



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

ANDRÉ LUIZ ALVES PEREIRA

**Contribuição local da diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton
em um reservatório neotropical e suas relações com a heterogeneidade ambiental**

Goiânia, GO
DEZEMBRO / 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

André Luiz Alves Pereira

3. Título do trabalho

Contribuição local da diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton em um reservatório neotropical e suas relações com a heterogeneidade ambiental

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Jascieli Carla Bortolini, Professora do Magistério Superior**, em 12/01/2024, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Luiz Alves Pereira, Discente**, em 12/01/2024, às 20:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4311612** e o código CRC **E29397A9**.

Referência: Processo nº 23070.067809/2023-98

SEI nº 4311612



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

ANDRÉ LUIZ ALVES PEREIRA

Contribuição local da diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton em um reservatório neotropical e suas relações com a heterogeneidade ambiental

Área de Concentração: Ecologia e Evolução

Linha de Pesquisa: Limnologia

Orientadora: Profa. Dra. Jascieli Carla Bortolini

Goiânia, GO
DEZEMBRO / 2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Pereira, André Luiz Alves

Contribuição local da diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton em um reservatório neotropical e suas relações com a heterogeneidade ambiental [manuscrito] / André Luiz Alves Pereira. - 2024.

XXXIII, 33 f.

Orientador: Prof. . Jascieli Carla Bortolini.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Goiânia, 2024.

1. algas planctônicas. 2. ambientes aquáticos continentais. 3. diversidade. 4. lcbd. I. Bortolini, . Jascieli Carla , orient. II. Título.

CDU 574



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **210** da sessão de Defesa de Dissertação de **André Luiz Alves Pereira**, que confere o título de Mestre em **Ecologia e Evolução**, na área de concentração em **Ecologia e Evolução**.

Aos **quatro dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e três (04/12/2023)**, a partir das **09h00**, por **vídeo conferência**, seguindo Resolução CONSUNI/UFG Nº 141 de 13 de maio de 2022 e orientações do Ofício Circular no. 34/2022/PRPG/UFG (SEI 23070.030951/2022-07), realizou-se a sessão pública de defesa de dissertação de mestrado intitulada **“Contribuição local da diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton em um reservatório neotropical e suas relações com a heterogeneidade ambiental”**. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, **Profa. Dra. Jascieli Carla Bortolini (DEBOT/ICB/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Profa. Dra. Priscilla de Carvalho (DECOL/ICB/UFG)** e **Profa. Dra. Karine Borges Machado (RENAC/UEG)**. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato aprovado pelos seus membros. Proclamados os resultados pela **Profa. Dra. Jascieli Carla Bortolini**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) **quatro dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e três (04/12/2023)**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 04/12/2023, às 10:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jascieli Carla Bortolini, Professora do Magistério Superior**, em 04/12/2023, às 10:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **KARINE BORGES MACHADO, Usuário Externo**, em 04/12/2023, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4229035** e o código CRC **E693F9AC**.

04/12/2023, 10:52

SEI/UFG - 4229035 - Ata de Defesa de Dissertação

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer aos meus pais e a minha avó, Izabel Alves Cordeiro Pereira, José Pereira Filho e Ivanildes Alves Cordeiro, por todo apoio e incentivo. Quero agradecer também a minha companheira de longa data Kássia Lorrany Marques de Paula, por sempre me apoiar, me mostrar o lado bom do mundo e tornar a minha vida mais leve.

Agradeço também o PPG Ecoevol por me permitir continuar trabalhando na área da pesquisa. Gostaria de agradecer a CAPES por todo o financiamento mediante a bolsa, permitindo que eu tivesse uma dedicação exclusiva ao meu projeto. Quero agradecer também a minha orientadora Dra. Jascieli Carla Bortolini por toda a paciência e carinho que teve comigo.

Quero agradecer também aos meus amigos, aos meus companheiros de jornada, que ao longo desses dois anos contribuíram de alguma forma para que eu pudesse chegar até aqui.

Por fim, gostaria de agradecer a Companhia de Saneamento de Goiás por todo apoio prestado, que possibilitou a realização dessa dissertação.

