, *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *Brachysira neoexilis* Lange-Bertalot, *Discostella stelligera* (Cleve & Grunow) Houk & Klee, *Encyonema neomesianum* Krammer, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Eunotia pseudosudetica* Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, *Gomphonema affine* Kützing, *Gomphonema gracile* (complexo) Ehrenberg, *Gomphonema lagenula* Kützing, *Nitzschia amphibia* Grunow, *Nitzschia palea* var. *debilis* (Kützing) Grunow, *Staurosirella paranaensis* Osório, Ector, Rodrigues & Wetzel. Ainda, 113 táxons foram exclusivos ao período de cheia e 47 ao período de seca, sendo 175 táxons comuns a ambos os períodos.

Os resultados do teste de indicação de espécie (IndVal) mostraram que 28 táxons foram indicativos de períodos de cheia, o que significa que essas espécies foram persistentes durante esse período (Tabela 1). Esses táxons estão distribuídos entre 16 gêneros, *Amphora* (1), *Aulacoseira* (2), *Brachysira* (1), *Carpantogramma* (1), *Craticula* (1), *Encyonema* (4), *Eunotia* (2), *Fragilaria* (1), *Gomphonema* (6), *Gyrosigma* (1), *Navicula* (1), *Nitzschia* (3), *Pinnularia* (1), *Planothidium* (1), *Sellaphora* (1), *Stenopterobia* (1). No período de seca apenas *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki apresentou valor de p significativo ($p = 0,001$) e foi considerada uma espécie indicadora.

Tabela 1 - Espécies indicadoras de diatomáceas perifíticas dos períodos de seca e cheia no Lago das Garças - Planície de Inundação do Alto Rio Paraná. *consideramos os táxons com significância de $p < 0,05$.

Espécies	Períodos	Frequência (%)	IndVal	valores de p
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	seca	99	79	0,001
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	cheia	84	82	0,001
<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing	cheia	97	70	0,004
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) Mann	cheia	48	68	0,001
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	cheia	67	58	0,04
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) Mann	cheia	54	58	0,008
<i>Encyonema neomesianum</i> Krammer	cheia	55	53	0,002
<i>Gomphonema subtile</i> Ehrenberg	cheia	42	53	0,001
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>debilis</i> (Kützing) Grunow	cheia	52	52	0,025
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	cheia	42	50	0,001
<i>Fragilaria fragilarioides</i> (Grunow) Cholnoky	cheia	45	46	0,011
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>palea</i> (Kützing) W.Smith	cheia	41	42	0,019
<i>Navicula notha</i> Wallace	cheia	43	39	0,032
<i>Gomphonema salae</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt	cheia	30	38	0,003
<i>Gomphonema</i> sp. 19	cheia	23	37	0,001
<i>Encyonema neogracile</i> Krammer	cheia	33	34	0,034
<i>Gomphonema brasiliense</i> ssp. <i>pacifum</i> Moser	cheia	49	29	0,01

<i>Eunotia longicamelus</i> Costa, Bicudo & Wetzel	cheia	22	29	0,011
<i>Planothidium rostratoholarcticum</i> Lange-Bertalot & Bak	cheia	26	28	0,015
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> Smith	cheia	19	27	0,013
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & Archibald	cheia	20	26	0,034
<i>Gomphonema brasiliense</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	cheia	14	25	0,006
<i>Capartogramma crucicula</i> (Grunow) R. Ross	cheia	12	24	0,004
<i>Brachysira microcephala</i> (Grunow) Compère	cheia	12	20	0,008
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	cheia	10	17	0,023
<i>Eunotia transfuga</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	cheia	10	16	0,014
<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel & Van de Vijver	cheia	10	16	0,022
<i>Craticula perrotettii</i> Grunow	cheia	7	15	0,029
<i>Stenopterobia planctonica</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	cheia	7	15	0,025

3.4 Discussão

Utilizando dados de quase 20 anos de biomonitoramento (2000 a 2018) na planície de inundação do alto rio Paraná, podemos observar uma forte influência das alternâncias dos períodos hidrológicos (seca e cheia) na comunidade de diatomáceas perifíticas. Normalmente a planície de inundação do Alto Rio Paraná apresenta um padrão hidrológico sazonal com dois períodos característicos, águas altas (entre novembro e maio) e águas baixas (entre junho e outubro) [30]. Isso porque o regime hidrológico da planície é naturalmente influenciado por anos com maiores ou menores taxas de precipitação devido a flutuações climáticas, levando a longos períodos de seca e chuva [6]. Fica evidente nos resultados a contribuição da comunidade de diatomáceas na determinação desses períodos hidrológicos. A dinâmica das variáveis abióticas também está intimamente ligada às variações dos pulsos de inundação, e isso conseqüentemente, reflete na composição da comunidade de diatomáceas, como observado na RDA.

Os resultados evidenciados pela RDA, utilizando variáveis limnológicas e a abundância relativa de espécies de diatomáceas perifíticas, ressaltam um agrupamento entre períodos hidrológicos (seca e cheia). Estudos realizados com a comunidade perifítica na planície ressaltam a importância dos pulsos de inundação na estruturação da comunidade [41]. Uma vez que o processo de inundação pode apresentar efeitos específicos nas características físicas e químicas da água [42], aumentando o aporte de nutrientes e conseqüentemente uma maior produtividade das áreas inundadas [43].

Observamos que os períodos de seca foram influenciados pelos maiores valores de nitrogênio total, pH, oxigênio dissolvido, condutividade. Por outro lado, os períodos de cheia estiveram relacionados principalmente por maiores valores de temperatura, turbidez, fósforo total e nível hidrométrico. Esses resultados corroboram com outros estudos realizados na planície, uma vez que em períodos de inundação há ocorrência de fluxos horizontais no sentido do curso do rio para a planície de inundação, influenciando a distribuição de sedimento, minerais e organismos [44], tornando essas características mais similares entre a calha principal do rio e os demais ambientes inseridos na planície [45]. Assim, alterações provocadas artificialmente, afetam não apenas o curso principal do rio, mas também ambientes adjacentes, através das reduções de nível, alterações limnológicas e a conseqüente exposição de áreas litorâneas [9,46].

Com a análise de espécies indicadoras conseguimos observar a presença de 28 táxons, ambientalmente tolerantes nos períodos de cheia. O maior número de táxons relacionados ao período de cheia pode ser devido a uma adição de indivíduos promovida por uma maior dispersão de organismos justamente pelo aumento de conexões entre os ambientes provocados pela enchente [45], bem como a criação de novos nichos ambientais [47]. Algumas espécies apresentaram mais de 50% de frequência nas amostras e foram indicadoras do período de cheia, incluindo *Nitzschia amphibia*, *Gomphonema lagenula*, *Aulacoseira ambigua*, *Encyonema silesiacum*, *Encyonema neomesianum*, *Nitzschia palea* var. *debilis*. Todas essas espécies são de registro comum para a planície de inundação do alto rio Paraná [48,49], e possuem características morfológicas e fisiológicas que garantem uma maior resistência a distúrbios como a variação do nível hidrológico, confirmando assim a predição deste estudo.

Indivíduos do gênero *Gomphonema*, por exemplo, são consideradas comuns em ambientes de água doce [50], formam hastes mucilaginosas ramificadas aderidas a substratos sólidos [28,51]. Essa estrutura garante uma boa aderência ao substrato, melhor troca de nutrientes e melhor captura de luz [48], características importantes para resistir a um distúrbio como a elevação do nível hidrométrico. Os táxons do gênero *Nitzschia* e *Encyonema* considerados indicativos de águas altas neste estudo, como *Encyonema minutum*, *Encyonema neomesianum*, *Encyonema silesiacum*, *Nitzschia amphibia*, e variações de *Nitzschia palea*, possuem tolerância alta as variações limnológicas, hidrológicas e geológicas causadas tanto naturalmente quanto de efeito antrópico sob os ambientes desta planície [48,52-54].

Algumas espécies de *habitat* planctônico também caracterizaram o período de cheia, representadas principalmente por *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria fragilarioides*, *Craticula perroteti* e *Stenopterobia planctonica*. Isso sugere que espécies tipicamente planctônicas foram dispersas até a região litorânea justamente pela elevação no nível da água, uma vez que eventos de cheia provocam uma alteração na estrutura do *habitat* disponível e nas condições limnológicas [55], o que pode ter favorecido essas espécies. Espécies do gênero *Aulacoseira*, por exemplo, são consideradas indicativas de conectividade hidrológicas entre ambientes de outras planícies de inundação [56,57]. Isso porque, táxons deste gênero necessitam de uma certa turbulência no ambiente aquático para se manterem na coluna d'água, uma vez que

apresentam altas taxas sedimentação devido a grande quantidade de sílica na parede [58-60].

Espécies de *Aulacoseira*, como *A. granulata* e de *Eunotia*, como *E. longicamelus*, podem sofrer influência da variação do pH, indicando principalmente ambientes de águas ácidas [28,55,61-64]. O aumento da decomposição de matéria orgânica acumulada é uma das características principais de planícies de inundação, provocadas pelos pulsos de inundação [11], o que leva a uma redução do pH e um aumento do gás carbônico, caracterizando águas mais ácidas durante os períodos de cheia [65,66]. Dessa forma, a dominância de *E. longicamelus* no período de águas altas corrobora com o que foi reportado por Ruwer & Rodrigues (2018) para este mesmo ambiente, uma vez que essa espécie tem hábito bentônico, além de uma preferência por águas ácidas e de maior profundidade [54,64,67].

Por outro lado, de acordo com o IndVal, durante os períodos de seca apenas *A. minutissimum* apresentou altas taxas de abundância e ocorrência. Durante a seca os ambientes permanecem mais isolados entre si, conseqüentemente os fatores abióticos e bióticos acabam se tornando mais característicos localmente [45]. Por este motivo, durante a fase de águas baixas, alguns fatores limnológicos devem se tornar limitantes para outros táxons de microalgas perifíticas, mas de alguma forma favorecem o aumento da abundância e o estabelecimento da espécie *A. minutissimum*. Ruwer *et al.* (2021) registraram para o mesmo lago que a abundância relativa deste complexo de espécies aumentou em níveis de água mais baixos, e menores valores de temperatura [68]. Devido à construção de barragens, principalmente após o último barramento em 1998, a frequência de pulsos de inundação na planície de inundação diminuiu e períodos de seca se tornaram mais comuns [69]. Essa alteração hidrológica causada por atividade antrópica desencadeou uma sequência de modificações limnológicas, principalmente relacionadas a ciclagem de nutrientes e a transparência da água [70]. Essas mudanças hidrológicas e limnológicas provocadas pela implementação de barragens sugere um favorecimento do aumento na abundância de *A. minutissimum*, uma vez que condições ótimas para o estabelecimento dessa espécie tornaram-se frequentes [71].

Uma outra questão levantada por Ruwer *et al.* (2021), sugere que o aumento na abundância de *A. minutissimum* estaria relacionada tanto com o efeito do barramento sobre o regime hidrológico, quanto com as mudanças na precipitação devido a flutuações climáticas que também determinam os atributos hidrológicos desta planície.

Tudo isso corrobora com o que esperávamos neste estudo, que espécies mais tolerantes à dessecação teriam maior persistência nos períodos de seca. Principalmente, considerando que *A. minutissimum* é uma espécie cosmopolita oportunista, pequena e de rápida colonização, que apresenta adaptações morfológicas e um amplo ótimo ecológico [71], garantindo a essa espécie vantagem por preencher rapidamente o nicho disponível.

É de conhecimento de muitos limnólogos que quando há alteração do regime hidrológico em planícies de inundação, a biota pode responder com alterações na estrutura de comunidades e na produtividade do ecossistema ao longo do tempo [72]. Dessa forma, a alteração do regime hidrológico provocada pelo controle de vazão das barragens de hidroelétricas na planície de inundação do alto rio Paraná tem ação direta nas comunidades aquáticas. Neste estudo buscamos evidenciar que a persistência e frequência de espécies dominantes, como *A. minutissimum*, em períodos de águas baixas, ao longo dos quase 20 anos de amostragem, reflete o efeito negativo que as barragens e os eventos climáticos possuem quando atuam sinergicamente. Isso tem levado a alterações da estrutura biológica do lago das Garças e possivelmente de outros ambientes que “alimentam” (em relação a carga nutricional e biodiversidade aquática) toda a planície de inundação. Assim, ressaltamos a necessidade de manutenção de um monitoramento contínuo da ecossistemas como este, uma vez que fortes indicadores biológicos, como as diatomáceas, foram determinantes na direção de mudanças ecológicas, tanto hidrológicas quanto climáticas desta planície.

REFERÊNCIAS

1. Dudgeon, D.; Arthington, A.H.; Gessner, M.O.; Kawabata, Z.; Knowler, D.J.; Lévêque, C.; Naiman, R.J.; Prieur-Richard, A.H.; Soto, D.; Stiassny, M.L.; Sullivan, C.A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* **2006**, 81, 163–82. <http://dx.doi.org/10.1017/S1464793105006950>
2. Agostinho, A.A.; Bonecker, C.C.; Gomes, L.C. Effects of water quantity on connectivity: the case of the upper Paraná River floodplain. *Ecohydrol. Hydrobiol.* **2009**, 9, 99–113.
3. Junk, W.J.; Bailey, P.B.; Sparks, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **1989**, 106, 110–127.

4. Neiff, J.J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* **1990**, 15, 424–441.
5. Agostinho, A.A.; Zalewski, M. A planície alagável do alto rio Paraná: importância e preservação. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 1996, 100p.
6. Agostinho, A.A.; Thomaz, S.M.; Gomes, L.C. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *International Journal of Ecohydrology & Hydrobiology* **2004**, 4, 255-268.
7. Agostinho, AA.; Gomes, LC.; Suzuki, HI.; Júlio Jr, HF. Migratory fishes of the Upper Paraná River Basin, Brazil. In *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*. Carolsfeld, J.; Harvey, B.; Ross, C.; Baer, A., Eds.; World Fisheries Trust, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank: Ottawa, 2003, pp. 19-98.
8. Agostinho, A.A.; Thomaz, S.M.; Gomes, L.C. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. *Conserv. Biol.*, **2005**, 19, 646-652.
9. Souza Filho, E.E.; Rocha, P.C.; Comunello, E.; Stevaux, J.C. Effects of the Porto Primavera Dam on physical environment of the downstream floodplain. In *The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. Thomaz, S.M.; Agostinho, A.A.; Hahn, N.S., Eds.; Backhuys Publishers, Leiden, 2004, pp. 55-74.
10. Souza Filho, E.E. Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. *Brazilian Journal of Biology*, **2009**, 69, 707-716.
11. Roberto, M.C.; Santana, N.F.; Thomaz, S.M. Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Braz. J. Biol.*, **2009**, 69, 717-725.
12. Lindemayer, D.B.; Likens, G.E.; Andersen, A.; Bowman, D.; Bull, C.M.; Burns, E.; Dickman, C.R.; Hoffmann, A.A.; Keith, D.A.; Liddell, M.J.; Lowe, A.J.; Metcalfe, D.J.; Phinn, S.R.; Russel-Smith, J.; Thurgate, N.; Wardle, G.M. Value of long-term ecological studies. *Austral Ecology*, **2012**, 37, 745–757. DOI: 10.1111/j.1442- 9993.2011.02351.x
13. Battarbee, R.W.; Anderson, N.J.; Jeppesen, E.; Leavitt, P.R. Combining palaeolimnological and limnological approaches in assessing lake ecosystem response to nutrient reduction. *Freshwater Biology*, **2005**, 50, 1772–1780.

14. Bovo-Scomparin, V.M.; Train, S. Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. *Hydrobiologia*, **2008**, 610, 331–344.
15. Wolkovich, E.M.; Cook, B.I.; McLauchlan, K.K.; Davies, T.J. Temporal ecology in the Anthropocene. *Ecology Letters*, **2014**, 17, 1365–1379.
16. Hannah, L.; Midgley, G.F.; Lovejoy, T.; Bond, W.J.; Bush, M.; Lovett, J.C.; Scott, D.; Woodward, F.I. Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conserv. Biol.*, **2002**, 16, 264–268.
17. Foley, J.A.; Defries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K.; Helkowski, J.H.; Holloway, T.; Howard, E.A.; Kucharik, C.J.; Franklin, J. Importance and justification of long-term studies in ecology. In *Long-term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives*. Likens, G.E., Ed.; Springer-Verlag, New York, 1987, pp. 3–20.
18. Frost, T.M.; Montz, P.K.; Gonzalez, M.J.; Sanderson, B.L.; Arnott, S.E. Rotifer responses to increased acidity: long-term patterns during the experimental manipulation of Little Rock Lake. *Hydrobiologia*, **1998**, 387, 141–152.
19. Smol, J.P. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, **1992**, 1, 49–58.
20. Camargo, J.A. The importance of biological monitoring for the ecological risk assessment of freshwater pollution: A case study. *Environment International*, **1994**, 20, 229–238.
21. Lindenmayer, D.B.; Likens, G.E. The science and application of ecological monitoring. *Bio. Conserv.*, **2010**, 143, 1317–1328.
22. Magurran, A.E.; Baillie, S.R.; Buckland, S.T.; Dick, J.M.P.; Elston, D.A.; Scott, E.M.; Smith, R.I.; Somerfield, P.J.; Watt, A.D. Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Tree*, **2010**, 25, 574–582.
23. Cingolani, A.M.; Vaieretti, M.V.; Gurvich, D.E.; Giorgis, M.A.; Cabido, M. Predicting alpha, beta and gamma plant diversity from physiognomic and physical indicators as a tool for ecosystem monitoring. *Biol. Conserv.*, **2010**, 143, 2570–2577.
24. Urrea, G.; Sabater, S. Epilithic diatom assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed (Guadiana River, SW Spain). *Ecological Indicators*, **2009**, 9, 693–793.

25. Wu, N.; Jiang, W.; Fu, X.; Zhou, S.; Li, F.; Cai, Q.; Fohrer, N. Temporal impacts of a small hydropower plant on benthic algal community. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, **2010**, 177, 257–266.
26. Schuch, M.; Oliveira, M.A.; Lobo, E.A. Spatial Response of Epilithic Diatom Communities to Downstream Nutrient Increases. *Water Environment Research*, **2015**, 87, 547-558.
27. Lobo, E.A.; Wetzel, C.E.; Ector, L.; Katoh, K.; Blanco, S.; Mayama, S. Response of epilithic diatom community to environmental gradients in subtropical temperate Brazilian rivers. *Limnetica*, **2010**, 29, 323-340.
28. Round, F. E.; Crawford, R.M.; Mann, D.G. *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 747.
29. Smol, J.P. *Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective*. 2nd edition; Blachwell: Malden, USA, 2008, pp.396.
30. Thomaz, S.M.; Pagioro, T.A.; Bini, L.M.; Roberto, M.C.; Rocha, R.R.A. Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. In *The Upper Paraná River and its Floodplain*. Thomaz, S.M.; Agostinho, A.A.; Hahn, N.S., Eds.; Backhuys Publishers: Leiden, 2004, 75–102.
31. Bicudo, C.E.M.; Menezes, M. *Gêneros de algas de água doce continentais do Brasil: chaves para identificação e descrições*. Second ed. Rima: São Carlos, 2006.
32. Simonsen, R. The diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V. *Meteor, Forschungsergebnisse. Reiche D-Biologie*, **1974**, 19, 1-66.
33. Moreira-Filho, H.; Valente-Moreira, I.M. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Bacillariophyceae) epifíticas em algas pluricelulares obtidas nos litorais dos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. *Boletim do Museu Botânico Municipal*, **1981**, 47, 1-17.
34. Kobayashi, H.; Mayama, S. Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Jap. J. Phycol.*, **1982**, 30, 188-196.
35. Bergamin, H.; Reis, B.F.; Zagatto, E.A.G. A new device for improving sensitivity and stabilization in flow injection analysis. *Analytica Chimica Acta*, **1978**, 97, 63-70.