Sumário	
Resumo geral.....	8
General Abstract	9
Apresentação.....	10
Introdução	11
Métodos.....	13
Área de estudo e locais de amostragem	13
Amostragem e análise das amostras.....	14
Análises de dados.....	15
Resultados	16
Descrição taxonômica e funcional da comunidade fitoplanctônica.....	16
LCBD's taxonômico e funcional	18
Heterogeneidade ambiental no reservatório.....	21
Discussão	25
Literatura Citada	26

Resumo geral

Os ambientes aquáticos estão entre os ambientes mais diversos do planeta Terra, além disso, esses ambientes sofrem com intensas pressões antrópicas, que acabam interferindo nas comunidades e no funcionamento do ambiente. Para realizar o particionamento da diversidade beta, vários métodos foram desenvolvidos, como por exemplo o LCBD (Local Contribution to Beta Diversity), que permite calcular a contribuição de diferentes locais para a diversidade beta, e assim indicar lugares importantes para a conservação e preservação. Assim, nós utilizamos dados do fitoplâncton de um reservatório tropical e analisamos a diversidade beta taxonômica e funcional contemplando períodos de chuva e seca. Foi possível verificar que locais ambientalmente diferenciados contribuíram mais para o LCBD ao longo do reservatório, e que o LCBD taxonômico e funcional foi pouco relacionado com a heterogeneidade ambiental do reservatório. Embora a heterogeneidade ambiental foi pouco relacionada com a diversidade beta taxonômica e funcional, os fatores ambientais contribuíram para a estruturação da comunidade fitoplanctônica, já que o local que obteve os maiores valores de LCBD em grande parte do estudo, era ambientalmente mais singular que os demais.

Palavras chave: algas planctônicas; ambientes aquáticos continentais; diversidade; lcbd.

General Abstract

Aquatic environments are among the most diverse environments on planet Earth, in addition, these environments suffer from intense anthropogenic pressures, which end up interfering with communities and the functioning of the environment. To partition beta diversity, several methods have been developed, such as LCBD (Local Contribution to Beta Diversity), which allows calculating the contribution of different locations to beta diversity, and thus indicating important places for conservation and preservation. Therefore, we used phytoplankton data from a tropical reservoir and analyzed taxonomic and functional beta diversity considering periods of rain and drought. It was possible to verify that environmentally differentiated locations contributed more to the LCBD throughout the reservoir, and that the taxonomic and functional LCBD was little related to the environmental heterogeneity of the reservoir. Although environmental heterogeneity was little related to taxonomic and functional beta diversity, environmental factors contributed to the structuring of the phytoplankton community, since the site that obtained the highest LCBD values in much of the study, was environmentally more unique than the others.

Keywords: planktonic algae; continental aquatic environments; diversity; lcbd.

Apresentação

Os ecossistemas aquáticos continentais possuem diferentes ambientes, como os rios, lagoas, reservatórios, riachos, esses diferentes ambientes possuem dinâmicas diferentes em relação ao transporte de nutrientes, a produtividade primária, além disso, esses ambientes aquáticos possuem uma elevada diversidade de espécies. Diversas métricas para mensurar a diversidade já foram propostas, como o índice de Shannon, Simpson, além do mais, medidas que avaliam como as espécies variam ao longo de diferentes lugares auxiliam na tomada de decisão para a conservação de determinados ambientes.

Os ambientes aquáticos estão sofrendo com as pressões antrópicas, que acabam modificando esses ambientes, afetando assim a produtividade, o transporte de nutrientes, a qualidade da água, ocasionando a perda de espécies, a perda de serviços ecossistêmicos. Os reservatórios são ambientes que estão sob fortes pressões de origem antrópicas, além disso os reservatórios possuem diversas utilidades, como o abastecimento público, o lazer. Os reservatórios possuem uma elevada heterogeneidade ambiental ao longo do gradiente rio-reservatório, abrangendo assim diferentes nichos.

O fitoplâncton é um componente importante nos ambientes aquáticos que possui uma elevada diversidade taxonômica, além disso, as mudanças ambientais acabam afetando esses organismos, já que eles apresentam diferentes níveis de tolerâncias. Além da grande diversidade taxonômica, o fitoplâncton possui uma elevada diversidade funcional, abrangendo desde de grupos de acordo com a sua morfologia até aos seus níveis de tolerâncias, ecologia.

Para entender como a heterogeneidade ambiental em um reservatório afeta a comunidade fitoplanctônica em diferentes locais, utilizamos o índice LCBD (Local Contribution to Beta Diversity ou Contribuição Local para a Diversidade Beta) para avaliar quais locais mais contribuem para a diversidade beta ao longo do reservatório, utilizando tanto os dados taxonômicos, quanto os dados funcionais abrangendo ambos ciclos hidrológicos.

Por fim, o local ambientalmente mais heterogêneo apresentou os maiores valores de LCBD em ambos os períodos hidrológicos e para os dados taxonômicos e funcionais, assim concluímos que as condições ambientais foram os fatores mais importantes na estruturação das comunidades fitoplanctônicas ao longo do reservatório.