36. Mackereth, F.Y.H.; Heron, J.; Talling, J.F. Water analysis: some revised methods for limnologists. *Freshwater Biological Association*, **1978**, 36, 1-120.
37. Algarte, V.M.; Siqueira, N.S.; Murakami, E.A.; Rodrigues, L. Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Brazilian Journal of Biology*, **2009**, 69, 609-616. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842009000300015>
38. Oksanen, J.; Blanchet, F.G.; Friendly, M.; Kindt, R.; Legendre, P.; McGlinn, D. *vegan: community ecology package*, **2019**.
39. Dufrene, M.; Legendre, P. Species assemblages and indicator species – the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, **1997**, 67, 345–366.
40. R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2016. [available on internet at [http:// www.r-project.org/](http://www.r-project.org/)]. Accessed Nov 2020.
41. Carapunarla, L.; Baumgartner, D.; Rodrigues, L. Community structure of periphytic algae in a floodplain lake: a long-term study. *Acta Sci Biol Sci.*, **2014**, 36, 147–154
42. Tockener, K.; Malard, F.; Ward, J.V. An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Process*, **2000**, 14, 2861-2883.
43. Wantzen, K.M.; Yule, C.M.; Tockner, K.; Junk, W.J. Riparian wetlands of tropical streams. In *Tropical stream ecology*. Dudgeon D., Ed.; Elsevier: London, 2008, pp. 199–217.
44. Neiff, J.J. Diversity in some tropical wetland systems of South America. Pp.1-60. In: *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*. Gopal, B.; Junk, W.; Davis, B., Eds.; Backhuys Publishers: Leiden, 2001, pp. 311.
45. Thomaz, S.M.; Bini, L.M.; Bozelli, R.L. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*, **2007**, 579, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0285-y>
46. Agostinho, A.A.; Pelicice, F.M.; Gomes, L.C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, **2008**, 68, 1119-1132. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>
47. Chesson, P.; Huntly, N. The roles of harsh and fluctuating conditions in the dynamics of ecological communities. *American Naturalist*, **1997**, 150, 519–553.

48. Bichoff, A.; Osório, N.C.; Ruwer, D.T.; Montoya, K.L.A.; Dunck, B.; Rodrigues, L. Influence of tributaries on the periphytic diatom community in a floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **2017**, 29, e110.
49. Dunck, B.D.; Junqueira, M.G.; Bichoff, A.P.; Rodrigues, L.; Jati, S.; Silva, M.V.; Pineda, A.; Paula, A.C.M.; Zanco, B.F.; Moresco, G.A.; Iatskiu, P.; Bortolini, J.C.; Souza, Y.R.; Train, S.; Rodrigues, L.C. Periphytic and planktonic algae records from the Upper Paraná River floodplain, Brazil: an update. *Hoehnea*, 2018, 45, 560-590. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-03/2018>
50. Tremarin, P.I.; Ludwig, T.A.V.; Bertolli, L.M.; Faria, D.M.; Costin, J.C. *Gomphonema* Ehrenberg and *Gomphosphenia* Lange-Bertalot (Bacillariophyceae) from Maurício river, Paraná, Brazil. *Biota Neotrop.*, **2009**, 9, 111-130.
51. Wojtal, A. Diatoms of the families Amphipleuraceae and Brachysiraceae from the Wyzyna Krakowsko-Czestochowska upland (S Poland). *Polish Botanical Journal*, **2003**, 48, 55-61.
52. Algarte, V. M.; Dunck, B.; Leandrini, J. A.; Rodrigues, L. Periphytic diatom ecological guilds in floodplain: Ten years after dam. *Ecological Indicators*, **2016**, 69, 407-414.
53. Bichoff, A.; Osório, N.C.; Dunck, B.; Rodrigues, L. Periphytic algae in a floodplain lake and river under low water conditions. *Biota Neotropica*, **2016**, 16, e20160159.
54. Ruwer, D.T.; Bernardes, M.C.; Rodrigues, L. Diatom responses to environmental changes in the Upper Paraná River floodplain (Brazil) during the last ~1000 years. *Journal of Paleolimnology*, **2018**, 60, 543-551.
55. Krammer, K.; Lange-Bertalot, H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: *Süßwasserflora Von Mitteleuropa*. Ettl, H.; Gerloff, J.; Heynig, H.; Mollenhauer, D., Eds.; G. Fischer: Stuttgart, 1991, pp. 576.
56. Gell, P.; Reid, M. *Assessing change in floodplain wetland condition in the Murray Darling Basin*. *Anthropocene: Australia*, 2014, 8, 39–45.
57. Rühland, K.M.; Paterson, A.M.; Smol, J.P. Diatom assemblage responses to warming: reviewing the evidence. *Journal of Paleolimnology*, **2015**, 54, 1–35.
58. Lund, J.W.G. Primary production and periodicity of phytoplankton. *Verhandlung Int Vereinigung Limnol*, **1964**, 15, 37–56

59. Reynolds, C. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In *Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton*. Sandgren, C.D., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, 1988, pp. 388–433
60. Kilham, S.C.; Theriot, E.C.; Fritz, S.C. Linking planktonic diatoms and climate change in the large lakes of the Yellowstone ecosystem using resource theory. *Limnology and Oceanography*, **1996**, 41, 1052–1062.
61. Patrick, R.; Reimer, C.W. “The Diatoms of the United States”. *Monogr Acad Nat Sci Phila*, **1966**, 1, 1–688
62. Van Dam, H.; Mertens, A.; Sinkeldam, J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Aquatic Ecology*, **1994**, 28, 117–133.
63. Lange-Bertalot, H.; Bak, M.; Witkowski, A. *Eunotia* and some related genera. In *Diatoms of Europe*. Lange-Bertalot, H., Ed.; 6 edicion. Koeltz Scientific Book, Königstein, 2011, pp. 747.
64. Costa, L.F.; Wetzel, C.E.; Lange-Bertalot, H.; Ector, L.; Bicudo, D.C. Taxonomy and ecology of *Eunotia* species (Bacillariophyta) in southeastern Brazilian reservoirs. edicion 64, *Bibliotheca Diatomologica*: Borntraeger Gebrueder, 2017, pp. 302.
65. Fontana, L.; Albuquerque, A.L.S.; Brenner, M.; Bonotto, D.M.; Sabaris, T.P.P.; Pires, M.A.F.; Cotrim, M.E.B.; Bicudo, D.C. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. *J Paleolimnol.*, **2014**, 51, 29–43.
66. Thomaz, S.M.; Roberto, M.C.; Esteves, F.A.; Lansac-tôha, F.A.; Lima, A.F. Influência do regime hidrológico do rio Paraná sobre os valores transparência, oxigênio dissolvido e clorofila-a de três lagoas de sua várzea. *J Hattori Bot Lab.*, **1992**, 14, 153–162
67. O’Farrell, I.; Izaguirre, I.; Vinocur, A. Phytoplankton ecology of the Lower Parana River (Argentina). *Large Rivers. Arch Hydrobiol Suppl.*, **1996**, 115, 75–89
68. Ruwer, D.T.; Osório, N.C.; Costa-Böddeker, S.; Rodrigues, L. Influence of temporal changes on a diatom species in a floodplain lake: paleolimnological and biomonitoring approach. *Diatom Research*, **2020**.
69. Rocha, P.C.; Santos, M.L.; Souza-Filho, E.E. Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes

- barramentos a montante. In *VIII Encuentro de Geógr. de América Latina*. Santiago, Chile, 2001.
70. Souza Filho, E.E. The Porto Primavera dam and the fluvial transport on the Porto São José section, Parana River. *Mercator*, 2016, 15, 65-81.
71. Potapova, M.A.; Hamilton, P.B. Morphological and ecological variation within the *Achnanthydium minutissimum* (Bacillariophyceae) species complex. *Journal of Phycology*, 2007, 43, 561–575.
72. Mitsch, W.J.; Gosselink, J.G. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold Publishers: New York, 1993. pp. 722.

APÊNDICE A -

Tabela 2 Valores médios, desvio padrão das variáveis limnológicas e caracterização dos períodos hidrológicos entre 2000 e 2018, no Lago das Garças (Planície de Inundação do Alto Rio Paraná). Temp. H₂O (°C): temperatura da água; OD (mg): oxigênio dissolvido, Cond. (uS / cm): condutividade elétrica; Turb. (NTU): turbidez; NT (µg^L⁻¹): nitrogênio total; PT (µg^L⁻¹): fósforo total. *Apenas uma medida foi realizada nessas amostragens.

Ano	Período	Nível hidrométrico (cm)	Temp. H ₂ O (°C)	OD (mg)	pH	Cond. (uS / cm)	Turb. (NTU)	NT (µg ^L ⁻¹)	PT (µg ^L ⁻¹)
2000	cheia	290 ± 45,5	27,5 ± 1,2	5,1 ± 2,4	6,8 ± 0,9	38,5 ± 19,1	12,7 ± 6,1	344,6 ± 30,2	47,5 ± 14,8
2000	seca	286,2 ± 20,2	22,5 ± 2,1	7,9 ± 0,5	6,7 ± 0,3	56,1 ± 7,2	13,5 ± 7,4	316,6 ± 47,4	41 ± 18,4
2001	cheia	276,5*	30,4*	8,9*	7,8*	47,5*	13,9*	535*	23,9*
2001	seca	152,8*	24,4*	8,9*	8,7*	60,7*	19,5*	481,6*	61,9*
2002	cheia	344 ± 138,3	27,9 ± 0,5	6,8 ± 0,8	6,7 ± 0,2	54,9 ± 1,6	4,5 ± 3,3	263,2 ± 76	31,7 ± 8,8
2002	seca	259,2 ± 31,7	21,9 ± 7,1	7,4 ± 1,3	6,7 ± 0,6	49,8 ± 1,1	5,2 ± 3	326,7 ± 127	39,2 ± 13,7
2003	cheia	351,5*	31,4*	7,2*	6,7*	53,4*	1,9*	271,7*	46,3*
2003	seca	280,3*	21,5*	7,3*	6,9*	57,8*	2,9*	231,2*	67,3*
2004	cheia	294,2 ± 14,9	28 ± 2,1	5,6 ± 0,6	6,4 ± 0,7	52,5 ± 3	3,7 ± 4	173,8 ± 20,2	17,1 ± 10,2
2004	seca	290,5 ± 18,5	21,6 ± 3,9	5,3 ± 2,5	6,2 ± 0,7	54,9 ± 4,6	2,5 ± 3,5	162,4 ± 14,6	15,8 ± 5
2005	cheia	285,2 ± 0,4	27,3 ± 0,4	3,8 ± 1,9	6,4 ± 0,2	55,8 ± 0,1	2,9 ± 1,6	479,05 ± 376,1	31,3 ± 28,4
2005	seca	250 ± 48,7	20,4 ± 2,7	4,8 ± 1,4	6,4 ± 0,1	60,2 ± 7,1	2,3 ± 2,1	493,8 ± 424,4	33,3 ± 29,1
2006	cheia	351,1 ± 54,9	28,7 ± 0,2	4,9 ± 1,3	6,5 ± 0,7	54,2 ± 12,9	6,3 ± 2,4	233,2 ± 226,2	19,7 ± 6,7
2006	seca	315, ± 7,7	23,4 ± 2,6	6,4 ± 2	6,7 ± 0,6	57,1 ± 0,9	0,3 ± 0,4	529,8 ± 404,4	8,5 ± 3,3
2007	cheia	442, ± 279,6	29,1 ± 0,2	6,4 ± 0,1	7,04 ± 0,1	51,9 ± 2,8	25,6 ± 15,3	614,6 ± 201,4	154,7 ± 196,2
2007	seca	289,5 ± 28,9	24,5 ± 4,3	7,6 ± 0,2	7,05 ± 0	55,8 ± 4,5	17,7 ± 12,4	439,8 ± 104,1	37,9 ± 25,1
2008	cheia	286,6 ± 59,1	28,2 ± 0,9	6,4 ± 1,7	7,2 ± 0,3	55,6 ± 6,2	43,6 ± 35,4	432,05 ± 76,9	44,1 ± 10,5
2008	seca	296,4 ± 34,4	21,2 ± 2,3	7,8 ± 0,1	7,01 ± 0,1	57,05 ± 2,7	16,2 ± 1,2	448,6 ± 8,8	28,4 ± 7,9

2009	cheia	423,4*	29,9*	5,5*	6,5*	66,8*	2,6*	705,8*	25,1*
2009	seca	311,5 ± 46,7	22,7 ± 3,3	7,7 ± 1,2	7,3 ± 0,2	54,8 ± 2,1	12,2 ± 3,9	636,8 ± 79,4	24,9 ± 1,5
2010	cheia	384,9 ± 83,1	27,5 ± 1,5	4,8 ± 0,1	6,7 ± 0,5	58,9 ± 14,2	8,7 ± 4,9	864,2 ± 127,1	33,5 ± 17,8
2010	seca	281,8 ± 1,4	22,3 ± 2,6	7,4 ± 0,7	7,1 ± 0,1	57,7 ± 3,8	12,1 ± 0,6	618,4 ± 246	41,3 ± 21,1
2011	cheia	493,1 ± 147,2	27,5 ± 0,7	7,02 ± 0,8	6,7 ± 1,1	51,1 ± 0,4	4,5 ± 6,3	742,2 ± 46,8	23,8 ± 6,1
2011	seca	288,7 ± 50,5	21,9 ± 3,4	7,9 ± 0,1	7,2 ± 0,3	54,7 ± 6,4	7,5 ± 9,6	721,05 ± 123,7	33,2 ± 0,4
2012	cheia	285,6 ± 21,84	30,7 ± 2,9	6,05 ± 0,1	6,5 ± 0,2	48,5*	18,1 ± 3,4	893,6 ± 146,5	49,9 ± 9,4
2012	seca	318,7 ± 13,2	26,1 ± 0,6	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,4	52 ± 8,6	5,6 ± 4,5	738,3 ± 52,9	12,1 ± 0,4
2013	cheia	288,6 ± 5,8	29,7 ± 3,5	5,8 ± 0,1	7,2 ± 0	55,4 ± 9,2	28,4 ± 0,9	662,1 ± 31,4	54,2 ± 6,5
2013	seca	259,5 ± 7,7	22,2 ± 2,2	7,2 ± 0,4	7,1 ± 0,1	57,4 ± 5,6	22,6 ± 4	604,5 ± 53,9	45,8 ± 5,4
2014	cheia	239,6 ± 45,8	28,3 ± 0,1	5,9 ± 0,4	6,8 ± 0,7	57,8 ± 12,3	20,1 ± 0,1	633,5 ± 103,6	45,2 ± 11,8
2014	seca	175,5 ± 5,3	23,1 ± 2,7	6,8 ± 1,1	6,9 ± 0,3	67,3 ± 11,8	21,6 ± 0,9	729,5 ± 32,6	58,9 ± 13,4
2015	cheia	327,05 ± 105,1	27,1 ± 1,9	3,2 ± 2	6,7 ± 0,4	63,3 ± 8,5	6,2 ± 7,7	898,1 ± 274	39,5 ± 15,1
2015	seca	176,8 ± 17,9	24,2 ± 1,1	5,5 ± 1,1	7,04 ± 0,1	49,4 ± 0,8	14,1 ± 1,4	643,8 ± 28,1	40,5 ± 0,5
2016	cheia	374,4 ± 163,9	30,1 ± 0,1	5,3 ± 1,3	7,2 ± 0,3	79,4 ± 14,6	3,4 ± 1,2	735,1 ± 185,7	21,5 ± 4,2
2016	seca	248,4 ± 16,1	22,3 ± 2,7	6,6 ± 0,5	7,9 ± 0,9	68,4 ± 0,2	2,2 ± 1,5	881,1 ± 362,4	15,3 ± 0,2
2017	cheia	314,1*	31,6*	4,3*	6,9*	67*	9,1*	883,05*	58,8*
2017	seca	233,8*	24,5*	6,7*	7,2*	77,3*	9,1*	692,2*	39,5*
2018	cheia	280 ± 10,6	26,3 ± 1,7	5,8 ± 0,8	7,5 ± 0,3	57,7 ± 0,8	15,7 ± 7,9	582,7 ± 219,6	55,5 ± 6,8
2018	seca	171,3 ± 21,3	21,6 ± 0,3	6,7 ± 0,2	7,2 ± 0,1	61,6 ± 3	30,6 ± 25,5	670,3 ± 285,9	48,4 ± 14,5

4 STAUROSIRELLA PARANAENSIS SP. NOV., UMA NOVA DIATOMÁCEA EPIFÍTICA DE ÁGUA DOCE (BACILLARIOPHYCEAE) DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ, BRASIL, AMÉRICA DO SUL

RESUMO

Uma nova espécie de diatomácea, *Staurosirella paranaensis*, foi descrita em amostras epifíticas da macrófita *Eichhornia azurea* em um lago da planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. A descrição do novo táxon é baseada na observação de características morfológicas usando microscopia óptica e eletrônica de varredura. A espécie nova é caracterizada por valvas elípticas curtas com área axial estreitamente lanceolada, por vezes dando a impressão de ter forma em *zig-zag* devido à alternância das estrias. As estrias são lineoladas, estendendo-se ininterruptamente da face da valva ao manto. Os espinhos são sólidos, finos, espatulados com duas proeminências no topo, localizadas nas costelas. Os campos de poros apicais são imperceptíveis, localizados em ambos os ápices e igualmente desenvolvidos em ambas as válvulas. Elementos do cingulo são variáveis em número, abertos, sem poros, ligulados e com grandes valvocópulas. A espécie previamente identificada na região como táxon do complexo “*Staurosirella (Staurosira) pinnata*” é colocada no gênero *Staurosirella* com base nas estrias, apresentando viminas internas bem desenvolvidas delimitando aréolas tipicamente longas. Comparações com espécies semelhantes atribuídas ao gênero *Staurosirella* são fornecidas para destacar as características peculiares de *S. paranaensis*.

Palavras-chave Diatomáceas de água doce, espécie nova, Paraná, MEV, *Staurosirella*, taxonomia, bentônica.

ABSTRACT

A new diatom species, *Staurosirella paranaensis*, is described only from epiphytic samples on the macrophyte *Eichhornia azurea* in a lake from the Upper Paraná River Floodplain in Brazil. Description of the new taxon is based on morphological characteristics observed using light and scanning electron microscopy. The new species is characterized by short elliptic valves with an axial area narrowly lanceolate, sometimes giving the impression of having a zig-zag form due the alternating nature of the striae. The lineolate striae, running uninterrupted from valve face to mantle. Spines are solid, thin, spatulate with two prominences at the top, located at the costae. Apical pore fields are inconspicuous, located at both apices and equally developed on both valves. Girdle elements variable in number, open, lacking pores, ligulated, and with valvocopula being much larger. The species previously identified in the region as the “catch-all” taxon “*Staurosirella (Staurosira) pinnata*” is placed in the genus *Staurosirella* based on the striae bearing well-developed internal vimines delimiting typically long areolae. Comparisons with similar species ascribed to the genus *Staurosirella* are provided to highlight the peculiar characteristics of *S. paranaensis*.

Keywords freshwater diatoms, new species, Paraná, SEM, *Staurosirella*, taxonomy, benthic.

4.1 Introdução

Entre os diversos ecossistemas aquáticos brasileiros, as planícies de inundação são proeminentes; elas ocupam uma grande extensão territorial, têm alta heterogeneidade de habitats e dinâmica fluvial que influencia fortemente a manutenção da diversidade biótica (Junk *et al.* 1989, Neiff 1990, Junk & Furch 1993, Ward *et al.* 1999, 2002). As algas perifíticas estão entre as comunidades aquáticas mais diversas nesses ambientes, sendo as diatomáceas (Bacillariophyceae) um dos grupos mais representativos (Dunck *et al.* 2018). A alta diversidade de diatomáceas pode estar relacionada à presença de suas notáveis adaptações morfológicas que favorecem a fixação em substratos e a grande capacidade de exploração e colonização ambiental (Wetzel 1983, Round *et al.* 1990, Biolo & Rodrigues 2013, Algarte *et al.* 2016, Osório *et al.* 2019).

É evidente que os estudos taxonômicos da comunidade de diatomáceas estão bem estabelecidos no hemisfério norte, e menos explorados no hemisfério sul, principalmente na América do Sul, onde a flora ainda é pouco caracterizada regionalmente (Vélez-Agudelo *et al.* 2017). No entanto, nos últimos anos, o número de estudos sobre a flora de diatomáceas na América do Sul, e principalmente no sul e sudeste do Brasil, tem aumentado. Vários novos táxons de diatomáceas foram descritos (por exemplo, Pereira *et al.* 2014, Tremarin *et al.* 2014, Wetzel & Ector 2014, Almeida *et al.* 2015, Wengrat *et al.* 2016, Marquardt *et al.* 2017a, Lehmkuhl *et al.* 2019, Ruwer *et al.* 2019), evidenciando que a flora do Brasil é diversa e distinta de outras regiões do mundo.