Introdução

Os ambientes aquáticos estão entre os mais diversos do planeta Terra (Geist, 2011). No entanto, estes ambientes sofrem com pressões de origem antrópica, que geram mudanças no seu funcionamento e tornam as comunidades menos diversas e menos produtivas, ocasionando reduções vertiginosas da estabilidade e da produtividade desses ecossistemas (Meybeck, 2004; Cardinale et al., 2012). A diversidade beta, que é conceitualmente entendida como a variação na composição de espécies entre locais dentro de uma área geográfica conhecida (Whittaker, 1960), e que possui alguns impulsionadores como a variabilidade e heterogeneidade ambiental, a produtividade e a conectividade ambiental (Zorzal-Almeida et al., 2017), pode ser uma importante medida para avaliar a integridade dos ecossistemas aquáticos em decorrência desses cenários, bem como avaliar a contribuição das espécies únicas para a biodiversidade.

A diversidade beta interage com os gradientes de diversidade alfa, e ambos os componentes resultam da montagem da comunidade por meio de filtros locais e regionais, e, assim, pode capturar a dinâmica dos padrões de biodiversidade melhor do que medidas de diversidade alfa isoladamente (Soininen et al., 2018). Nos últimos anos, várias formas e métodos para particionar a diversidade beta total têm sido propostos (ex. Baselga, 2010, 2012; Anderson et al., 2011; Podani & Schmera, 2011; Carvalho et al., 2013). Um desses índices é o LCBD (Local Contribution to Beta Diversity ou Contribuição Local para a Diversidade Beta), proposto por Legendre & De Cáceres (2013), e que pode ser utilizado para calcular a contribuição de cada local para a diversidade beta, e assim, os valores de LCBD podem ser indicadores comparativos de exclusividade do local. Assim, maiores valores de LCBD indicam locais que possuem composições de espécies fortemente diferentes e que contribuem mais para a diversidade beta total.

A aplicação do LCBD tem sido uma ferramenta importante na avaliação da composição única de diferentes locais e tem gerado resultados interessantes sobre a biodiversidade e seus direcionadores (Castro et al., 2019; Hill et al., 2021; Moura et al., 2022). Por exemplo, aplicando o LCBD em riachos preservados e utilizando como modelo os insetos e diatomáceas perifíticas, Castro et al. (2019) não obtiveram um nítido padrão no espaço dentro dos riachos, onde encontraram valores baixos de LCBD tanto para as diatomáceas quanto para os insetos, porém, encontraram uma relação entre a heterogeneidade ambiental e o LCBD, onde os riachos que eram mais heterogêneos apresentavam comunidades mais exclusivas.

Dentre os ecossistemas aquáticos com alta pressão antrópica estão os reservatórios, que além de serem utilizados para o armazenamento de água, também têm diversos outros usos, tais como produção hidrelétrica, navegação, lazer, abastecimento público e irrigação (Tundisi, 2018). Esses ambientes aquáticos artificiais exibem uma elevada heterogeneidade espacial e uma grande

variabilidade temporal, e com isso, os nichos ecológicos das espécies são afetados, influenciando a distribuição da diversidade e abundância (Dantas et al., 2008). A heterogeneidade ambiental nesses ecossistemas, por exemplo, é resultado do gradiente longitudinal de condições ambientais (e.g. locais com diferenças de velocidade de fluxo, turbidez, nutrientes) criado no eixo sentido rio-reservatório, e assim, as condições abióticas (fatores físicos, químicos e biológicos) são refletidas em várias funções ecossistêmicas (e.g. produtividade) bem como na estruturação das comunidades (Tundisi, 2018). Portanto, estudos que medem a contribuição local das espécies para a diversidade beta em reservatórios podem ser importantes para avaliar como a dinâmica no espaço e tempo influenciam a organização das comunidades, e com isso, indicar locais que podem ser priorizados nos esforços de conservação ou mesmo de recuperação.

O fitoplâncton, que é um importante elemento das cadeias alimentares dos ecossistemas aquáticos e que tem importante papel nas teias tróficas de reservatórios (Wojciechowski et al., 2017; Znachor et al., 2020), pode ser um excelente modelo no entendimento dos mecanismos que promovem maiores contribuições locais para a diversidade beta. Isso porque a composição do fitoplâncton é afetada diretamente pela intensidade de luz, temperatura da água, disponibilidade de nutrientes, profundidade e pressão de predação do zooplâncton, o que gera uma ampla variação espacial e temporal da comunidade devido às alterações ambientais (Bortolini et al., 2016; Borics et al., 2021; Salmaso & Tolotti 2021). Além disso, devido a sua alta diversidade taxonômica e funcional, as espécies apresentam diferentes limites de tolerância às condições ambientais, bem como apresentam diferentes mecanismos de dispersão, em função da alta diversidade morfológica, fisiológica e ecológica, portanto, possuindo uma grande amplitude de caracteres funcionais relacionados à produtividade, o ciclo de vida, a sensibilidade ao ambiente e à produção de toxinas (Litchman & Klausmeier, 2008; Kruk et al., 2017).

Desse modo, além da diversidade taxonômica, medidas de diversidade funcional podem ser boas ferramentas para sumarizar a comunidade fitoplanctônica e avaliar suas tolerâncias e sensibilidades à variabilidade e heterogeneidade ambiental dos reservatórios. A diversidade funcional diz respeito aos integrantes da diversidade biológica que afetam o funcionamento do ecossistema (Tilman, 2001). As características funcionais podem ser definidas como qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica, que é possível de ser medida ao nível individual, sendo que os dados das características são adquiridos tanto no espaço ou no tempo (Calaça & Grelle, 2016). Para o fitoplâncton, diversas abordagens funcionais têm sido aplicadas, dentre elas as abordagens de agrupamentos funcionais (Salmaso et al., 2015). Os grupos funcionais do fitoplâncton têm sido destacados por meio de duas metodologias principais, onde em uma delas os táxons fitoplanctônicos são distribuídos em grupos funcionais baseados em características morfológicas dos organismos

(Kruk et al., 2010; Reynolds et al., 2014), enquanto em outra, os táxons são distribuídos em grupos de acordo com suas tolerâncias e sensibilidades fenológicas, ecológicas e funcionais (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009; Kruk et al., 2021).

Considerando os elementos apresentados, este estudo tem como objetivos (i) avaliar a contribuição local (LCBD) para a diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton ao longo do eixo longitudinal de um reservatório em diferentes períodos; (ii) avaliar como a heterogeneidade ambiental no reservatório influencia a diversidade beta taxonômica e funcional do fitoplâncton; (iii) comparar a resposta e sensibilidade da diversidade beta taxonômica e a funcional em relação a heterogeneidade ambiental do reservatório. Com isso, nós esperamos que (i) locais ambientalmente mais diferenciados (com maior contribuição para a heterogeneidade ambiental) tenham maiores valores de LCBD, ou seja, tenham composições taxonômica e funcionais únicas; (ii) a heterogeneidade ambiental seja relacionada positivamente com a diversidade beta taxonômica e funcional, mas que a relação seja mais forte com a diversidade beta funcional, já que os grupos funcionais apresentam traços bem definidos e refletem a história de vida, o comportamento, a fisiologia e a morfologia dos organismos.

Métodos

Área de estudo e locais de amostragem

O reservatório João Leite (16° 33' 58.3" Sul e 49° 12' 45.6" Oeste), Goiânia, Goiás, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, e foi construído no curso do Ribeirão João Leite, o qual possui extensão de aproximadamente 85 km. O reservatório João Leite possui uma área de aproximadamente 10,4 km², extensão de aproximadamente 15 km e largura média em torno de 800 m, chegando a uma profundidade na região da barragem de aproximadamente 36 metros (Carmo, 2014). A região do reservatório é alvo de intensa atividade agropecuária, ameaçando a qualidade dos tributários que abastecem o reservatório (Carneiro et al., 2010).

Foram estabelecidas sete locais de amostragem ao longo da extensão do reservatório, e que estiveram distribuídos da seguinte forma: S1 – a jusante do reservatório; S2, S3 e S4 – região lacustre do reservatório; S5 e S6 – região intermediária do reservatório; S7 – região lótica do reservatório (Figura 1). As amostragens da comunidade fitoplanctônica e das variáveis ambientais ocorreram ao longo de um ciclo hidrológico, sendo seis coletas no período de seca (n=42) e seis coletas no período chuvoso (n=42) entre 2018 e 2019. O período chuvoso se estende do mês de outubro até março, onde a precipitação média anual varia entre 1200 mm e 1800 mm, já o período seco compreende os meses de maio até setembro, podendo a precipitação chegar a zero (Santos et al., 2010; Costa et al., 2012).