Apesar dessas publicações recentes, o reconhecimento de pequenas diatomáceas arrafídeas ainda é escasso e poucos dos estudos que registraram essas espécies usam uma combinação de microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), o que impede as confirmações taxonômicas necessárias (Metzeltin & Lange-Bertalot 1998, Rumrich *et al.* 2000, Metzeltin *et al.* 2005, Almeida *et al.* 2015). Isso porque o limite de resolução do microscópio óptico não é suficiente para detectar diferenças nos caracteres taxonômicos, especialmente para estudos de pequenos táxons de arrafídeos, como é o caso do gênero *Staurosirella* D.M. Williams & Round (Morales 2001, Morales *et al.* 2010, 2012). Assim, a falta de aplicação do MEV em estudos florísticos compromete a identificação de pequenos táxons e, conseqüentemente, sua

utilidade em estudos ecológicos e de distribuição geográfica (Lobo *et al.* 1990, Morales *et al.* 2001, 2014a, Potapova & Charles 2002).

O gênero *Staurosirella* acomoda um grupo de espécies que têm aréolas em fenda, valvas largas, uma ligeira convexidade da borda abvalvar do manto e, também, a natureza sólida dos espinhos (Williams & Round 1987, Morales & Manoylov 2006). As espécies deste gênero podem ser coloniais e são encontradas em *habitats* bentônicos ou planctônicos, ou ainda alternadas entre os dois *habitats*, o que é uma grande vantagem ecológica para habitar nichos diferentes (Morales 2005). Apesar deste gênero abrigar espécies de ocorrência comum, a taxonomia de muitas espécies de *Staurosirella* permanece praticamente desconhecida. No Brasil, Almeida *et al.* (2015) propôs uma nova espécie deste gênero, *Staurosirella acidophila* P.D.Almeida, C.E.Wetzel, E.Morales, Ector & D.C.Bicudo de hábito bentônico, encontrado em reservatórios do interior de São Paulo. Também há registros de pelo menos outras oito espécies de *Staurosirella* em território brasileiro (Fontana & Bicudo 2009, Tremarin *et al.* 2009, Ribeiro *et al.* 2010, Silva *et al.* 2011, Dunck *et al.* 2012, Nardelli *et al.* 2014, Ruwer & Rodrigues 2018), mas nenhum dos estudos combinou microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), impedindo a confirmação taxonômica desses táxons.

Neste trabalho, descreve-se uma nova espécie de *Staurosirella* baseada em observações de MO e MEV. A nova espécie foi encontrada em amostras epifíticas ao caracterizar a flora de diatomáceas em um ambiente Neotropical, assim como, uma breve caracterização ecológica é fornecida.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Área de estudo

Amostras epifíticas de diatomáceas foram coletadas na lagoa das Garças (22° 43' 27,18" S, 53° 13'4, 56" W), localizada na planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil (Fig. 1). Esta planície de inundação está localizada entre a barragem de Porto Primavera e o reservatório de Itaipu, estendendo-se por cerca de 230 km ao longo do rio (Agostinho *et al.* 2005). A lagoa das Garças localizada na margem direita (noroeste) do rio Paraná, está ligada ao curso principal do rio com um canal de aproximadamente 100 m de extensão. A lagoa tem 150 m de largura e 2.000 m de comprimento, com

profundidade média de 2,5 m. Osório *et al.* (2018) calcularam o índice de estado trófico para a lagoa das Garças, seguindo um TSI de Carlson adaptado para lagos tropicais (Lamparelli 2004). De acordo com este índice, a lagoa foi caracterizada como mesotrófica.

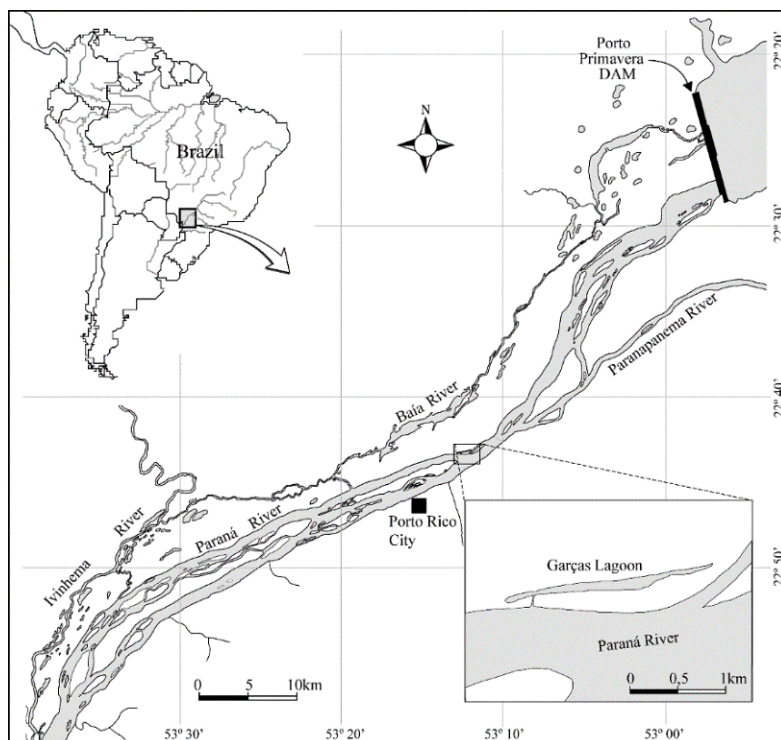


Figura 1. Mapa de localização da lagoa das Garças na planície de inundação do alto Rio Paraná, Brasil.

4.2.2 Preparação e análise das amostras

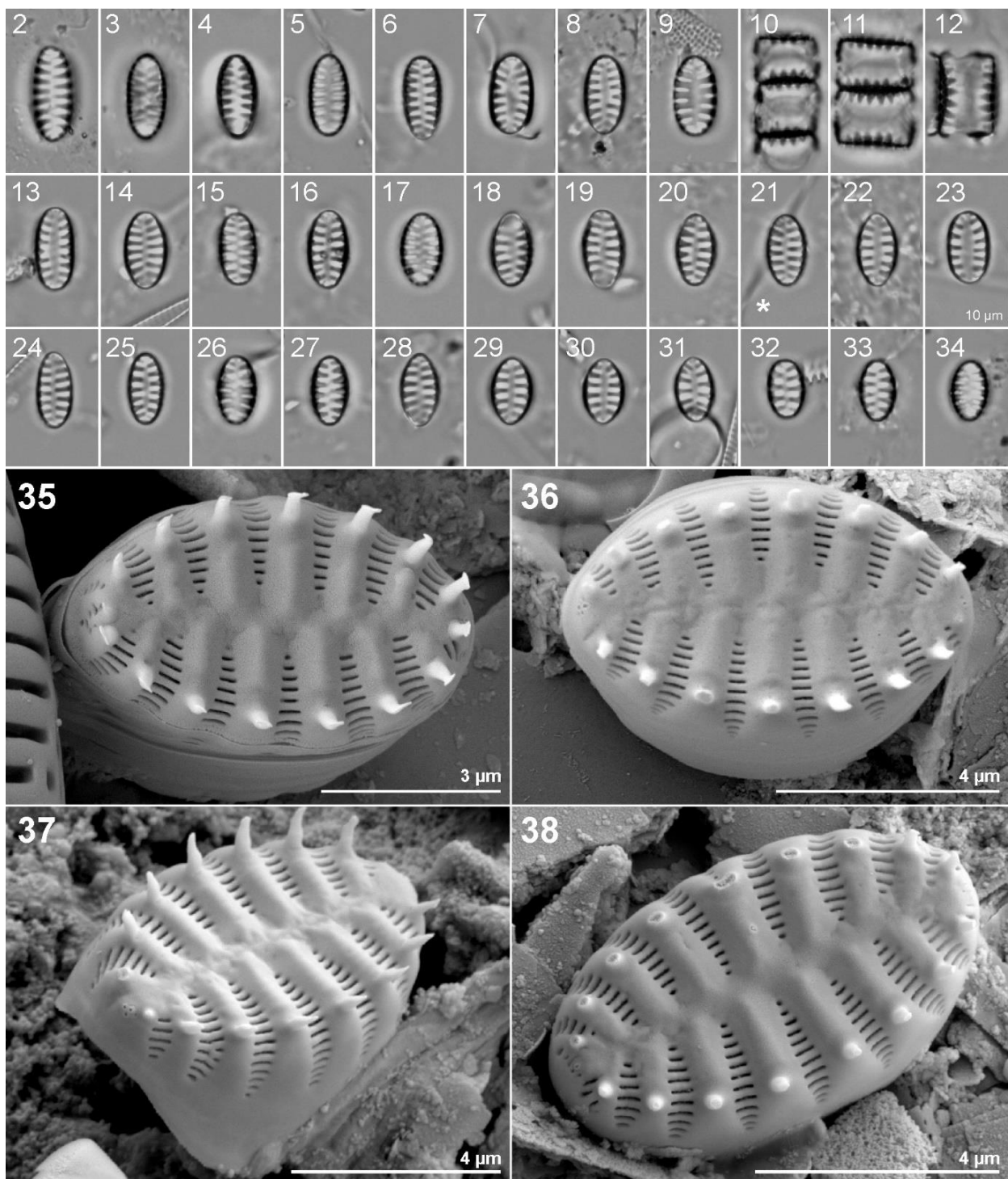
A amostragem epifítica e limnológica, como parte do Programa Brasileiro de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), foi realizada de 2000 a 2018, quatro vezes ao ano (quando possível) com intervalos de três meses, abrangendo períodos de cheia e seca, totalizando 69 amostras. Os valores limnológicos foram medidos em campo simultaneamente à amostragem biológica: profundidade da água (m) (sonar digital - HawkEye); temperatura da água (°C) (oxímetro digital - YSI55A); oxigênio dissolvido (mg / L) (oxímetro digital - YSI55A); pH (pHmetro digital portátil - Digimed); transparência (m) (disco de Secchi); nitrogênio total e fósforo total ($\mu\text{g} / \text{L}$) (Bergamin *et al.* 1978, Mackareth *et al.* 1978). Fornecemos as médias e os erros padrão dos valores limnológicos.

Amostras de diatomáceas epifíticas foram obtidas por meio da coleta e raspagem de pecíolos da macrófita mais abundante *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth, conforme recomendação de Schwarzbold (1990). O material epifítico foi removido do substrato, fixado e preservado em solução acética de Lugol 0,5% (Bicudo & Menezes 2017). As amostras foram oxidadas e limpas utilizando a técnica de Simonsen (1974) modificada por Moreira Filho & Valente-Moreira (1981). Subamostras oxidadas foram enxaguadas com água deionizada por três repetições e lâminas permanentes foram preparadas com resina Naphrax®. As observações de microscopia óptica (MO) foram realizadas usando um microscópio de campo claro Leica DMRX (Wetzlar, Alemanha) com objetiva de 100X e imersão em óleo (Leica Objective HCXPL APO 100X / 1,40 Oil PH3 CS), as fotografias MO foram tiradas com uma câmera Leica DC500. Para o MEV, as alíquotas das amostras foram filtradas e enxaguadas com água deionizada através de um filtro de membrana de policarbonato Isopore™ de 3 µm (Merck Millipore). Os filtros foram fixados em pontas de alumínio e revestidos com platina (espessura de 15 nm) usando um sistema modular de revestimento de alto vácuo BAL-TEC Med 020 por 30 s a 100 mA. As amostras filtradas foram analisadas usando um microscópio eletrônico de varredura de emissão de campo analítico (FE) de ultra-alta resolução Hitachi SU-70 (Hitachi High Technologies) operado a 5 kV e com uma distância de trabalho de 10 mm. Imagens MEV foram obtidas usando o sinal do detector inferior. As fotomicrografias foram editadas digitalmente e as pranchas contendo imagens MO e MEV foram montadas no CorelDraw X6®. Todas as imagens deste estudo foram retiradas de uma amostra (material tipo). Porém, observamos e quantificamos os indivíduos da espécie em diferentes anos (imagens não incluídas). Pelo menos 600 válvulas por amostra da comunidade total de diatomáceas foram contadas usando um microscópio óptico com um aumento de 1000 × e imersão em óleo (Kobayasi & Mayama 1982). As lâminas do material examinado foram armazenadas na coleção BR (Jardim Botânico de Meise, Bélgica). A terminologia morfológica segue Cox (2012) e Round *et al.* (1990).

4.3 Resultados

Divisão **Bacillariophyta**

Classe **Bacillariophyceae**

Subclasse **Fragilariophycidae**Ordem **Fragilariales**Família **Staurosiraceae**Gênero *Staurosirella*

Figuras 2–38. MO. *Staurosirella paranaensis* sp. nov. do material tipo. 2–34. MO. 2–9, 13–34. Vista valvar. 10–12. Vista pleural. 35–38. MEV–Vista externa. Vista das válvulas que representam as características do esterno estreito central, estrias e campos dos poros apicais. Viminas longas e estreitas, tornando-se mais curtas em direção ao esterno. Estrias correndo ininterruptamente da face da valva ao manto, com aréolas em fenda. 36–37. Campos de poros apicais. 38. Espinhos quebrados, inicialmente ocos na base tornando-se uma estrutura sólida no ápice. Barra de escala MO 10 μm , em MEV as barras de escala são identificadas nas imagens. Na Figura 21 * indica a amostra do holótipo.

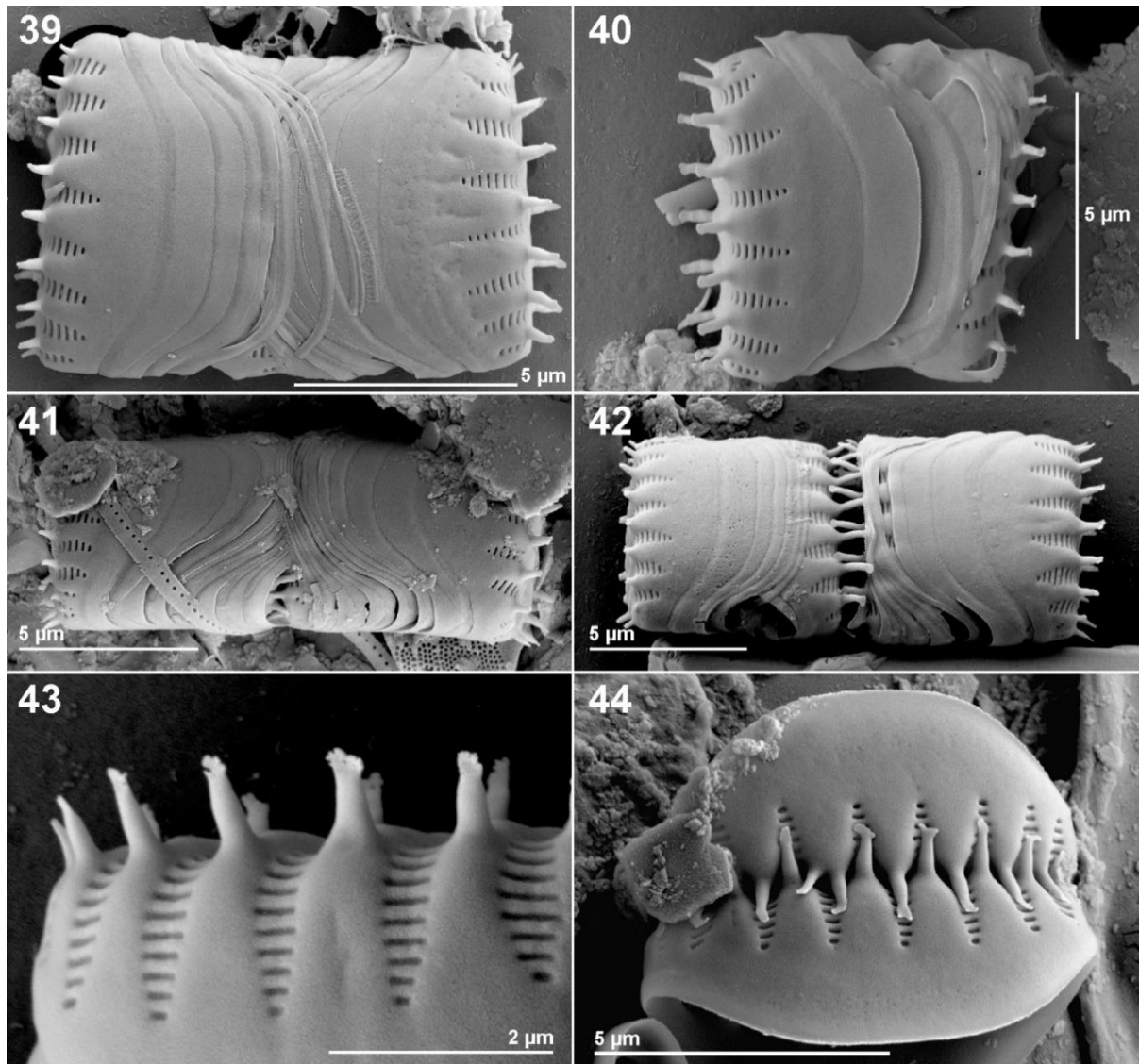
Staurosirella paranaensis N.C.Osório, Ector, L.Rodrigues, C.E.Wetzel, sp. nov. (MO, Figs 2–34, MEV, Figs 35–50)

Frústulas retangulares em vista de pleural, unidas por espinhos entrelaçados. Valvas elípticas, frequentemente isopolar a raramente ligeiramente heteropolar e com ápices arredondados. Área axial estreitamente lanceolada dando às vezes a impressão de ter uma forma de *zig-zag*. As virgas são duplamente alargadas, internamente à área axial e são elevadas deixando as estrias em depressões. Viminas longas e estreitas, tornando-se mais curtas em direção ao esterno. Estrias correndo ininterruptamente da face da valva ao manto. Vola ramificada e tem origem nas laterais das aréolas projetadas para o interior da válvula. Espinhos sólidos e finos, e há um por costela originando-se de um ponto em cada virga na junção face-manto da válvula, inicialmente vazada, em seguida, tornando-se uma estrutura apicalmente alongada com uma lâmina que se torna espatulada apresentando duas proeminências na parte superior. Campos de poros apicais localizados no manto valvar, atingindo a junção face-manto valvar nos nódulos polares e isolados de estrias vizinhas, geralmente desenvolvidos igualmente em ambos os polos valvares compostos por poros redondos. Elementos do cingulo variáveis em número, abertos, sem poros, ligulados e com grandes valvocópulas.

Dimensão (n>100): Comprimento 6–10 μm ; largura 3.0–4.5 μm ; 8–11 estrias em 10 μm ; profundidade do manto 2.5–3.5 μm .

Tipo: BRASIL. Paraná: Porto Rico, lagoa das Garças, planície de inundação do alto rio Paraná, lagoa, epifíton, 22°43'27.18"S, 53°13'4.56"W, August 2019, N.C. Osório (holótipo: BR! 4609, ilustrado na Fig. 21).

Etimologia: Esta espécie recebeu o nome em homenagem ao estado brasileiro onde foi descoberta. Vem da língua nativa tupi-guarani referindo-se ao rio “do tamanho do mar” (ou seja, Pará + nã).



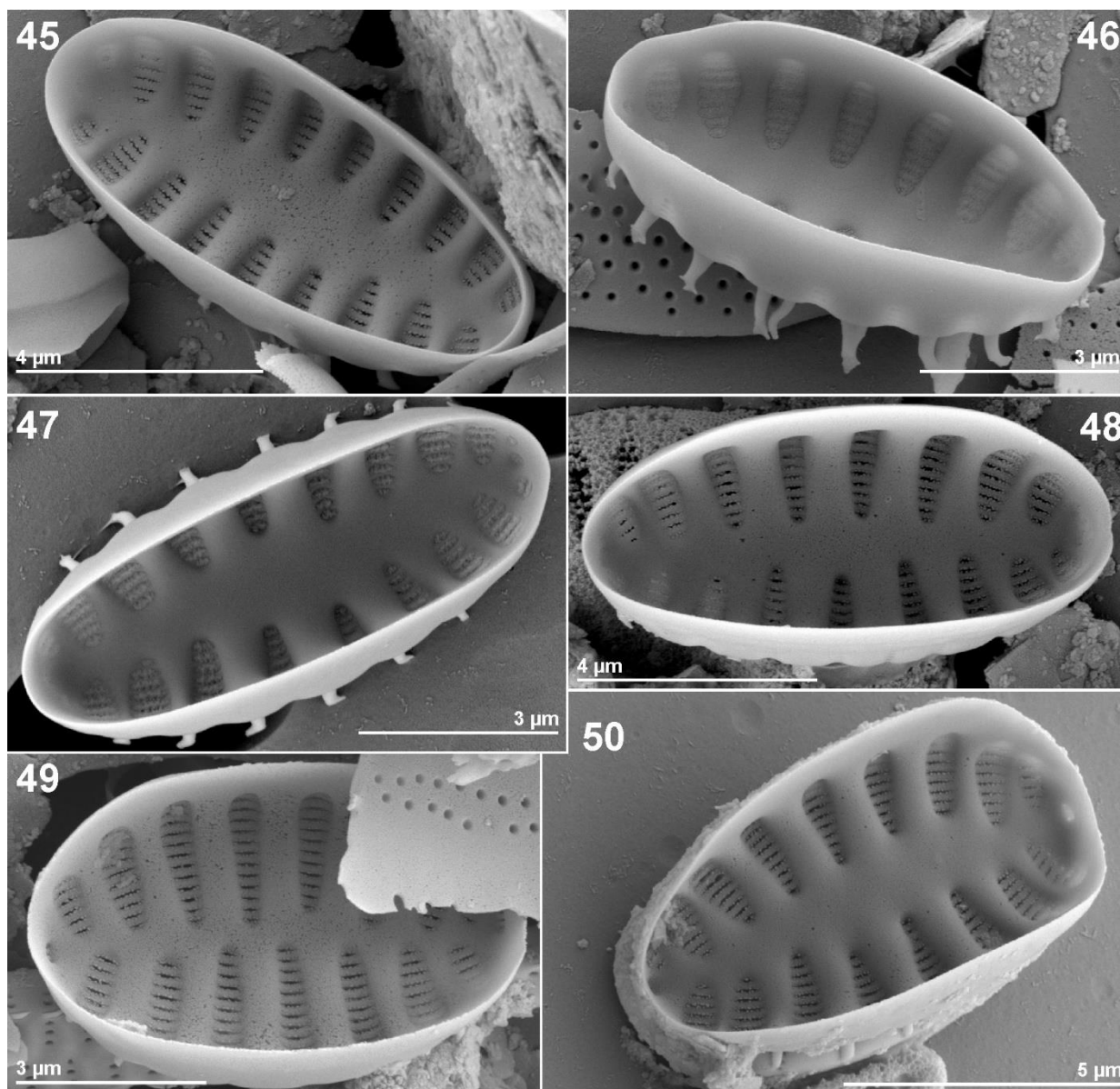
Figuras 39–44. MEV. *Stausosirella paranaensis* sp. nov. do material tipo. 39–41. Vista pleural de uma frústula completa mostrando valvocópulas mais largas ainda presas a ambas as válvulas. 42. União de duas válvulas por espinhos e formação de colônias. 43. Detalhe dos espinhos mostrando espinhos sólidos terminando em uma estrutura apicalmente alongada como uma lâmina que se torna espatulada com duas proeminências no topo. 44. Vista da junção dos espinhos, que terminam perto ou sobre as aréolas da válvula vizinhas. Escalas estão identificadas nas imagens do MEV.

Observações taxonômicas: Representantes da espécie *Stausosirella paranaensis* mostram semelhanças com as espécies listadas na Tabela 1. Os indivíduos menores de *S. paranaensis* se assemelham em MO aos espécimes menores de *Stausosirella martyi*

(Héribaud) E.Morales & Manoylov, *Staurosirella ovata* (E.Morales) E. Morales & Manoylov e *Staurosirella dubia* (Grunow) E.Morales & Manoylov. No entanto, as diferenças no contorno da válvula são claramente visíveis entre elas. Assim, outras características os distinguem claramente em MEV, podendo destacar como mais evidente a ausência de espinhos em *S. martyi* e *S. ovata* e espinhos sólidos com dois por costela em *S. dubia*, enquanto *S. paranaensis* tem apenas um espinho por costela. *Staurosirella paranaensis* também compartilha caracteres com os pequenos indivíduos de *Staurosirella neopinnata* E.Morales, C.E.Wetzel, E.Y.Haworth & Ector (Morales *et al.* 2019: 82). Essas duas espécies apresentam diferenças principalmente em relação aos espinhos, tamanho e bandas do cíngulo. *Staurosirella neopinnata* apresenta espinhos originários de dois (raramente três) pontos em cada virga e valvas maiores que *S. paranaensis* com uma série de bandas diferentes. Embora sejam de gêneros distintos e compartilhem caracteres taxonômicos únicos de cada gênero, *S. paranaensis* tem uma semelhança com *Staurosira kjotsunarum* E.Morales, Novais & Ector quando visto em MO. *S. paranaensis* possui aréolas em fenda e valvocópulas largas, sendo que essas características não são observadas em *Staurosira kjotsunarum*.

Ecologia e diatomoflora associada: *Staurosirella paranaensis* foi encontrada em um lago mesotrófico, localizado na planície de inundação do alto rio Paraná. O ambiente é caracterizado por um pH neutro: $6,9 \pm 0,06$, temperatura: $26^{\circ}\text{C} \pm 0,44$, oxigênio dissolvido: $6,29 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,17$, Secchi: $1 \text{ m} \pm 0,07$, profundidade da água: $297,7 \text{ cm} \pm 10,7$ e valores medianos de nutrientes, com nitrogênio total: $568 \text{ } \mu\text{g}^{-1} \pm 29,7$ e fósforo total: $39 \text{ } \mu\text{g}^{-1} \pm 4,25$, caracterizando condições mesotróficas. *Staurosirella paranaensis* é uma espécie comum encontrada em amostras epífitas nesta planície de inundação. Tanto em MO quanto em MEV encontramos esta espécie livre e formando colônias com as valvas acopladas por espinhos. Observamos cadeias de até 4 indivíduos (após o tratamento, pois não foi observado material vivo para este estudo). As espécies mais comuns encontradas nas amostras foram (por ordem de abundância relativa): *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen (1979: 56), *Discostella stelligera* (Cleve & Grunow) Houk & Klee (2004: 208), *Pinnularia divergens* W.Smith (1853: 57) e *Sellaphora densistriata* (Lange-Bertalot & Metzeltin) Lange-Bertalot & Metzeltin em Metzeltin & Lange-Bertalot (2003: 58). Também observamos uma relação negativa com duas outras espécies comuns: *Achnanthis tropicocatenatum* Marquardt, C.E. Wetzel & Ector em Marquardt *et al.* (2017b: 318) e *Gomphonema subtile* Ehrenberg (1843:

416); ambas as espécies diminuem em abundância quando *S. paranaensis* está presente no epifítton.



Figuras 45–50. MEV. *Stausosirella paranaensis* sp. nov. do material tipo. 45–50. Vista interna. 47. *Virga* duplamente alargadas internamente, área axial e *virga* elevadas deixando as estrias em depressões. 48–50. *Volae* ramificada e tem origem nas laterais das aréolas projetadas para o interior da válvula. Escalas estão identificadas nas imagens do MEV.

TABELA 1. Características morfológicas de *Staurosirella paranaensis* sp. nov. e outras cinco espécies semelhantes.

	<i>Staurosirella paranaensis</i>	<i>Staurosirella dubia</i>	<i>Staurosira kjotsunarum</i>	<i>Staurosirella martyi</i>	<i>Staurosirella neopinnata</i>	<i>Staurosirella ovata</i>
Referência	Presente estudo	Morales & Manoylov (2006)	Morales <i>et al.</i> (2012)	Morales & Manoylov (2006)	Morales <i>et al.</i> (2019)	Morales & Manoylov (2006)
Formato da valva	elíptica	lanceolada	isopolar, elíptica com extremidades amplamente arredondadas	ovoide	elíptica	ovoide
Ápices	ápices arredondados	ápices fortemente arredondados	amplamente arredondados	amplamente arredondados	ápices arredondados	amplamente arredondados
Esterno	estritamente lanceolado	amplo e central	linear a estritamente lanceolado	lanceolado e central	estritamente lanceolado	estrito, linear e lanceolado
Comprimento (µm)	6–10	6–8	5–7	7.5–28	4–25	6.5–38
Largura (µm)	3–4.5	3.5–4.5	4	5–9	4–4.7	3.5–7
Estrias em 10 µm	8–11	6.5–10	14–16	5–10	8.0–9.5	6–9
Estria	correndo ininterruptamente da face valvar para o manto	correndo ininterruptamente da face valvar para o manto	correndo ininterruptamente da face valvar para o manto	correndo ininterruptamente da face valvar para o manto	correndo ininterruptamente da face valvar para o manto	paralelo a ligeiramente radial em direção aos polos
Aréola	tipo fenda	tipo fenda	elíptico	tipo fenda	tipo fenda	tipo fenda
Vola	ramificado e originado das laterais das aréolas	difícil de ver	finamente ramificado e crescendo a partir do lado mais longo da periferia interna areolar	<i>bear branched</i>	pequeno e projetado para o interior da válvula	<i>bear branched</i>
Campo de poros apicais	presente, desenvolvido em ambos os polos da válvula, composto por poros redondos, cada um rodeado externamente por borda esbranquiçada	bem desenvolvidos e localizados em ambos os ápices valvares, compostos por várias fileiras de poros redondos	presente e composto de poros redondos, cada um rodeado externamente por borda esbranquiçada	presentes apenas na haste do pé e são compostos por várias fileiras de poros redondos	presente, igualmente desenvolvido em ambos os polos da valva e menos proeminente em valvas menores	presente em ambos os ápices, porém, mais desenvolvido no polo terminal
Espinhas	sólido, fino, espatulado; um por costela	sólido e há dois por costela	sólido, fino, espatulado e há um por costela	ausente	sólido, espatulado, proveniente de dois (raro três) pontos em cada virga	ausente

Bandas do cíngulo	aberto, sem poros, com valvocópula larga e composta por várias cópulas	formado por várias cópulas fechadas	aberto, sem perfurações	com valvocópula ampla e cópula fechada mais estreita	aberto, sem poros, ligulado, com valvocópula maior	composto de várias cópulas fechadas
--------------------------	------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------	------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-------------------------------------

4.4 Discussão

Staurosirella paranaensis possui características típicas do gênero *Staurosirella*. O tipo e as características das estrias, *vola*, campos de poros apicais e bandas do cingulo são todos semelhantes aos das espécies atualmente atribuídas a este gênero. Esta nova espécie de diatomácea ocorre em um lago naturalmente mesotrófico que pode ser considerado um sítio de referência para condições pré-enriquecidas na planície de inundação do alto rio Paraná. *S. paranaensis* foi reportado a partir de amostras como parte do Programa de Pesquisa de Longa Duração (PELD-UEM / CNPq), um programa de monitoramento de 20 anos. Este estabelecido programa de monitoramento usa apenas amostras epifíticas do substrato da macrófita *Eichhornia azurea*. Assim, neste trabalho, registramos a ocorrência dessa nova espécie apenas em amostras epifitas, porém, mais estudos precisam ser realizados para confirmar sua real distribuição. É importante ressaltar que entre 2000 e 2018, *S. paranaensis* foi relativamente constante em quase todos os anos. Porém, nem sempre foi abundante, variando entre períodos de seca e cheia da planície.

Em uma lista de verificação recente, Dunck *et al.* (2018) relatou mais de 150 espécies de diatomáceas da planície de inundação do alto rio Paraná. No entanto, poucos estudos nesta região usam uma combinação de MO e MEV para a identificação das espécies, o que torna impossível atribuir corretamente as identidades de pequenos táxons. Devido à importância dessa planície de inundação na manutenção e conservação da biodiversidade local, profundamente alterada pelos impactos antrópicos, mais estudos taxonômicos devem ser realizados neste sistema ecológico. Há também um grande número de áreas (lagos, rios, corpos semiaquáticos) ainda inexploradas taxonomicamente na planície de inundação.

Ruwer *et al.* (2019) registrou recentemente duas novas espécies (*Actinella hermesmoreirae* e *Gomphonema mutunensis* Ruwer, T.A.V.Ludwig & L.Rodrigues) encontradas em amostras de sedimentos da planície de inundação do alto rio Paraná. Os últimos anos comprovaram que a América do Sul está no início das descobertas de sua flora de diatomáceas. Especialmente entre os pequenos arrafídeos foi demonstrado que o uso de metodologias relativamente simples, como MO e MEV (em contraste com as abordagens genéticas), revela um grande número de espécies atualmente sendo relatadas como novas para o continente, deixando a abordagem de *force-fitting* atrás. Também se

tornou evidente que alguns táxons frequentemente relatados como “*S. pinnata*” *sensu* por vários autores, não ocorrem nesta região e que identificações errôneas são a consequência não só do *force-fitting*, mas também de má interpretação e desvio de conceito taxonômico (ver Morales *et al.* 2014b, 2019). Esses achados têm repercussões importantes em avaliações ecológicas baseadas em informações ecológicas para taxa em ecossistemas de condições altamente contrastantes, como as europeias. Ruwer *et al.* (2019) enfatiza a grande biodiversidade nesta área, reforçando ainda mais a relevância dos estudos taxonômicos nesta região. Assim, acreditamos que *S. paranaensis* pode ser apenas o início do nosso conhecimento sobre a biodiversidade da planície de inundação do rio Paraná.

REFERÊNCIAS

Agostinho, A.A., Thomaz, S.M. & Gomes, L.C. (2005) Conservation of the biodiversity of Brazil’s inland waters. *Conservation Biology* 19 (3): 646–652. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00701.x>

Alarte, V.M., Dunck, B., Leandrini, J.A. & Rodrigues, L. (2016) Periphytic diatom ecological guilds in floodplain: Ten years after dam. *Ecological Indicators* 69: 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.049>

Almeida, P.D., Wetzel, C.E., Morales, E.A., Ector, L. & Bicudo, D.C. (2015) *Staurosirella acidophila* sp. nov., a new araphid diatom (Bacillariophyta) from southeastern Brazil: ultrastructure, distribution and autecology. *Cryptogamie, Algologie* 36 (3): 255–270. <https://doi.org/10.7872/crya/v36.iss3.2015.255>

Bergamin, H., Reis, B.F. & Zagatto, E.A.G. (1978) A new device for improving sensitivity and stabilization in flow-injection analysis. *Analytica Chimica Acta* 97 (2): 427–431. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)93455-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)93455-5)

Bicudo, C.E.M. & Menezes, M. (2017) *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 3. ed. São Carlos: RiMa Editora, 572 pp.

Biolo, S. & Rodrigues, L. (2013) Structure of the periphytic algae associated with a floating macrophyte in an open lake on the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Acta Scientiarum, Biological Sciences* 35 (4): 513–519. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v35i4.18663>

Cox, E.J. (2012) Ontogeny, homology, and terminology—wall morphogenesis as an aid to character recognition and character state definition for pennate diatom systematics. *Journal of Phycology* 48 (1): 1–31. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2011.01081.x>

Dunck, B., Nogueira, I.S. & Machado, M.G. (2012) Planktonic diatoms on lotic and lentic environments in the Lago dos Tigres hydrologic system (Britânia, Goiás, Brazil):

Coscinodiscophyceae and Fragilariophyceae. *Brazilian journal of botany* 35: 181–193.
<https://doi.org/10.1590/S0100-84042012000200007>.

Dunck, B., Junqueira, M.G., Bichoff, A., da Silva, M.V., Pineda, A., de Paula, A.C.M., Zanco, B.F., Moresco, G.A., Iatskiu, P., Bortolini, J.C., de Souza, Y.R., Train, S., Rodrigues, L.C., Jati, S. & Rodrigues, L. (2018) Periphytic and planktonic algae records from the upper Paraná river floodplain, Brazil: an update. *Hoehnea* 45 (4): 560–590.
<https://doi.org/10.1590/2236-8906-03/2018>

Ehrenberg, C.G. (1843) Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-Amerika. *Abhandlungen der Königlich Akademien der Wissenschaften zu Berlin* 1841: 291–445.

Fontana, L. & Bicudo D.C. (2009) Diatomáceas (Bacillariophyceae) de sedimentos superficiais dos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR, Brasil): Coscinodiscophyceae e Fragilariophyceae. *Hoehnea* 36: 375–386.
<http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062009000300001>.

Houk, V. & Klee, R. (2004) The stelligeroid taxa of the genus *Cyclotella* (Kützing) Brébisson (Bacillariophyceae) and their transfer into the new genus *Discostella* gen. nov. *Diatom Research* 19 (2): 203–228. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2004.9705871>

Junk, W.J. & Furch, K. (1993) A general review of tropical South American floodplains. *Wetlands Ecology and Management* 2 (4): 231–238.
<https://doi.org/10.1007/BF00188157>

Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: Dodge, D.P. (Ed.) *Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Special Publications in Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110–127.

Kobayashi, H. & Mayama, S. (1982) Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Jap. Journal of Phycology* 30: 188–196.

Lamparelli, M.C. (2004) Trophic status in São Paulo water bodies: evaluation of monitoring methods. Thesis dissertation. São Paulo (Brazil): University of São Paulo.

Lehmkuhl, E.A., Morales, E.A., Tremarin, P.I., Bartozek, E.C.R., Zorzal-Almeida, S., Ludwig, T.A.V. & Bicudo, C.E.M. (2019) Two new species of *Nitzschia* (Bacillariaceae, Bacillariophyta) from tropical reservoirs of southeastern Brazil. *Phytotaxa* 399 (1): 83–99. <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.399.1.9>

Lobo, E.A., Kitazawa, S. & Kobayasi H. (1990) The use of scanning electron microscopy as a necessary complement of light microscopy diatom examination for ecological studies. *Diatom* 5: 33–43. <https://doi.org/10.11464/diatom1985.5.033>

Mackereth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F. 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 36, Ambleside, Cumbria, 120 pp.

- Marquardt, G.C., Bicudo, C.E.M., Ector, L. & Wetzel, C.E. (2017a) *Sellaphora tropicomadida* sp. nov., a new freshwater diatom species (Bacillariophyta) from a tropical Brazilian reservoir. *Brazilian Journal of Botany* 40 (4): 1051–1062. <https://doi.org/10.1007/s40415-017-0403-2>
- Marquardt, G.C., Costa, L.F., Bicudo, D.C., Bicudo, C.E.M., Blanco, S., Wetzel, C.E. & Ector, L. (2017b) Type analysis of *Achnantheidium minutissimum* and *A. catenatum* and description of *A. tropicocatenatum* sp. nov. (Bacillariophyta), a common species in Brazilian reservoirs. *Plant Ecology and Evolution* 150 (3): 313–330. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2017.1325>
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (1998) Tropische Diatomeen in Südamerika I. 700 überwiegend wenig bekannte oder neue Taxa repräsentativ als Elemente der neotropischen Flora [Tropical diatoms of South America I. About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora]. *Iconographia Diatomologica* 5: 1–695.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. (2003) Diatoms from the "Island Continent" Madagascar. *Iconographia Diatomologica* 11: 1–286.
- Metzeltin, D., Lange-Bertalot, H. & García-Rodríguez, F. (2005) Diatoms of Uruguay. Compared with other taxa from South America and elsewhere. *Iconographia Diatomologica* 15: 1–736.
- Morales, E.A. (2001) Morphological studies in selected fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from Connecticut waters (U.S.A.). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 151 (1): 105–120. [https://doi.org/10.1635/0097-3157\(2001\)151\[0105:MSISFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1635/0097-3157(2001)151[0105:MSISFD]2.0.CO;2)
- Morales, E.A. (2005) Observations of the morphology of some known and new fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research* 53 (2): 113–133. <https://doi.org/10.1111/j.1440-183.2005.00378.x>
- Morales, E.A. & Manoylov, K.M. (2006) Morphological studies on selected taxa in the genus *Staurosirella* Williams et Round (Bacillariophyceae) from rivers in North America. *Diatom Research* 21 (2): 343–364. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2006.9705674>
- Morales, E.A., Siver, P.A. & Trainor, F.R. (2001) Identification of diatoms (Bacillariophyceae) during ecological assessments: Comparison between Light Microscopy and Scanning Electron Microscopy techniques. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 151 (1): 95–103. [https://doi.org/10.1635/0097-3157\(2001\)151\[0095:IODBDE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1635/0097-3157(2001)151[0095:IODBDE]2.0.CO;2)
- Morales, E.A., Manoylov, K.M. & Bahls, L.L. (2010) Three new araphid diatoms (Bacillariophyta) from rivers in North America. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 160 (1): 29–46. <https://doi.org/10.1635/053.160.0105>
- Morales, E.A., Novais, M.H., Chávez, G., Hoffmann, L. & Ector, L. (2012) Diatoms (Bacillariophyceae) from the Bolivian Altiplano: three new araphid species from the

Desaguadero River draining Lake Titicaca. *Fottea* 12 (1): 41–58.