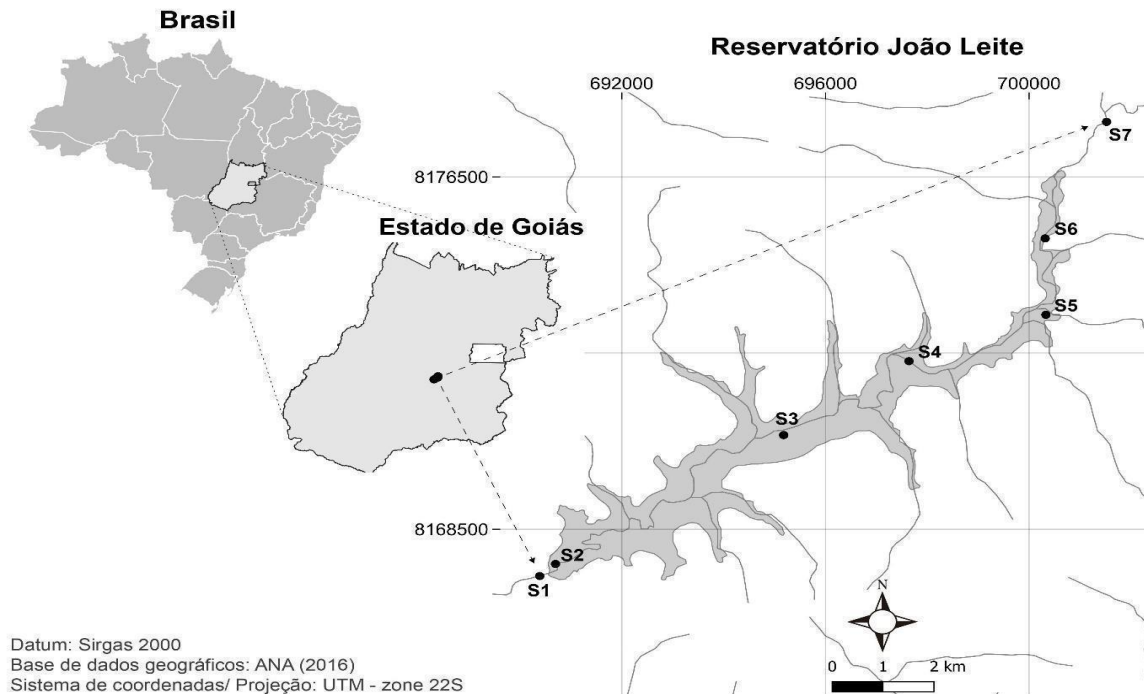


Figura 1: Mapa de localização da área de influência do reservatório João Leite, GO, Brasil, e respectivos locais de amostragem.

Amostragem e análise das amostras

As amostras quantitativas do fitoplâncton foram coletadas na camada subsuperficial da região limnética diretamente com frascos tipo âmbar com capacidade de 1000 mL em cada um dos sete locais, e fixadas com solução de lugol acético a 1% (Bicudo & Menezes, 2017). Concomitantemente foram amostrados em cada local dados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e turbidez (NTU). O oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) foi mensurado por meio do método de titulação em laboratório (APHA, 2017). Também foram realizadas coletas de amostras de água para análise de nutrientes, como as formas de nitrogênio (nitrito, nitrato e amônia, mg L^{-1}), fósforo total (mg L^{-1}), ferro total e solúvel (mg L^{-1}), sendo as análises realizadas em laboratório segundo APHA (2017). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID, mg L^{-1}) foi estimado a partir da soma das formas de nitrito, nitrato e amônia. Dados de precipitação (mm) na área do reservatório foram fornecidos pela Companhia Saneamento de Goiás S/A (Saneago).

A comunidade fitoplanctônica foi analisada com o auxílio de um microscópio invertido (modelo Olympus CKX41 com aumento de $400\times$), com a contagem de campos aleatórios conforme Utermöhl (1958). A padronização da contagem do número de campos leva em consideração que, embora seja indicado concentrar esforços na identificação das espécies dominantes (Lund et al., 1958), não deve ser descartada a enumeração dos organismos raros, para que não seja perdida

informações sobre a riqueza específica da comunidade fitoplanctônica (Huszar & Giani, 2007). A densidade da comunidade fitoplanctônica foi dada em indivíduos por mililitro (ind mL^{-1}), considerando as formas que os organismos ocorrem na natureza (célula, colônia, cenóbio ou filamento). Como riqueza de espécies foi considerado o número total de táxons presentes em cada amostra. Os táxons fitoplanctônicos foram agrupados em grupos funcionais de Reynolds – GFR (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009) e grupos funcionais baseados em morfologia – GFBM (Kruk et al., 2010; Reynolds et al., 2014), a partir de traços que refletem a função de cada táxon, como traços fisiológicos, morfológicos, comportamentais e de história de vida (Litchman & Klausmeier, 2008). Portanto, foram organizadas três matrizes de abundância da comunidade fitoplanctônica, sendo uma matriz taxonômica contendo as espécies, e duas matrizes funcionais, uma contendo as espécies distribuídas em grupos funcionais baseados na morfologia (GFBM) e outra contendo as espécies distribuídas em grupos funcionais de Reynolds (GFR).