<https://doi.org/10.5507/fot.2012.004>

Morales, E.A., Rivera, S.F., Wetzel, C.E., Novais, M.H., Hamilton, P.B., Hoffmann, L. & Ector, L. (2014a) New epiphytic araphid diatoms in the genus *Ulnaria* (Bacillariophyta) from Lake Titicaca (Bolivia). *Diatom Research* 29 (1): 41–54.

<https://doi.org/10.1080/0269249X.2013.860399>

Morales, E.A., Wetzel, C.E., Rivera, S.F., Van de Vijver, B. & Ector, L. (2014b). Current taxonomic studies on the diatom flora (Bacillariophyceae) of the Bolivian Altiplano, South America, with possible consequences for palaeoecological assessments. *Journal of Micropalaeontology* 33: 121–129.

<https://dx.doi.org/10.1144/jmpaleo2014-007>

Morales, E.A., Wetzel, C.E., Haworth, E.Y. & Ector, L. (2019) Ending a 175-year taxonomic uncertainty: Description of *Staurosirella neopinnata* sp. nov. (Bacillariophyta) to accommodate *Fragilaria pinnata*, a highly misconstrued taxon with a purported worldwide distribution. *Phytotaxa* 402 (2): 75–87.

<https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.402.2.1>

Moreira Filho, H. & Valente-Moreira, I.M. (1981) Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Bacillariophyceae) epífitas em algas pluricelulares obtidas nos litorais dos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. *Boletim do Museu Botânico Municipal Curitiba* 47 (1): 1–17.

Nardelli, M.S, Bueno, N.C., Ludwig, T.A.V., Tremarin, P.I. & Bartozek, E.C.R. (2014) Coscinodiscophyceae and Fragilariophyceae (Diatomeae) in the Iguaçu River, Paraná, Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 28 (1): 127–140. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062014000100013>

Neiff, J.J. (1990) Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* 15 (6): 424–441.

Osório, N.C., Cunha, E.R., Tramonte, R.P., Mormul, R.P. & Rodrigues, L. (2019). Habitat complexity drives the turnover and nestedness patterns in a periphytic algae community. *Limnology* 20: 297–307. <https://doi.org/10.1007/s10201-019-00578-y>

Osório, N.C., Polinario, A.M., Dunck, B., Adame, K.L., Carapunarla, L., Junqueira, M.G., Fernandes, U.L. & Rodrigues, L. (2018) Periphytic *Cosmarium* (Zygnematophyceae, Desmidiaceae) in lentic environments of the Upper Paraná River floodplain: Taxonomy and ecological aspects. *Acta Limnologica Brasiliensia* 30: e203.

<https://doi.org/10.1590/S2179-975X4717>

Pereira, A.C., Torgan, L.C. & Melo, S. (2014) Four new *Pinnularia* Ehrenberg (Bacillariophyta, Pinnulariaceae) species from Amazonian black water (Tupé Lake, Amazonas State, Brazil). *Phytotaxa* 158 (2): 154–168.

<https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.158.2.3>

- Potapova, M.G. & Charles, D.F. (2002) Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography* 29 (2): 167–187. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00668.x>
- Ribeiro, F.C.P., Senna, C.S.F. & Torgan, L.C. (2010) The use of diatoms for paleohydrological and paleoenvironmental reconstructions of Itupanema Beach, Pará State, Amazon Region, during the last millennium. *Revista Brasileira de Paleontologia* 13: 2–32. <https://doi.org/10.4072/rbp.2010.1.03>
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990) *The diatoms. Biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747 pp.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. & Rumrich, M. (2000) Diatomeen der Anden. Von Venezuela bis Patagonien/Feuerland [Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego]. *Iconographia Diatomologica* 9: 1–649.
- Ruwer, D.T. & Rodrigues, L. (2018) Subfossil and periphytic diatoms from the upper Paraná river, Brazil: last ~1000 years of a transition period. *Hoehnea* 45 (3): 431–449. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-89/2017>
- Ruwer, D.T., Ludwig, T.A.V. & Rodrigues, L. (2019) Two new diatom species (Bacillariophyceae) from Brazilian floodplain: *Actinella hermes-moreirae* sp. nov. and *Gomphonema mutunensis* sp. nov. *Phytotaxa* 395 (2): 71–80. <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.395.2.3>
- Schwarzbald, A. (1990) Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensis* 3 (1): 545–592.
- Silva, W.J., Nogueira, I.S. & Souza, M.G.M. (2011) Catálogo de diatomáceas da região Centro-Oeste brasileira. *Iheringia, Série Botânica* 66: 61–86.
- Simonsen, R. (1974) The diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of RV "Meteor" 1964-1965 [Das Diatomeenplankton der Indischen Ozean Expedition des Forschungsschiffes "Meteor" 1964-1965]. *"Meteor" Forschungsergebnisse, Reihe D-Biologie* 19: 1–66.
- Simonsen, R. (1979) The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria* 2: 9–71.
- Smith, W. (1853) *A synopsis of the British Diatomaceae; with remarks on their structure, function and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens*. The plates by Tuffen West. In two volumes. Vol. 1. pp. [i]-xxxiii, 1-89, pls I-XXXI. London, John van Voorst, Paternoster Row.
- Tremarin, P.I., Freire, E.G., Bertolli, L.M. & Ludwig, T.A.V. (2009) Catálogo das diatomáceas (Ochrophyta- Diatomeae) continentais do estado do Paraná. *Iheringia, Série Botânica* 64: 79–107.

- Tremarin, P.I., Ludwig, T.A.V. & Torgan, L.C. (2014) Four new *Aulacoseira* species (Coscinodiscophyceae) from Matogrossense Pantanal, Brazil. *Diatom Research* 29 (2): 183–199. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.880072>
- Vélez-Agudelo, C., Espinosa, M., Fayó, R. & Isla, F. (2017) Modern diatoms from a temperate river in South America: the Colorado River (North Patagonia, Argentina). *Diatom Research* 32 (2): 133–152. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2017.1321046>
- Ward, J.V., Tockner, K. & Schiemer, F. (1999) Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research & Management* 15 (1–3): 125–139. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199901/06\)15:1/3<125::AID-RRR523>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199901/06)15:1/3<125::AID-RRR523>3.0.CO;2-E)
- Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B. & Claret, C. (2002) Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47 (4): 517–539. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00893.x>
- Wengrat, S., Morales, E.A., Wetzel, C.E., Almeida, P.D., Ector, L. & Bicudo, D.C. (2016) Taxonomy and ecology of *Fragilaria billingsii* sp. nov. and analysis of type material of *Synedra rumpens* var. *fusa* (Fragilariaceae, Bacillariophyta) from Brazil. *Phytotaxa* 270 (3): 191–202. <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.270.3.3>
- Wetzel, R.G. (1983) Recommendations for future research on periphyton. In: Wetzel, R.G. (Ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystems. Developments in Hydrobiology*, vol. 17. Springer, Dordrecht, pp. 339–346. https://doi.org/10.1007/978-94-009-7293-3_45
- Wetzel, C.E. & Ector, L. (2014) Taxonomy, distribution and autecology of *Planothidium bagualensis* sp. nov. (Bacillariophyta) a common monoraphid species from southern Brazilian rivers. *Phytotaxa* 156 (4): 201–210. <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.156.4.2>
- Williams, D.M. & Round, F.E. (1987) Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research* 2 (2): 267–288. <https://doi.org/10.1080/0269249X.1987.9705004>

5 PROPOSTA DE JOGOS DIDÁTICOS PARA PROMOVER O CONHECIMENTO E A PRESERVAÇÃO DE CORPOS AQUÁTICOS: “O MUNDO INVISÍVEL DAS MICROALGAS”

RESUMO

As microalgas, por serem visíveis apenas com auxílio de microscópios, acabam sendo negligenciadas e pouco exploradas sobre sua importância ambiental e econômica dentro dos conteúdos curriculares. Dessa forma, com a proposta de jogos didáticos envolvendo as microalgas, buscamos dar uma atenção especial a esse grupo de organismos e sua importância nos corpos aquáticos, com o objetivo de promover educação ambiental de maneira integrativa, simples e interativa. Disponibilizamos neste trabalho todo o material necessário para a execução dos jogos, incluindo: 5 personagens, 1 tabuleiro, 1 dado, cartas interativas, regras do jogo e glossário, bem como o aplicativo para o jogo virtual. Cada personagem pertence a uma classe taxonômica diferente de microalgas e pode interagir de forma diferente ao longo das ações determinadas em casas do tabuleiro. Assim, com essa proposta esperamos auxiliar na compreensão e no aprendizado de alunos sobre a importância de organismos chave nos processos ambientais de ecossistemas aquáticos, destacando aqui as microalgas de água doce. Além de promover um ensino mais integrativo e estimular mudanças futuras sobre o comportamento ambiental com corpos aquáticos.

Palavras-chave Educação ambiental; ecossistemas aquáticos; material didático; microalgas.

ABSTRACT

Microalgae, as they are visible only with the aid of microscopes, end up being neglected and little explored in terms of their environmental and economic importance within the curriculum content. Thus, with the proposal of educational games involving microalgae, we seek to give special attention to this group of organisms and their importance in aquatic bodies, with the aim of promoting environmental education in an integrative, simple, and interactive way. In this work we provide all the necessary material for the execution of the games, including: 5 characters, 1 board, 1 dice, interactive cards, game rules and glossary, as well as the application for the virtual game. Each character belongs to a different taxonomic class of microalgae and can interact differently during the actions determined in squares on the board. Thus, with this proposal we hope to help students understand and learn about the importance of key organisms in the environmental processes of aquatic ecosystems, highlighting freshwater microalgae here. In addition to promoting more integrative education and stimulating future changes in environmental behavior with aquatic bodies.

Keywords Environmental education; aquatic ecosystems; courseware; microalgae.

5.1 Introdução

A educação ambiental é um processo que enfatiza a importância de considerar as questões de cidadania a partir do universo cognitivo, comunicativo e sociopolítico dos sujeitos envolvidos na construção educacional, no qual os indivíduos tomam consciência, tornando-os capazes de agir, individualmente ou coletivamente, na busca de soluções para os problemas ambientais (UNESCO, 1997). Portanto, se faz necessária a implantação de métodos que efetivem uma educação ambiental (LANDIN-NETO *et al.*, 2013) e alcancem o maior número possível de pessoas.

A escola é um ambiente formal, onde a educação ambiental deve ser trabalhada, no intuito de ensinar e sensibilizar o aluno a buscar valores que conduzam a uma convivência harmoniosa com o ambiente, formando uma geração mais reflexiva, capaz de tomar decisões que minimizem a destruição inconsequente dos recursos naturais (EFFTING, 2007). Porém, precisamos reconhecer a dificuldade de certos conceitos utilizados no ensino de Biologia, especialmente em relação às microalgas, e começar a optar por modalidades de ensino que contribuam de forma mais efetiva para os processos de ensino e aprendizagem. Muitas vezes os professores ainda sentem dificuldade no ensino devido à desmotivação dos alunos em relação à aprendizagem. Assim, é necessário adotar instrumentos pedagógicos, tais como jogos didáticos, para tornar o estudo de conceitos abstratos mais efetivos, atraentes e de fácil compreensão (PAVAN *et al.*, 1998; HERMANN, 2013).

Os jogos têm o objetivo de desenvolver o aprendizado juntamente com o aspecto lúdico, sendo instrumentos motivadores, divertidos, além de grande potencial de cognição, sociabilidade e interação (FIALHO, 2008), constituindo uma ferramenta ideal para melhorar o desempenho dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem (GOMES; FRIEDRICH, 2001). É importante destacar que o jogo não é o fim dentro do processo de ensino e aprendizagem, e sim um eixo que conduz um conteúdo teórico junto da ação lúdica para a aquisição do conhecimento (KISHIMOTO, 1996). Portanto, os jogos servem como uma estratégia na abordagem de conteúdos científicos, podendo auxiliar o professor a construir com os alunos uma nova visão sobre diferentes problemáticas (SILVA, 2018). Em um mundo onde estamos cercados de tecnologia, os jogos virtuais tornam-se uma ferramenta de destaque dentro do processo de ensino e aprendizagem (AMARAL, 2007). Neste sentido, os jogos físicos e virtuais podem possibilitar a aproximação do aluno ao conteúdo científico, levando-o a ter uma

vivência, mesmo que imaginativa e/ou virtual, de soluções de problemas enfrentados pela humanidade (CAMPOS, BORTOLOTO; FELÍCIO, 2003).

Assim, neste trabalho sugerimos alternativas de jogos didáticos no intuito de promover educação ambiental de maneira integrativa, simples e interativa. Dessa forma, sugerimos duas propostas diferentes de jogos, uma em formato de tabuleiro, para ser aplicado de forma física e outro em formato virtual, para ser utilizados em computadores e celulares. A ideia é atingir os alunos de forma a auxiliar a compreensão e o aprendizado destes sobre a importância de organismos chave nos processos ambientais de corpos aquáticos continentais, destacando aqui as microalgas de água doce.

5.1.1 O que são microalgas?

O termo microalgas compreende um grupo muito heterogêneo de organismos microscópicos, predominantemente aquáticos, que possuem clorofila e outros pigmentos fotossintéticos capazes de realizar a fotossíntese oxigênica (PEREZ, 2007). As microalgas estão presentes principalmente em ambientes marinhos, de água doce, no solo ou em associações com outros organismos, sendo responsáveis por pelo menos 60% da produção primária da Terra (CHISTI, 2004). Nos ambientes aquáticos continentais as microalgas compreendem a comunidade fitoplactônica e integram a comunidade perifítica, o que garante praticamente toda a produtividade primária desses ecossistemas (ESTEVES, 2011). Os termos fitoplâncton e perifíton não constituem um grupo taxonômico e sim um grupo de organismos, em sua maioria fotoautotróficos, que vivem suspensos na coluna d'água, ou aderidos a algum tipo de substrato, respectivamente (ESTEVES, 2011). O termo perifíton é um termo mais abrangente que o termo fitoplâncton pois os organismos podem estar aderidos a diversos tipos de substratos como em rochas (epifíton), plantas aquáticas (epifíton), sedimento (epipélon), madeira (epixílon), grão de areia (episamon), entre outros (FERRAGUT *et al.*, 2013).

A caracterização (sistemática) desses microrganismos implica na consideração de uma série de critérios morfológicos, fisiológicos e genéticos (HOEK *et al.*, 1995; RAVEN, 2001). Entre os principais grupos de microalgas de águas continentais abordados por Bicudo e Menezes (2006), estão os representantes, de estrutura procariótica, da Classe Cyanophyceae (cianobactérias), e àqueles de estrutura celular eucariótica, com os representantes das Classes Chlorophyceae (algas verdes),

Euglenophyceae (euglenóides), Bacillariophyceae (diatomáceas) e Dinophyceae (dinoflagelados).

A alta diversidade de microalgas nos corpos aquáticos garante importantes funções ecossistêmicas nesses ambientes, como: principais produtores primários, base de cadeias alimentares e participantes da ciclagem de nutrientes. Tal diversidade também se reflete na composição bioquímica, o que torna as microalgas uma fonte de produtos (NORTON *et al.*, 1996; PULZ; GROSS, 2004), que têm sido explorados comercialmente pela indústria de alimentos e de fármacos, além de serem usadas na produção de energia, como biofertilizantes e no tratamento de águas residuais (DERNER *et al.*, 2006; RODOLFI *et al.*, 2009; KIRROLIA *et al.*, 2013).

É válido destacar que vários problemas ambientais têm sido registrados atualmente nos ambientes aquáticos e conhecer as microalgas é uma forma de acessar essa importância ambiental, uma vez que são organismos chave na indicação de qualidade de água (LOBO *et al.*, 2004). Porém, por serem visíveis apenas com auxílio de microscópios, acabam sendo negligenciadas e pouco exploradas sobre sua importância ambiental e econômica dentro dos conteúdos curriculares. Dessa forma, com estes jogos os alunos poderão (1) aprender sobre as principais características (taxonômicas, fisiológicas e ecológicas) dos grupos mais dominantes de microalgas dos ambientes de água doce; (2) conseguirão pontuar as diversas funções ambientais que as microalgas desempenham nos ambientes aquáticos (neste jogo representados por um lago); (3) compreender como fontes de poluição em corpos aquáticos afetam as microalgas e conseqüentemente todo o sistema aquático; (4) e poderão refletir sobre a importância da preservação dos ambientes aquáticos.

5.2 Descrição dos jogos didáticos

A estrutura dos jogos foi estabelecida dentro de regras que compõem um jogo de tabuleiro. Pensamos em utilizar a estrutura de um tabuleiro, pois esse tipo de jogo garante interação entre os participantes, uma boa identidade visual do conteúdo a ser explorado, além de conseguir abrigar uma grande quantidade de conteúdo teórico sobre o tema, por meio de cartas e frases indicativas. Em ambos os jogos os personagens, caracterizados por grupos taxonômicos de microalgas devem percorrer casas ao longo do tabuleiro, passando por zonas que caracterizam um corpo aquático (representado

aqui como uma lagoa) e respondendo questões relacionadas a ecologia, taxonomia e impactos sociais das microalgas. O nome dos jogos tanto o físico quanto o virtual é “O mundo invisível das microalgas” uma vez que estamos enfatizando a importância de algas microscópicas em corpos aquáticos.

5.3 Jogo virtual

O jogo virtual foi desenvolvido em parceria com uma equipe de seis alunos sob coordenação do Prof. Me. Maurílio Martins Campano Júnior e seguiu as ideias do Game Concept de Novak (NOVAK, 2010).

5.3.1 Recomendações do jogo

Segundo o Entertainment Software Rating Board (ESRB, 2021), o jogo é classificado como E, livre para pessoas de todas as idades, no entanto o foco são alunos e professores na área da biologia que desejam aprimorar o conhecimento sobre microalgas.

Faixa etária: alunos de sexto ao nono ano (10 a 15 anos), mas também pode incluir alunos de ensino médio. Inclusive o material pode servir como instrumento introdutório na disciplina de ficologia com alunos de graduação de ciências biológicas.

Número de jogadores: 5 jogadores.

Nível de estratégia: baixa.

Nível de dificuldade: média.

Pré-requisitos: conhecimentos básicos sobre meio ambiente e seres vivos.

Tempo médio de jogo: aproximadamente 40 minutos.

5.3.2 Plataforma e requisitos de hardware

O jogo foi desenvolvido utilizando a plataforma de desenvolvimento de jogos Unity (UNITY3D, 2020) na linguagem de programação C#, sendo que o jogo está disponível para o sistema operacional Windows no seguinte endereço: <https://drive.google.com/file/d/1AFb5xAfemHUcz8YofKINMdv2XnfGP6ss/view?usp=sharing>

5.3.3 Licença

Os elementos sonoros e gráficos que foram utilizados no jogo foram todos construídos pelos desenvolvedores e deste modo o jogo foi desenvolvido sem nenhum interesse comercial ou contrato financeiro com empresas de desenvolvimento de jogos, sendo única e exclusivamente voltado para o aprendizado e disseminação do conhecimento.

5.3.4 O jogo

A primeira versão do jogo desenvolvido inicia-se na escolha da quantidade de jogadores participantes, representados pelos diferentes grupos de microalgas, conforme representado na Figura 1.