Análises de dados

A diversidade beta foi calculada a partir do método proposto por Legendre e De Cáceres (2013), onde a partir do índice LCBD (Local Contribution to Beta Diversity), é possível avaliar a contribuição de cada local em cada período amostrado para a diversidade beta regional. O cálculo do LCBD foi realizado com a abundância tanto da matriz taxonômica (diversidade taxonômica) quanto com as matrizes funcionais (GFBM e GFR - diversidade funcional), onde utilizamos a transformação de Hellinger para calcular a dissimilaridade. Calculamos a partição da diversidade beta através da variância total $\text{Var}(Y)$, calculando a matriz dos desvios quadrados das médias das espécies, GFBM ou GFR, após isso, somamos todos os valores da matriz, obtemos a soma dos quadrados, após dividir a soma dos quadrados por $n-1$, obtemos a diversidade beta total, que pode ser particionada no LCBD.

Realizamos uma análise de componentes principais (PCA) utilizando as variáveis ambientais mensuradas a fim de sumarizar a heterogeneidade ambiental. Além disso, normalizamos as variáveis ambientais, calculando o logaritmo natural para todas as variáveis abióticas com exceção do pH. Em seguida, nós utilizamos a distância euclidiana média para mensurar a heterogeneidade ambiental ao longo do reservatório, utilizando a temperatura, a turbidez, o pH, o ferro solúvel e total, o fósforo total, o nitrogênio inorgânico dissolvido, a condutividade e o oxigênio dissolvido.

Para relacionar os valores de LCBD (calculados tanto com a diversidade taxonômica como funcional) e a heterogeneidade ambiental no reservatório foram realizadas beta regressões (Cribari-Neto & Zeileis 2010). As análises foram realizadas usando o programa gratuito R (R Development Core Team 2017), com a função “beta.div” do pacote adespatial (Dray et al. 2018) para calcular o

LCBD, além da função “betareg” do pacote betareg (Cribari-Neto & Zeileis 2010) para realizar as regressões beta, também utilizamos a função “prcomp” do pacote stats para calcular a PCA.

Resultados

Descrição taxonômica e funcional da comunidade fitoplanctônica

No total, identificamos 203 táxons, sendo 67 de diatomáceas (Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae e Mediophyceae), 50 de algas verdes (Chlorophyceae e Trebouxiophyceae), 50 de cianobactérias (Cyanobacteria), 24 de fitoflagelados (Cryptophyceae, Crysophyceae, Dinophyceae e Euglenophyceae), 6 de desmídias (Zygnematophyceae) e 6 de algas verdes flageladas (Nephrophyceae, Prasinophyceae e Pedinophyceae). As cianobactérias apresentaram as maiores densidades ao longo dos períodos analisados (Figura 2). As espécies que apresentaram as maiores densidades foram a *Snowella atomus* Komárek & Hindák, *Oscillatoria limosa* Agardh ex Gomont, *Cyanodictyon imperfectum* Cronberg & Weibull e *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg.

Já para os GFBM, identificamos os sete grupos em todos os períodos analisados. O GFBM I (pequenos organismos com alta relação superfície volume), GFBM IV (organismos de tamanho médio sem características especializadas) e GFBM VII (grandes colônias mucilaginosas) apresentaram os maiores valores de densidade (Figura 3). Para os GFR identificamos apenas cinco grupos, sendo eles: GFR K (organismos tolerantes a água rasas e ricas em nutrientes), GFR M (organismos tolerantes a corpos de água eutróficos a hipertróficos, de pequeno a médio porte), GFR MP (organismos tolerantes a lagos rasos frequentemente agitados e inorganicamente turvos), GFR S1 (organismos tolerantes a ambientes turvos) e GFR Lo (organismos tolerantes a lagos rasos e profundos, oligo a eutrófico, de médio a grande porte), onde todos contribuíram com mais de 2% da densidade total de cada amostra (Figura 4).

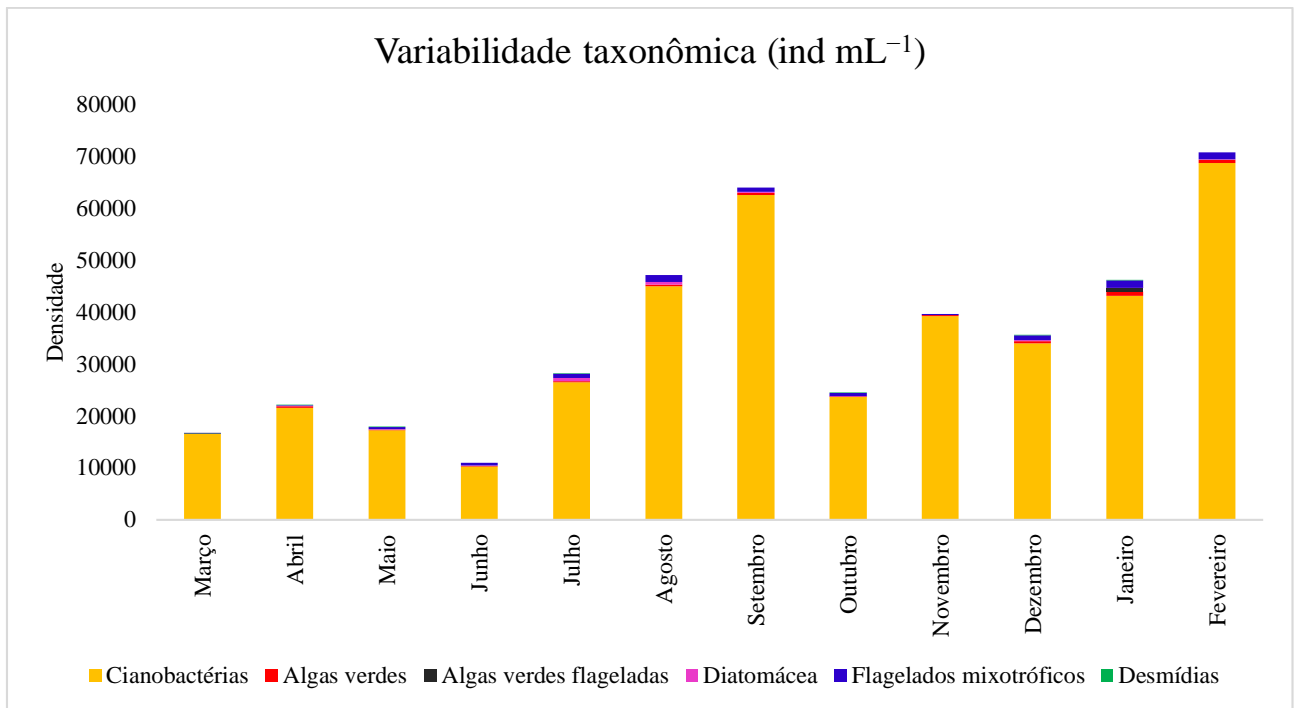


Figura 2. Densidade dos táxons identificados entre o mês de março de 2018 até fevereiro de 2019.