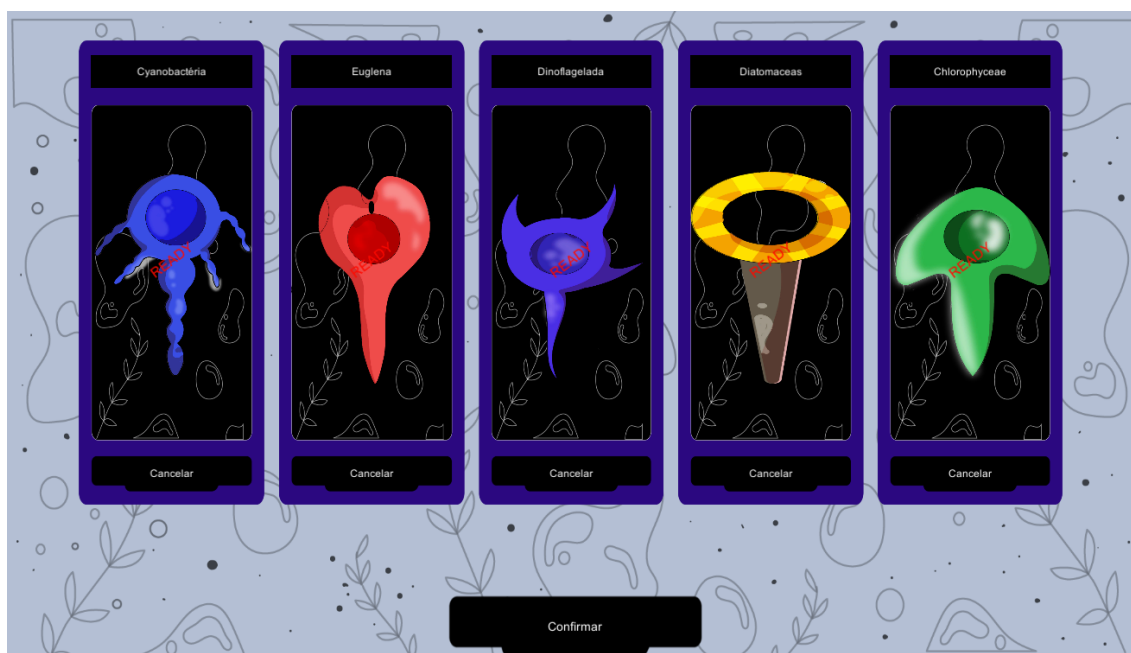


Figura 1 Personagens do jogo virtual representados pelos grupos de algas que incluem: Cianobactéria, Euglena, Dinoflagelada, Diatomácea e Chlorophyceae.

Após a confirmação da quantidade de jogadores a interface principal do jogo é apresentada, tal como a Figura 2, na qual é formada por um tabuleiro, os personagens representados na parte superior da tela, e suas respectivas posições no tabuleiro.

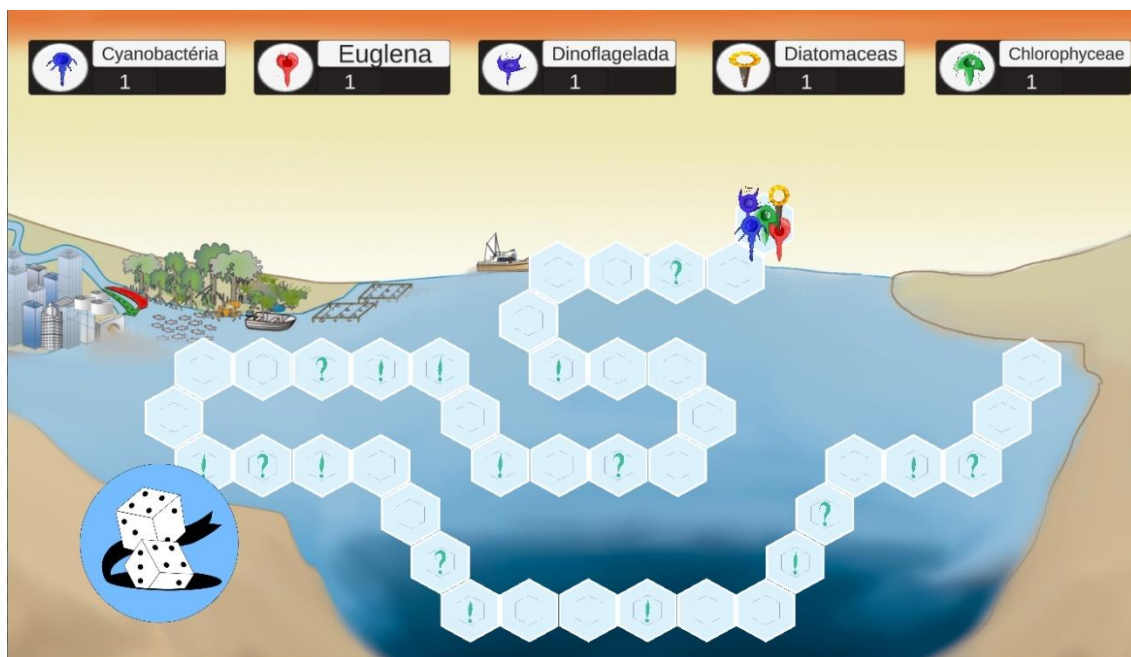


Figura 2 Interface do jogo virtual “O mundo invisível das microalgas”.

O jogo funciona em turnos, sendo que cada jogador realiza o lançamento do dado, e de acordo com as posições onde o jogador para este pode precisar responder perguntas sobre o universo das algas, como exemplificado na Figura 3.

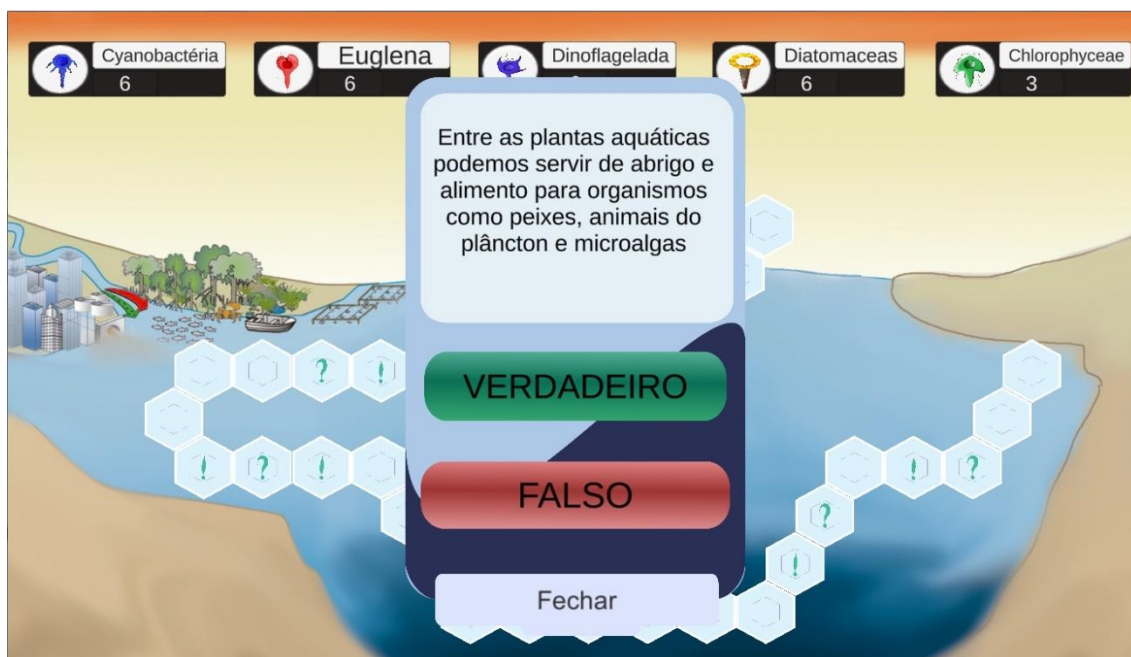


Figura 3 Exemplo de como as perguntas serão lançadas ao longo do jogo.

O jogador pode parar em posições estratégicas onde ele terá que recuar ou avançar no tabuleiro, de acordo com as ações determinadas no jogo (ver Figura 4).

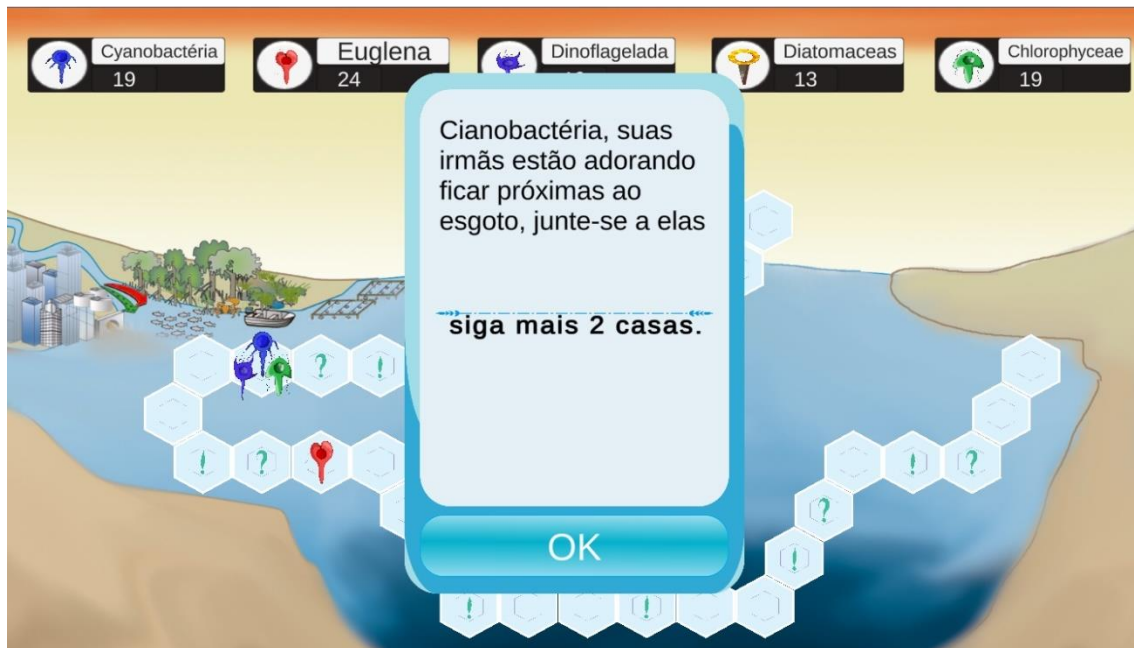


Figura 4 Exemplo das ações determinadas em algumas casas do jogo.

Quando uma das algas chega na quadragésima posição do tabuleiro o jogo acaba, mostrando o vencedor e as posições dos outros jogadores conforme demonstrados na Figura 6.



Figura 6 Interface final do jogo mostrando o ranking dos jogadores.

O jogo virtual ainda está em fase de elaboração, assim, pretendemos desenvolver novas versões do jogo, adicionando mais perguntas sobre as microalgas, e melhorar os componentes gráficos da interface e a usabilidade do jogo.

Esperamos também testar o jogo com alunos em sala de aula, avaliando aspectos do jogo em si como interface, mecânicas, história e feedbacks, bem como a avaliação dos conhecimentos relacionados às microalgas adquiridos com o jogo.

5.4 Jogo de tabuleiro

5.4.1 Recomendações do jogo

Faixa etária: alunos de sexto ao nono ano (10 a 15 anos), mas também pode incluir alunos de ensino médio. Inclusive o material pode servir como instrumento introdutório na disciplina de ficologia com alunos de graduação de ciências biológicas.

Número de jogadores: 5 jogadores.

Nível de estratégia: baixa.

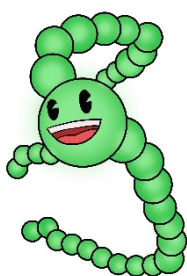
Nível de dificuldade: média.

Pré-requisitos: conhecimentos básicos sobre meio ambiente e seres vivos.

Tempo médio de jogo: aproximadamente 40 minutos.

5.4.2 Materiais e desenvolvimento

Personagens do tabuleiro: Cada personagem pertence a uma classe taxonômica diferente de microalgas.

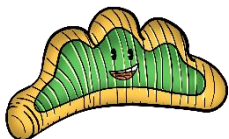


Cianobactéria (Cyanophyceae): Estes organismos são também chamados de “algas azuis”, por produzirem um composto que garante essa cor. Diferente das outras microalgas, esses organismos são procariontes e por isso estão entre o grupo de bactérias que conseguem realizar fotossíntese (realizada também pelos outros grupos de algas). Algumas espécies podem produzir substâncias tóxicas até mesmo para o ser humano. Suas células também podem formar colônias e filamentos, e as células podem estar envoltas por uma camada de uma substância gelatinosa (mucilagem).

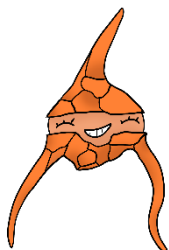


Alga verde (Chlorophyceae): Este grupo de microalgas abriga a maioria das “algas verdes”, composto por organismos eucariontes e unicelulares. As algas verdes possuem diversos formatos de células, inclusive podem formar colônias e filamentos, em que as células

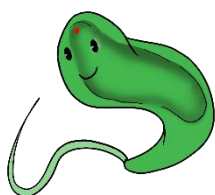
podem estar envoltas por uma camada de uma substância gelatinosa (mucilagem).



Diatomácea (Bacillariophyceae): O grupo das diatomáceas é composto por organismos eucariontes e unicelulares, que possuem sua célula envolta por uma “carapaça de vidro” (feita de sílica), que garante proteção e é a única estrutura que fica no ambiente quando a alga morre (isso faz com que ela se torne um fóssil ao longo dos anos). Essas algas conseguem ficar “grudadinhas” (perifítica) em plantas, pedras, galhos e até animais. As diatomáceas possuem uma cor dourada, pois elas armazenam ‘gordura’ (lipídeos) em suas células.



Dinoflagelada (Dinophyceae): esse grupo de microalgas é constituído por seres eucariontes, unicelulares, e heterotróficos facultativos. Os dinoflagelados possuem esse nome, pois “dino” quer dizer “àqueles que rodopiam” e flagelados vem de flagelo, o que significa que esses organismos possuem flagelos que auxiliam na sua locomoção. Eles ainda possuem um esqueleto interno (endoesqueleto) formado por placas de celulose, que garante uma aparência característica desse grupo de microalgas.



Euglena (Euglenophyceae): esse grupo de microalgas é constituído por seres eucariontes, unicelulares, e heterotróficos facultativos. Estes organismos são tipicamente móveis, ou através de flagelos, que auxiliam na locomoção e alimentação, ou pela capacidade do corpo em mudar sua forma (metabolia). As euglenas também possuem um estigma (pontinho de cor avermelhada), utilizado nos mecanismos de orientação em direção a uma fonte luminosa.

Material para a realização do jogo: 5 personagens, 1 tabuleiro, 1 dado, cartas (ver material suplementar), regras do jogo, glossário (ver material suplementar). Cada tabuleiro deverá constar 40 casas (ver Figura 6).

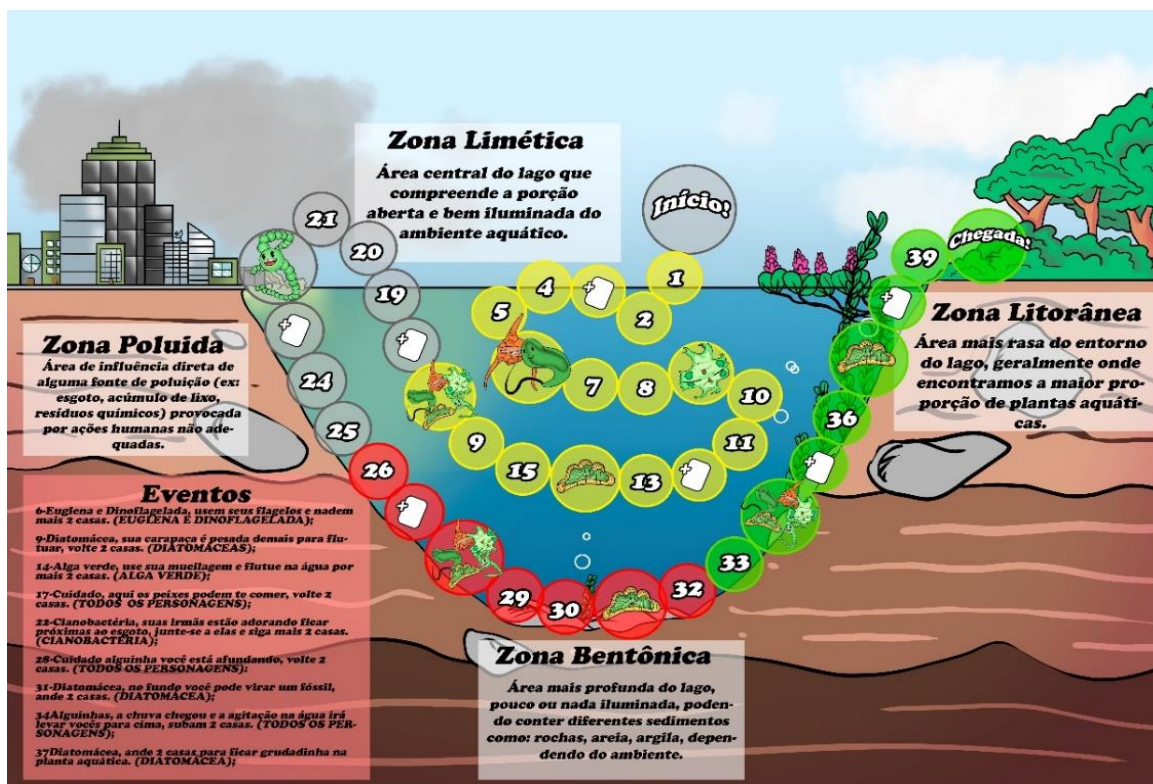


Figura 6 Layout do tabuleiro contendo a organização das casas e as indicações do jogo.

Organização das casas do tabuleiro:

As casas do tabuleiro estão distribuídas do número 1 ao 40 e organizadas dentro de quatro zonas (separadas por cores diferentes), que caracterizamos áreas do lago representado (ver Fig. 1).

1 - 17; ZONA LIMNÉTICA: Área central do lago que compreende a porção aberta e bem iluminada do ambiente aquático.

18 - 26; ZONA POLUÍDA: Área de influência direta de alguma fonte de poluição (ex: esgoto, acúmulo de lixo, resíduos químicos) provocada por ações humanas não adequadas.

27 - 31; ZONA BENTÔNICA: Área mais profunda do lago, pouco ou nada iluminada, podendo conter diferentes sedimentos como: rochas, areia, argila, dependendo do ambiente.

32 - 40; ZONA LITORÂNEA: Área mais rasa do entorno do lago, geralmente onde encontramos a maior proporção de plantas aquáticas.

Desenvolvimento e regras:

Cada jogador ao início do jogo escolherá um personagem que o acompanhará até ao final da partida.

Cada jogador deverá seguir com o seu personagem através do caminho de casas indicado pelo jogo. O jogo segue um sentido único, que é indicado no tabuleiro.

O jogo seguirá em zonas de casas amarelas, cinzas, vermelhas e verdes.

Para saber quantas casas o jogador deve seguir ele deverá jogar o dado.

Toda vez que o jogador parar em uma casa com a instrução RESPONDER CARTA, o jogador deve retirar uma carta com a coloração da zona da casa em que o personagem ficou parado, deverá entregar a carta para que outro jogador leia e por fim deverá responder VERDADEIRO ou FALSO para a pergunta que se encontra na carta.

Abaixo da sentença ou pergunta na carta haverá a resposta correta.

Se o jogador acertar a resposta da pergunta deverá seguir 1 casa; se o jogador errar a resposta da pergunta deverá retornar 1 casa.

Toda vez que o jogador ficar parado em uma casa com instruções ou eventos, deverá ler as instruções e deverá cumprir as instruções apenas se for instruções diretamente para o seu personagem. Se as instruções da casa não forem para o seu personagem o jogador deverá seguir o jogo normalmente.

Dependendo da instrução o personagem do jogador deverá seguir ou retornar duas casas.

O jogador vencedor será aquele que chegará primeiro a última casa do jogo, a casa 40. A casa 40 está inserida na zona mais preservada do lago.

5.5 Perspectivas

Essa proposta de jogos como material didático de apoio tem o intuito de promover maior interação entre aluno-aluno e aluno-professor em sala de aula. Também queremos despertar a conscientização ambiental de corpos aquáticos que sofrem constantemente com os impactos antrópicos. É importante destacar que a aprendizagem de um assunto muitas vezes de difícil compreensão, como as microalgas, fica restrito apenas na teoria, justamente porque as microalgas são de difícil visualização. Com a proposta de um jogo didático esse conteúdo poderá ser explorado de forma que o conhecimento que geralmente fica restrito a área acadêmica, seja compartilhado com todas as esferas da educação. A proposta de duas modalidades de jogos, tanto física quanto virtual, facilita a abrangência dessa temática aos diversos públicos interessados. Adicionalmente, espera-se que esta iniciativa seja exemplo para demais temas, tornando o estudo de Ciências e/ou Biologia mais interessante e produtivo.

De forma geral, além de abranger as diferentes esferas da educação, promover ensino integrativo para a base de uma sociedade e estimular mudanças futuras sobre o comportamento ambiental com corpos aquáticos, este trabalho busca não só a sensibilização dos educandos e educadores envolvidos, como também a interação da academia com a sociedade. Isso porque o conhecimento científico construído na universidade é complexo e heterogêneo, o que para muitos acadêmicos, é desafiador traduzir aos educandos de forma clara e inclusiva. Em um cenário atual em processo constante de desmonte da educação pública brasileira, bem como a desmoralização do conhecimento científico, a proposta desse jogo tem o intuito de ajudar na conscientização de futuros cidadãos com potencial de mudar a situação em que os ecossistemas aquáticos se encaminham.

REFERÊNCIAS

AMARAL, S. C. F; FRANCO, S. C.; PAULA, G. N. **A nova forma de pensar o jogo, seus valores e suas possibilidades.** Revista Pensar a Prática, v. 10, n. 2, 2007.

BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de água doce continentais do Brasil: chaves para identificação e descrições**. São Carlos, 2006.

CAMPOS, L. M. L.; BORTOLOTO, T. M.; FELICIO, A. K. C. **A produção de jogos didáticos para o ensino de ciências e biologia: uma proposta para favorecer a aprendizagem**. Caderno dos Núcleos de Ensino. Departamento de Educação – Instituto de Biociências da Unesp. Campus de Botucatu, 2003, pp. 35-48.

CHISTI, Y. Microalgae: our marine forests. *In*: RICHMOND, A. (Org.). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science, 2004.

DERNER, R. *et al.* Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**. v.36, n. 6, 2006. XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - JEPEX 2013 - UFRPE: Recife, 09 A 13 de dezembro, 2006.

EFFTING, T.R. Educação Ambiental nas Escolas Públicas: Realidade e Desafios. Marechal Cândido Rondon (Monografia). Paraná: Pós Graduação em “Latu Sensu” Planejamento Para o Desenvolvimento Sustentável – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Marechal Cândido Rondon, 2007.

ESRB. **Entertainment software rating board**. 2021. <https://www.esrb.org/> (Acessado em janeiro de 2021).

ESTEVES, F. A. (Org.) **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciencia, 2011. 826 p

FERRAGUT, C., BICUDO, D.D.C. & VERCELLINO, I.S. Amostragem e medidas de estrutura da comunidade perifítica. *In*: SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A.L., TORGAN, L.C. **Ecologia do perifíton**. Rima, 2013, pp. 157–177.

FIALHO, N. N. **Os jogos pedagógicos como ferramentas de ensino**. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 8, 2008, Curitiba.

GOMES, R. R.; FRIEDRICH, M. **A Contribuição dos jogos didáticos na aprendizagem de conteúdos de Ciências e Biologia**. *In*: EREBIO, Rio de Janeiro, 2001, p.389-92.

HERMANN, F.; ARAÚJO, M. C. P. **Os jogos didáticos no ensino de genética como estratégias partilhadas nos artigos da revista de genética na escola Erebio Sul.** Santo Ângelo, 2013.

HOEK, C. *et al.* **Algae: an introduction to phycology.** London: Cambridge University, 1995.

KIRROLIA, A.; BISHNOI, N. R.; SINGH, R. **Microalgae as a boon for sustainable energy production and its future research & development aspects.** Renewable Sustainable Energy Reviews, v. 20, p.642-656, 2013.

KISHIMOTO, T. M. **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação.** Cortez, São Paulo, 1996.

LANDIN-NETO, F.O., MENDES, J.S., RABELO, F.B.D., SILVA, E.V., GORAYEB, A. **Educação ambiental e extensão universitária: conservação e preservação dos recursos naturais da comunidade de Mundaú-Trairi/Ceará.** Meio Ambiente, v.3, n.1, 2013.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.M.; HERMANY, G.; BES, D.; WETZEL, CA.; OLIVEIRA, MA. **Use of epilithic diatoms as bioindicators from lotic systems in southern Brazil, with special emphasis on eutrophication.** Acta Limnol. Bras. v.16, p.25-40, 2004.

NORTON, T.A. *et al.* **Algal biodiversity.** Phycologia, n.35, p.308–326, 1996.

NOVAK, J. **Desenvolvimento De Games.** Cengage do Brasil, 2010.

PAVAN, O.H.O. *et al.* **Evoluindo genética: um jogo educativo.** Campinas: Unicamp, 1998.

PEREZ, H. Biodiesel de microalgas. Parte I. Instituto de Pesquisas Energéticas e nucleares–IPEN. São Paulo, p. 1-19, 2007.

PULZ, O.; GROSS, W. **Valuable products from biotechnology of microalgae.** Applied Microbiology Biotechnology, v.65, p.635-648, 2004.

RAVEN, P.H. *et al.* **Biologia vegetal.** 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 906, 2001.

RODOLFI L.; ZITELLI, G. C.; BASSI N.; PADOVANI, G.; BIONDI, N.; BONINI, G.; TREDICI, M. R. **Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low cost photobioreactor**. Biotechnol. Bioeng. Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Università degli Studi di Firenze, v. 102, p. 100-112., 2009.

SILVA, J.F. **Educação ambiental no ensino fundamental: ensinar a conhecer “microalgas” para preservação dos corpos d’água**. Revista Ambiente & Educação, v. 23, n. 3, p. 267- 280, 2018.

UNESCO-UNEP. **International strategy for action in the field of environmental education and training for the 1990s**. Paris: UNESCO e Nairobi, 1987.

UNITY3D. **Plataforma de desenvolvimento em tempo real do Unity – Visualizações 3d, 2d VR e AR**. 2020. <https://unity.com/pt> (Acessado em janeiro de 2021).

APÊNDICE B - Cartas

CARTAS: ZONA LIMNÉTICA

Como as plantas, as microalgas são autotróficas, ou seja, produzem seu próprio alimento através da fotossíntese. (V)

Como as plantas, as microalgas apresentam clorofila a. (V)

Como as plantas, as microalgas produzem gás oxigênio através da fotossíntese. (V)

Como as plantas, as microalgas apresentam tecidos. (F)

As microalgas podem viver em ambientes terrestres úmidos e aquáticos de água doce ou salgada. (V)

Como as plantas, as microalgas não necessitam da luz para a fotossíntese. (F)

As algas são os principais produtores de oxigênio na terra. (V)

A região limnética dos lagos é a mais próxima do ambiente terrestre. (F)

Na região limnética dos lagos podemos encontrar bactérias, algas, zooplâncton e peixes. (V)

É na região limnética que encontramos mais plantas aquáticas. (F)

Grande parte da fotossíntese realizada na região limnética é feita por algas e não por plantas. (V)

Nem todos os ambientes aquáticos apresentam a região limnética. (F)

Apenas os organismos que flutuam e nadam conseguem permanecer por muito tempo na região limnética. (V)

Algumas cianobactérias apresentam estruturas cheias de ar (chamadas “aerótopos”) que ajudam elas flutuarem na água. (V)

A carapaça de sílica das diatomáceas deixam elas muito pesadas para se manterem na região limnética. (V)

Algumas cianobactérias e algas verdes produzem uma camada gelatinosa (chamada de “mucilagem”), que ajudam na flutuação. (V)

Os flagelos presentes nos dinoflagelados e nas euglenas são fundamentais para a locomoção e permanência na zona limnética. (V)

<p>ZONA LIMNÉTICA</p>	<p>Como as plantas, as microalgas são autotróficas, ou seja, produzem seu próprio alimento através da fotossíntese. (V)</p>	<p>Como as plantas, as microalgas apresentam clorofila a. (V)</p>	<p>Como as plantas, as microalgas produzem gás oxigênio através da fotossíntese. (V)</p>
<p>Como as plantas, as microalgas apresentam tecidos. (F)</p>	<p>As microalgas podem viver em ambientes terrestres úmidos e aquáticos de água doce ou salgada. (V)</p>	<p>Como as plantas, as microalgas não necessitam da luz para a fotossíntese. (F)</p>	<p>As algas são os principais produtores de oxigênio na terra. (V)</p>

<i>A região limnética dos lagos é a mais próxima do ambiente terrestre. (F)</i>	<i>Na região limnética dos lagos podemos encontrar bactérias, algas, zooplâncton e peixes. (V)</i>	<i>É na região limnética que encontramos mais plantas aquáticas. (F)</i>	<i>Grande parte da fotossíntese realizada na região limnética é feita por algas e não por plantas. (V)</i>
<i>Nem todos os ambientes aquáticos apresentam a região limnética. (F)</i>	<i>Apenas os organismos que flutuam e nadam conseguem permanecer por muito tempo na região limnética. (V)</i>	<i>Algumas cianobactérias apresentam estruturas cheias de ar (chamadas "aerótopos") que ajudam elas flutuarem na água. (V)</i>	<i>A carapaça de sílica das diatomáceas deixam elas muito pesadas para se manterem na região limnética. (V)</i>
<i>Algumas cianobactérias e algas verdes produzem uma camada gelatinosa (chamada de "mucilagem"), que ajudam na flutuação. (V)</i>	<i>Os flagelos presentes nos dinoflagelados e nas euglenas são fundamentais para a locomoção e permanência na zona limnética. (V)</i>		

CARTAS: **ZONA POLUÍDA**

Lixo e esgoto são os principais poluentes dos ambientes aquáticos. (V)

Apenas 0,06% de toda a água existente no planeta terra está disponível para consumo humano. (V)

Em média cada pessoa usa 135 litros de água para tomar um banho de 15 minutos. (V)

O esgoto lançado nos ambientes aquáticos é principalmente proveniente dos centros urbanos. (V)

O esgoto é despejado diretamente nos rios em 81% dos municípios brasileiros. (V)

Todos os grupos de microalgas permanecem vivas em ambientes poluídos. (F)

Consumir água poluída não tem nenhum risco a saúde humana. (F)

Os organismos que mais gostam de ambientes poluídos são as cianobactérias, elas se multiplicam muito nestes ambientes formando uma camada verde na água. (V)

Poluição pode gerar eutrofização. (V)

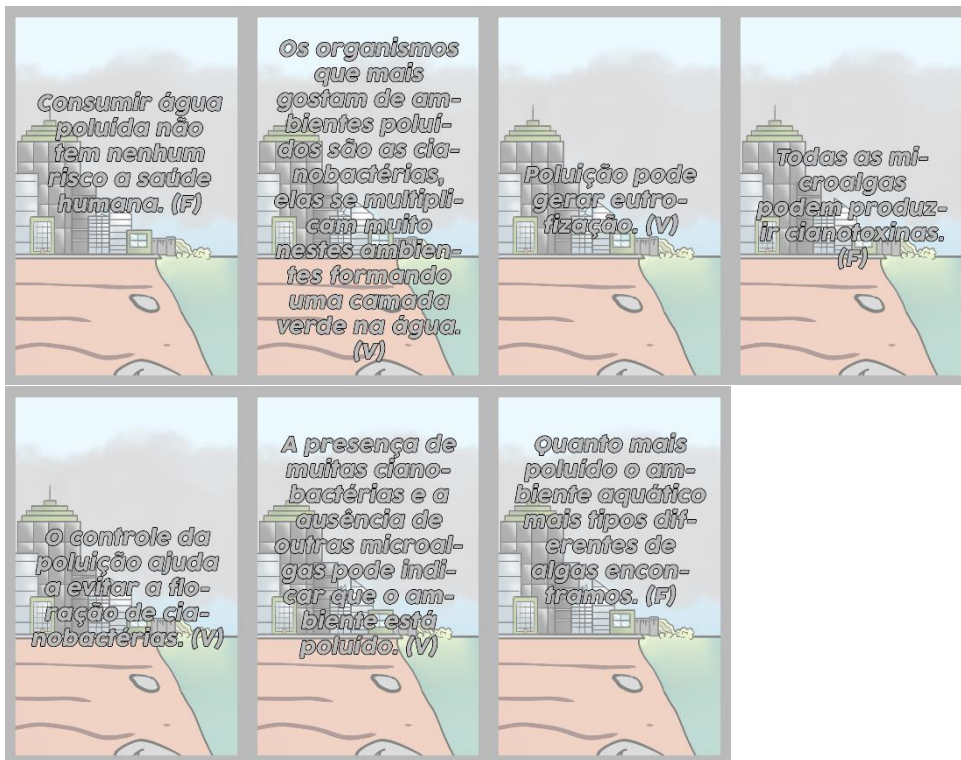
Todas as microalgas podem produzir cianotoxinas. (F)

O controle da poluição ajuda a evitar a floração de cianobactérias. (V)

A presença de muitas cianobactérias e a ausência de outras microalgas pode indicar que o ambiente está poluído. (V)

Quanto mais poluído o ambiente aquático mais tipos diferentes de algas encontramos. (F)





CARTAS: **ZONA BENTÔNICA**

A região bentônica é a região mais funda do lago, por isso muitas vezes a luz solar não chega até esta região. (V)

A região bentônica é a região mais funda do lago, por isso não existem seres vivos nesta região. (F)

Em alguns ambientes aquáticos a falta de luz na região bentônica faz com que haja muitos organismos heterotróficos. (V)

Na região bentônica podemos encontrar alguns organismos bentônicos que podem ser: vermes, protozoários, crustáceos, larvas de inseto, moluscos. (V)

As algas que apresentam flagelos podem nadar e buscar regiões onde há a presença de mais luminosidade. (V)

Na região mais funda de lagos podemos encontrar microfósseis como conchas, partes de esponjas e algas. (V)

A carapaça de sílica das diatomáceas é tão resistente que pode permanecer na região bentônica e tornar um fóssil depois de muitos anos. (V)

Todas as microalgas podem sobreviver na região bentônica. (F)

Na região bentônica é onde mais ocorre o processo de decomposição, e os organismos que vivem nessa região auxiliam nesse processo. (V)

Todas as microalgas são incapazes de viver na zona bentônica. (F)



CARTAS: ZONA LITORÂNEA

A zona litorânea do lago é aquela mais próxima da margem do lago com o ambiente terrestre. (V)

Há mais microalgas em um lago do que peixes. (V)

As diatomáceas são as únicas que apresentam flagelos que as ajudam a nadar em qualquer lugar. (F)

É na zona litorânea que encontramos maior quantidade de plantas aquáticas. (V)

As algas verdes se chamam assim porque apresentam bastante clorofila, pigmento verde que auxilia na fotossíntese. (V)

Euglenas e dinoflagelados não apresentam flagelos para locomoção. (F)

Muitas diatomáceas podem ficar grudadas nas plantas aquáticas ou qualquer material que estiver dentro da água. (V)

O famoso “limo” ou “gosma verde” (organismos perifíticos) que encontramos em cima das pedras nos rios na realidade são microalgas grudadas. (V)

Em lagos existem microalgas que flutuam e aquelas que ficam grudadas em algum material dentro da água. (V)

Na região litorânea não encontramos microalgas apenas plantas aquáticas. (F)

Entre as plantas aquáticas podemos servir de abrigo e alimento para organismos como peixes, animais do plâncton e microalgas. (V)

Todas as microalgas podem viver na zona litorânea. (V)

Todas os grupos de microalgas podem fazer parte do “limo”. (V)

O “limo” (organismos perifíticos) encontrado em rochas, galhos e plantas aquáticas só servem para as pessoas escorregarem. (F)

O “limo” (organismos perifíticos) encontrado em rochas, galhos e plantas aquáticas são fonte de alimentos para os animais aquáticos. (V)



Glossário:

Aerótopos: vesículas gasosas que ocorrem especialmente em cianobactérias planctônicas e auxiliam na sua flutuação.

Autotrófico: termo designado aos organismos que conseguem produzir seu alimento a partir de substâncias inorgânicas (ex: luz, H₂O), não necessitando, portanto, de ingerir nenhum produto ou ser vivo.

Células: unidades estruturais e funcionais de todos os seres vivos que carregam a informação genética de um determinado organismo e são capazes de transmitir essa informação no momento da divisão celular.

Colônias: agrupamento de organismos de uma mesma espécie que habita o mesmo lugar, vivendo juntos em associação mútua.

Cianotoxinas: toxinas produzidas por cianobactérias que causam efeitos adversos à saúde do homem e de alguns animais.

Decomposição: termo usado para descrever os processos em que a matéria orgânica é degradada em partículas menores e em nutrientes. Esses nutrientes são devolvidos ao meio e podem ser reaproveitados por outros organismos.

Eucariontes: são células que apresentam como característica principal a presença de um núcleo definido, ou seja, o material genético nessas células está envolvido pelo envelope nuclear. Além da presença de núcleo, elas se destacam por possuir organelas membranosas, as quais desempenham as mais variadas funções, tais como respiração celular, digestão intracelular e síntese de substâncias.

Eutrofização: é quando há uma quantidade muito grande de nutrientes na água que faz as microalgas, principalmente as cianobactérias se multiplicarem em grande quantidade em lagos e represas

Filamento: conjunto de células arranjadas linearmente, nas cianobactérias é constituído pela bainha mucilaginosa.

Fitoplâncton: constituído por microalgas do plâncton. É responsável pela base da cadeia trófica em ambientes aquáticos, por meio da fotossíntese.

Flagelo: designação dada em diversos campos da Biologia aos apêndices móveis com forma de chicote, utilizados para locomoção, presentes em muitos organismos geralmente unicelulares.

Floração de algas: proliferação acelerada, em um ambiente aquático, de microalgas, isoladas ou conjuntamente com organismos zooplantônicos.

Fotossíntese: Processo de conversão de dióxido de carbono para carbono orgânico (carboidrato) que ocorre ao nível dos cloroplastos, pela ação da energia luminosa absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes, especialmente clorofila.

Heterotrófico: termo designado aos organismos que necessitam de moléculas orgânicas retiradas de outros seres vivos para a sua nutrição. Esses organismos podem adquirir essas moléculas por meio de processos de absorção ou ingestão, como é o caso dos animais.

Lipídeos: moléculas de gordura encontrada na maioria dos organismos. Servem como reserva de energia.

Metabolia: é o conjunto de reações químicas que ocorrem no interior das células dos organismos vivos.

Microfósseis: restos de organismos microscópicos preservados por muitos anos em camadas sedimentares.

Mucilagem: camada gelatinosa que envolve células, formada por polissacarídeos excretados pelas células.

Organismos bentônicos: comunidade de organismos que vive no fundo de ambientes aquáticos.

Organismos perifíticos: comunidade de organismos aderidos a diversos tipos de substratos.

Plâncton: comunidade de organismos microscópicos, que vivem em suspensão, flutuando livremente ou com movimentos fracos, mas sem capacidade de movimentação ativa contra correntes de água.

Procarionte: organismo cujo DNA e tilacóides estão livres no citoplasma, ou seja, não possuem membrana envolvendo o núcleo e o citoplasma.

Sílica: um composto químico chamado de dióxido de silício (SiO_2), encontrado em diversos tipos de rochas (quartzo, topázio e ametista), e principalmente em carapaças de diatomáceas.

Zooplâncton: grupo de organismos que vivem dispersos na coluna d'água, com meios de locomoção limitados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta tese, buscou-se abranger os três pilares essenciais no processo de formação durante o doutoramento, que incluem a pesquisa, o ensino e a extensão. No âmbito da pesquisa foram abordados aspectos ecológicos e taxonômicos de diatomáceas perifíticas e no de ensino/extensão uma proposta de jogos didáticos sobre a importância de microalgas em corpos aquáticos.

É notório a importância dos estudos de biomonitoramento no intuito de entender as alterações ambientais de um local sejam por mudanças naturais ou geralmente causadas pelo homem. Assim, esta tese contém dados gerados a partir do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) na planície de inundação do alto rio Paraná. Com isso buscou-se reforçar a importância de pesquisas como esta, na geração de bancos de dados que suportam a busca de padrões ecológicos temporais e espaciais e de distribuição de espécies. Também, ressaltamos que mesmo utilizando métricas e atributos distintos foi possível observar a importância da utilização de dados de uma longa série temporal, para detecção de padrões tanto naturais da planície quanto os que surgiram devido a intervenção antrópica. Fica evidente que o biomonitoramento pode contribuir com informações sobre a biodiversidade e autoecologia de espécies de diatomáceas para a região.

Resultados dessa tese demonstram que a diversidade beta tem grande potencial para ser uma ferramenta útil de pesquisa em biodiversidade, melhorando nossa compreensão das causas (por meio dos processos de montagem da comunidade) e consequências (para o funcionamento do ecossistema) das mudanças na biodiversidade. Destacou-se também o papel das diatomáceas como potenciais indicadores ambientais em estudos de biomonitoramento o que gera implicações e medidas para políticas públicas em ações de manejo e conservação da planície. Buscou-se resgatar a necessidade de trabalhos de levantamento e revisão taxonômica, uma vez que novas espécies ainda estão sendo descritas e registradas o que garante uma grande biodiversidade a ser exploradas nos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná.

Por fim, foram propostos jogos didáticos, no intuito de resgatar a importância do processo de pesquisa, ensino e extensão. É importante ressaltar que para os futuros

profissionais, principalmente àqueles que estudam a ciência da vida (ciências biológicas), a integração com a sociedade sustenta melhores perspectivas para elaboração e manutenção de projetos socioambientais. Dessa forma, a educação ambiental no cenário atual se torna muito mais importante tendo em vista o direcionamento das questões políticas no contexto ambiental. Diversos desastres ambientais relatados pelos meios de comunicações revelam a importância da perpetuação de projetos de educação ambiental, principalmente destinados aos futuros agentes promissores de mudanças: crianças e adolescentes.

APÊNDICE C -. Tabela S1. Lista de espécies de diatomáceas encontradas em amostras perifíticas do lago das Garças na planície de inundação do alto rio Paraná, além da abundância relativa de cada espécie e seus respectivos traços e categorias funcionais utilizadas no trabalho. Traços funcionais: Forma de aderência - FA (FO - frouxamente aderido, FI - firmemente aderido); Tipo de aderência - IA (NA - não aderida, ER - ereta, PR - prostrada, PD - pedúnculo, TU - tubo de mucilagem); Forma de vida - FV (CO - colonial, SO - solitária); Guildas ecológicas (HG - *high profile*, LW - *low profile*, MT - *motile*).

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow	■	■	LW	FI	ER	SO
<i>Achnanthes</i> sp. 1	■		LW	FI	ER	SO
<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Achnantheidium</i> sp. 1	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Achnantheidium</i> sp. 2	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Achnantheidium</i> sp. 3	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Achnantheidium tropicocatenatum</i> Marquardt, Wetzel & Ector	■		LW	FI	PR	SO
<i>Actinella hermes-moreirae</i> Ruwer, Ludwig & Rodrigues	■		LW	FI	ER	SO
<i>Amphipleura lindheimeri</i> (Grunow) Cleve	■	■	HG	FO	TB	SO
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & Archibald	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	■	■	HG	FO	NA	CO
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	■	■	HG	FO	NA	CO
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustissima</i> (O.Müller) Simonsen	■	■	HG	FO	NA	CO
<i>Bacillariophyceae</i> 1	■		LW	FO	NA	SO
<i>Bacillariophyceae</i> 2	■		LW	FO	NA	SO
<i>Bacillariophyceae</i> 3		■	LW	FO	NA	SO
<i>Bacillariophyceae</i> 4	■		LW	FO	NA	SO
<i>Bacillariophyceae</i> 5	■	■	LW	FO	NA	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Bacillariophyceae 6</i>	██████████		LW	FO	NA	SO
<i>Bacillariophyceae 7</i>	██████████		LW	FO	NA	SO
<i>Bacillariophyceae 8</i>	██████	████	LW	FO	NA	SO
<i>Brachysira microcephala</i> (Grunow) Compère	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Brachysira neoexilis</i> Lange-Bertalot	████	██████	MT	FO	NA	SO
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Caloneis ventricosa</i> var. <i>minuta</i> (Grunow) R.M.Patrick	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Capartogramma crucicula</i> (Grunow) R.Ross	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Cocconeis</i> cf. <i>neothumensis</i> Krammer	██████	████	LW	FI	PR	SO
<i>Cocconeis fluviatilis</i> J.H.Wallace	█	██████	LW	FI	PR	SO
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	████	████	LW	FI	PR	SO
<i>Craticula ambigua</i> (Ehrenberg) Mann		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Craticula</i> cf. <i>cuspidata</i> (Kützing) D.G.Mann	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Craticula perrotettii</i> Grunow	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Craticula</i> sp. 1	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Craticula</i> sp. 2		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	██████████	█	LW	FO	NA	SO
<i>Cymbella loescheriae</i> Garcia & Dutra	████	████	LW	FI	PD	SO
<i>Cymbella tropica</i> Krammer	████	████	LW	FI	PD	SO
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	██████████		LW	FI	PD	SO
<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing	██████	████	HG	FO	NA	CO
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	█	██████	LW	FO	NA	SO
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	██████	████	LW	FO	NA	SO
<i>Encyonema exuberans</i> Tremarin, Wetzel & Ludwig		██████████	HG	FO	TB	CO
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) Mann	██████████		HG	FO	TB	CO
<i>Encyonema neogracile</i> Krammer	██████	████	HG	FO	TB	CO
<i>Encyonema neomesianum</i> Krammer	██████	████	HG	FI	PD	SO
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) Mann	██████████		HG	FO	TB	CO
<i>Encyonema</i> sp. 1	████	████	HG	FO	TB	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Encyonema</i> sp. 2	██████████		HG	FO	TB	SO
<i>Encyonema</i> sp. 3	██████████		HG	FO	TB	SO
<i>Encyonema</i> sp. 4	█	██████████	HG	FO	TB	SO
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Eunotia botuliformis</i> Wild, Nörpel & Lange-Bertalot	██████████	█	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia bidens</i> Ehrenberg	██████████		HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia flexuosa</i> (Brébisson ex Kützing) Kützing		██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	██████████	█	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia deficiens</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	██████████	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia desmogonioides</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████		HG	FO	NA	CO
<i>Eunotia didyma</i> Grunow ex Zimmermann	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg	██████████	█	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia incisa</i> Smith ex Gregory	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia karenae</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████	█	HG	FO	NA	CO
<i>Eunotia longicamelus</i> Costa, Bicudo & Wetzel	██████████	█	HG	FO	NA	CO
<i>Eunotia longicollis</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████	██████████	HG	FO	NA	CO
<i>Eunotia major</i> (W.Smith) Rabenhorst	██████████	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia mesiana</i> Cholnoky	██████████	█	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia naegelli</i> Migula	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia neomundana</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia pseudosudetica</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia rabenhorstiana</i> var. <i>elongata</i> (R.M.Patrick) Metzeltin & Lange-Bertalot	█	██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia transfuga</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████	█	HG	FO	NA	CO
<i>Eunotia trigibba</i> Hustedt	██████████		HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia ursulae</i> Costa, Wetzel & Lange-Bertalot	██████████		HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia yanomani</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████		HG	FI	ER	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Eunotia yberae</i> Frenguelli			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 1			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 2			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 3			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 4			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 5			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 6			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 7			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 8			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 9			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 10			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 11			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 12			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 13			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 14			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 15			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 16			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 17			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 18			HG	FI	ER	SO
<i>Eunotia</i> sp. 19			HG	FI	ER	SO
<i>Fragilariforma</i> sp. 1			HG	FO	NA	CO
<i>Fragilaria bilingsii</i> Wengrat, Wetzel & Morales			HG	FO	NA	SO
<i>Fragilaria</i> cf. <i>delicatissima</i> (W.Smith) Aboal & Silva			HG	FO	NA	CO
<i>Fragilaria fragilarioides</i> (Grunow) Chohnoky			HG	FO	NA	SO
<i>Fragilaria longifusiformis</i> (Hains & Sebring) Siver et al.			HG	FO	NA	SO
<i>Fragilaria perminuta</i> (Grunow) Lange-Bertalot			HG	FO	NA	SO
<i>Fragilaria</i> sp. 1			HG	FO	NA	CO
<i>Fragilaria</i> sp. 2			HG	FO	NA	CO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Fragilaria tenera</i> (W.Smith) Lange-Bertalot 1	■	■	HG	FO	NA	CO
<i>Frustulia crassinervea</i> (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhors	■	■	HG	FO	TB	SO
<i>Geissleria</i> sp. 1	■		LW	FO	NA	SO
<i>Geissleria</i> sp. 2		■	LW	FO	NA	SO
<i>Geissleria</i> sp. 3	■	■	LW	FO	NA	SO
<i>Gomphonema</i> aff. <i>Butantanum</i> Krasske	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema affine</i> var. <i>affine</i> Kützing	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema brasiliense</i> Grunow	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema brasiliense</i> ssp. <i>pacifum</i> Moser	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema brasiliense</i> var. <i>metzeltini</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> cf. <i>archaeovibrio</i> E. Reichardt	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> cf. <i>garciae</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> cf. <i>guaraniarum</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> cf. <i>naviculoides</i> W. Smith	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema costei</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema gracile</i> (complexo) Ehrenberg	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema laticollum</i> E. Reichardt	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema mexicanum</i> Grunow	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema neoapiculatum</i> Lange-Bertalot, E.Reichardt & Metzeltin	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema neonasutum</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema salae</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema subtile</i> Ehrenberg	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema turris</i> var. <i>coarctata</i> (Frenguelli) Frenguelli	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 1		■	HG	FI	PD	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Gomphonema</i> sp. 2	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 3	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 4	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 5		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 6	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 7	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 8		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 9		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 10		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 11		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 12		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 13	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 14	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 15	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 16		■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 17	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 18	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 19	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 20	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 21	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 22	■		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 23	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 24	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 25	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 26	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 27	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 28	■	■	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 29	■	■	HG	FI	PD	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Gomphonema</i> sp. 30	██████	██	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 31		██████████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 32	██████	██████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 33	██████	██████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 34	██████████	██	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 35	████	██████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 36	██████████		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 37		██████████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 38	██████████		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 39	██	██████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 40	██████████		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 41	██████	██████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 42	█	██████████	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 43	██████████		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 44	██████████		HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 45	██████	██	HG	FI	PD	SO
<i>Gomphonema</i> sp. 46	██████	██	HG	FI	PD	SO
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Hippodonta avittata</i> (Cholnoky) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Hippodonta</i> sp. 1	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Humidophyla contenta</i> (Grunow) Lowe et al.	████	██████	HG	FO	NA	CO
<i>Kurtkammeria frequentis</i> (Krammer) Bahls	██████	██████	HG	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> cf. <i>kotschyi</i> (Grunow) J.C.Taylor, W.R.Harding & C.G.M.Archibald	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> cf. <i>muticoides</i> (Hustedt) Mann	██████	██████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> cf. <i>simplex</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	████	██████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) Mann ex J.Rarick, Wu, Lee & Edlund	██████████	██	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola mutica</i> var. <i>lanceolata</i> Frenguelli		██████████	MT	FO	NA	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Luticola</i> sp. 1	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 2	████	██████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 3	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 4		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 5	██████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 6	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 7	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 8	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 9		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 10	██████████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Luticola</i> sp. 11		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Mayamaeae</i> sp. 1	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützinger	██████████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	██████████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula germanii</i> Wallace	████	██████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula notha</i> Wallace	██████████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula rostellata</i> Kützinger	██████████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula</i> sp. 1	██████	██████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula</i> sp. 2	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Navicula</i> sp. 3	██████████	████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula</i> sp. 4		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Navicula</i> sp. 5	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Navicula</i> sp. 6	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Navicula symmetrica</i> Patrick	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Navicula veneta</i> Kützinger	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfitzer	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Neidium gracile</i> var. <i>aequale</i> Hustedt		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Neidium</i> sp. 1	██████████		MT	FO	NA	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia</i> cf. <i>amplectens</i> Hustedt			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia</i> cf. <i>bryophila</i> (Hustedt) Hustedt			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia lorenziana</i> var. <i>subtilis</i> Grunow			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>debilis</i> (Kützing) Grunow			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>palea</i> (Kützing) W.Smith			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia subacicularis</i> Hustedt			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia perminuta</i>			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia</i> sp. 1			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia</i> sp. 2			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia</i> sp. 3			MT	FI	PR	SO
<i>Nitzschia</i> sp. 4			MT	FI	PR	SO
<i>Nupela wellneri</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 1			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 2			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 3			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 4			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 5			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 6			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 7			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 8			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 9			MT	FO	NA	SO
<i>Nupela</i> sp. 10			MT	FO	NA	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> Smith	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia brauniana</i> (Grunow) Studnicka		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> cf. <i>gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	██████████	██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> cf. <i>hudsonii</i>	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> cf. <i>certa</i> Krammer & Metzeltin	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> cf. <i>decrescens</i> var. <i>ignorata</i> Krammer	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia divergens</i> var. <i>media</i> Krammer	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia hyalina</i> Hustedt	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia meridiana</i> var. <i>concava</i> Metzeltin & Krammer	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia nobilis</i> var. <i>regularis</i> Krammer	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia tabellaria</i> Ehrenberg	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 1	██████████	██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 2	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 3	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 4		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 5	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 6	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 7	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 8		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 9	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 10	█	██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 11		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 12	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 13	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Pinnularia</i> sp. 14	██████████		LW	FO	NA	SO
<i>Placoneis</i> cf. <i>densa</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	██████████		LW	FO	NA	SO
<i>Placoneis exigua</i> (Gregory) Mereschkovsky	██████████	██████████	LW	FO	NA	SO
<i>Placoneis ovilus</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez	██████████		LW	FO	NA	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Placoneis</i> sp. 1	■	■	LW	FO	NA	SO
<i>Placoneis</i> sp. 2	■		LW	FO	NA	SO
<i>Placoneis</i> sp. 3	■		LW	FO	NA	SO
<i>Placoneis</i> sp. 4	■	■	LW	FO	NA	SO
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Planothidium incuriatum</i> C.E.Wetzel, B.van de Vijver & L.Ector	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Planothidium rostratoholarcticum</i> Lange-Bertalot & Bak	■	■	LW	FI	PR	SO
<i>Planothidium</i> sp. 1	■		LW	FI	PR	SO
<i>Planothidium</i> sp. 2	■		MT	FI	PR	SO
<i>Pseudostaurosira</i> cf. <i>clavatum</i> E.A.Morales	■	■	MT	FO	NA	CO
<i>Punctastriata lancettula</i> (Schumann) P.B.Hamilton & Siver	■		MT	FO	NA	CO
<i>Rhopalodia gibberula</i> var. <i>vanheurckii</i> (Ehrenberg) Müller	■	■	MT	FI	PR	SO
<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel & Van de Vijver	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> cf. <i>arvensis</i> (Hustedt) C.E.Wetzel & L.Ector	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora densistriata</i> (Lange-Bertalot & Metzeltin) Lange-Bertalot & Metzeltin	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora mutatooides</i> Lange-Bertalot & Metzeltin in Metzeltin & Lange-Bertalot	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) Wetzel & Ector	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora rectangularis</i> (W.Gregory) Lange-Bertalot & Metzeltin	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora sassiana</i> (Metzeltin & Lange-Bertalot) Wetzel	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E.Wetzel & D.G.Mann	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 1		■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 2	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 3	■		MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 4	■		MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 5	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 6	■		MT	FO	NA	SO
<i>Sellaphora</i> sp. 7	■	■	MT	FO	NA	SO
<i>Stauroneis</i> cf. <i>costaricana</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	■		MT	FO	NA	SO

Táxons	Abundância relativa		Guildas ecológicas	IA	FA	FV
	Cheia	Seca				
<i>Stauroneis</i> cf. <i>phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Stauroneis</i> sp. 1	██████████		HG	FO	NA	SO
<i>Staurosira</i> cf. <i>microstriata</i> (Marciniak) Lange-Bertalot		██████████	HG	FO	NA	CO
<i>Staurosira</i> <i>construens</i> Ehrenberg	██████	██████	HG	FO	NA	CO
<i>Staurosira</i> sp. 1	██████████		HG	FO	NA	CO
<i>Staurosira</i> sp. 2	██████████		HG	FO	NA	CO
<i>Staurosira</i> sp. 3		██████████	HG	FO	NA	CO
<i>Staurosira</i> sp. 4	██████████		HG	FO	NA	CO
<i>Staurosirella</i> cf. <i>martyi</i> (Héribaud) E.A.Morales & K.M.Manoylov	██████████		HG	FO	NA	CO
<i>Staurosirella</i> cf. <i>subcapitata</i> (Frenguelli) E.A.Morales	██████████		HG	FO	NA	CO
<i>Staurosirella</i> <i>crassa</i> (Metzeltin & Lange-Bertalot) Ribeiro & Torgan	██████	██████	HG	FO	NA	CO
<i>Staurosirella</i> <i>paranaensis</i> sp.nov.	██████	██████	MT	FO	NA	CO
<i>Stenopterobia</i> <i>curvula</i> (W.Smith) Krammer		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Stenopterobia</i> <i>delicatissima</i> (F.W.Lewis) Brébisson ex Van Heurck	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Stenopterobia</i> <i>planctonica</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Surirella</i> cf. <i>linearis</i> W.Smith	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Surirella</i> sp. 1	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Surirella</i> sp. 2	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Surirella</i> sp. 3	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Surirella</i> <i>splendida</i> (Ehrenberg) Kützing		██████████	MT	FO	NA	SO
<i>Surirella</i> <i>tenera</i> W.Gregory	██████	██████	HG	FO	NA	SO
<i>Synedra</i> <i>goulardii</i> Brébisson ex Cleve & Grunow	██████████	██████	MT	FI	ER	SO
<i>Tryblionella</i> <i>debilis</i> Arnott ex O'Meara	██████████	█	MT	FO	NA	SO
<i>Tryblionella</i> <i>hungarica</i> (Grunow) Frenguelli	██████████		MT	FO	NA	SO
<i>Tryblionella</i> <i>victoriae</i> Grunow	██████	██████	HG	FO	NA	SO
<i>Ulnaria</i> <i>ferefusiformis</i> M.Kulikovskiy & H.Lange-Bertalot		██████████	HG	FI	ER	SO
<i>Ulnaria</i> <i>pilum</i> M.Kulikovskiy & H.Lange-Bertalot	██████████	█	HG	FI	ER	SO
<i>Ulnaria</i> <i>ulna</i> (Nitzsch) Compère	██████████	█	HG	FI	ER	SO

ANEXO A - Artigos de pesquisa publicados durante o período de desenvolvimento do doutorado que contribuíram para a execução desta tese

1. **Osório, N. C.**; Rodrigues, L. Upper Paraná River Floodplain: Synthesizing knowledge over time. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.33, p.e103, 2021.
2. Ruwer, D. T., **Osório, N. C.**; Costa-Böddeker, S.; Rodrigues, L. Influence of temporal changes on a diatom species in a floodplain lake: paleolimnological and biomonitoring approach. *Diatom Research*, 2021.
3. **Osório, N. C.**; Ector, L.; Rodrigues, L.; Wetzel, C.E. *Staurosirella paranaensis* sp. nov., a new epiphytic freshwater diatom (Bacillariophyceae) from the Paraná River floodplain, Brazil, South America. *Phytotaxa*, v.480, p.163-173, 2020.
4. **Osório, N. C.**; Ribeiro, E. C.; Tramonte, R. P.; Mormul, R. P.; Rodrigues, L. Habitat complexity drives the turnover and nestedness patterns in a periphytic algae community. *Limnology*, v.20, p.10, 2019.
5. **Osório, N. C.**; Polinario, A. M.; Dunck, B.; Montoya, K. L. A.; Carapunarla, L.; Junqueira, M. G.; Rodrigues, L. Periphytic *Cosmarium* (Zygnematophyceae, Desmidiaceae) in lentic environments of the Upper Paraná River floodplain: Taxonomy and ecological aspects. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.30, p.e203, 2018.
6. Tramonte, R. P.; **Osório, N. C.**; Ragonha, F. H.; Pinha, G.; Rodrigues, L.; Mormul, R. P. Periphyton consumption by an invasive snail species is greater in simplified than in complex habitats. *Canadian Journal of Zoology*, v.97, p.13-21, 2018.
7. Bichoff, A.; **Osório, N. C.**; Ruwer, D. T.; Dunck, B.; Rodrigues, L. Trait structure and functional diversity of periphytic algae in a floodplain conservation area. *Brazilian Journal of Botany*, p. 1-10, 2018.
8. **Osório, N. C.**; Tremarin, P. I.; Ludwig, T. V.; Rodrigues, L. *Gomphonema* Ehrenberg (Bacillariophyceae) in a lotic environment of the Upper Paraná River floodplain Brazil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v.39, p135, 2017.
9. Algarte, V. M.; Siqueira, N. S.; Ruwer, D. T.; **Osório, N. C.**; Rodrigues, L. Richness of periphytic algae and its relationship with hydrological attributes. *Brazilian Journal of Botany*, v. 40, p. 1-6, 2017.

10. Bichoff, A.; **Osório, N. C.**; Ruwer, D. T.; Montoya, K. L. A.; Dunck, B.; Rodrigues, L. Influence of tributaries on the periphytic diatom community in a floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 29, p. 1-9, 2017.