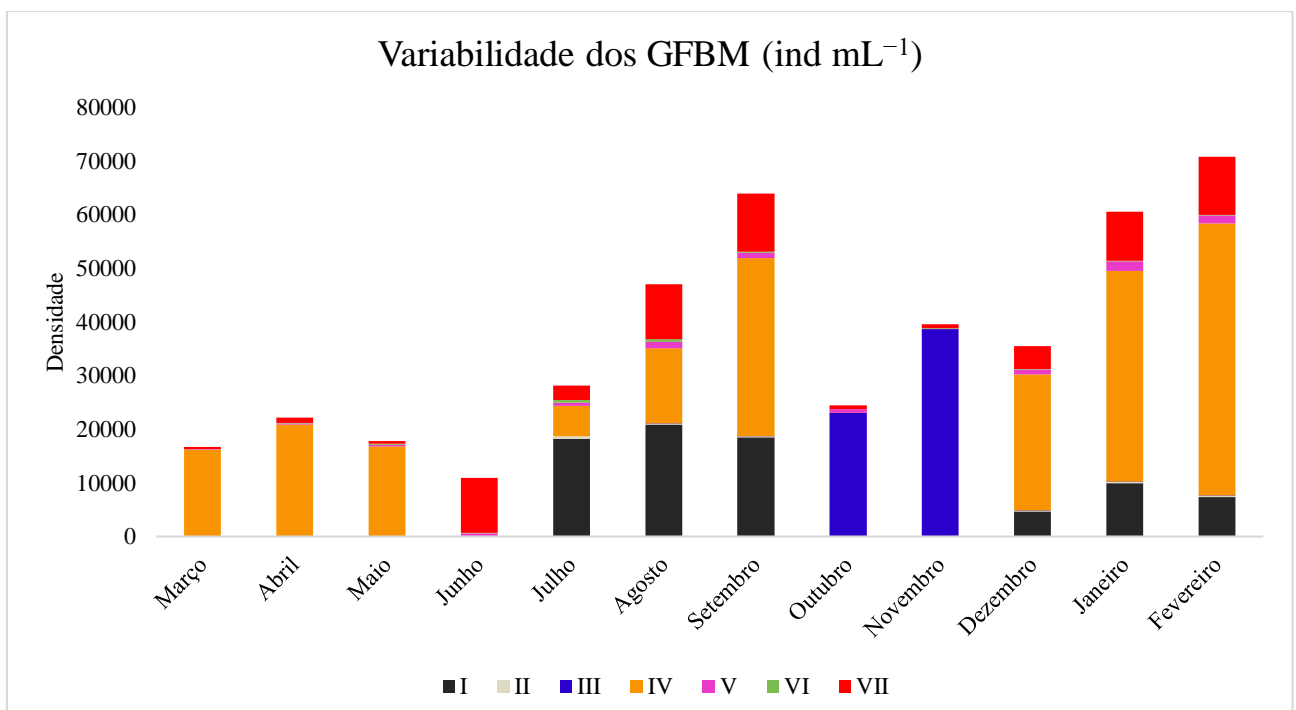


Figura 3. Densidade dos grupos funcionais baseados na morfologia entre o mês de março de 2018 até fevereiro de 2019. I = pequenos organismos com alta S/V (superfície área / volume individual), II = pequenos organismos flagelados com estruturas exoesqueléticas siliciosas, III = grandes organismos

filamentosos com aerótopos, IV = organismos de tamanho médio sem características especializadas, V = organismos flagelados unicelulares de tamanho médio a grande, VI = organismos não flagelados com exoesqueletos siliciosos, VII = grandes colônias mucilaginosas.

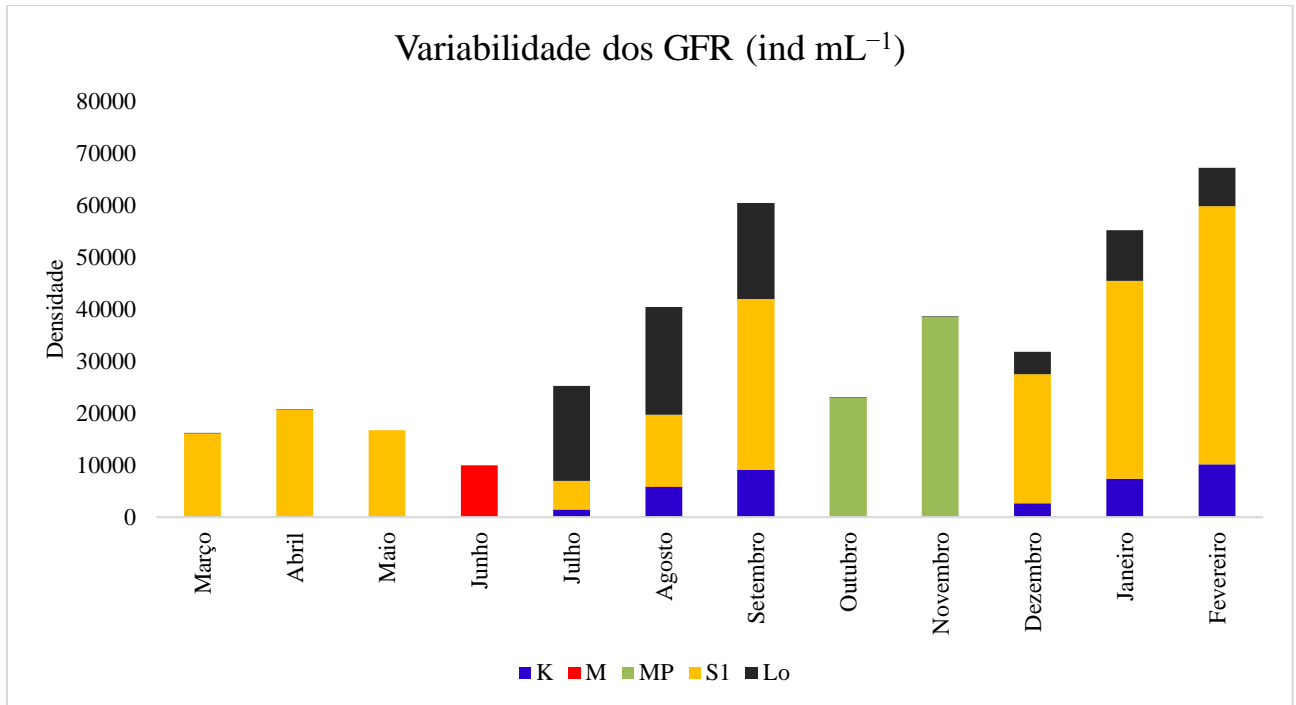


Figura 4. Densidade dos grupos funcionais de Reynolds entre o mês de março de 2018 até fevereiro de 2019. K = organismos tolerantes a água rasas e ricas em nutrientes, M = organismos tolerantes a corpos de água eutróficos a hipertróficos, de pequeno a médio porte, MP = organismos tolerantes a lagos rasos frequentemente agitados e inorganicamente turvos, S1 = organismos tolerantes a ambientes turvos e L_o = organismos tolerantes a lagos rasos e profundos, oligo a eutrófico, de médio a grande porte.

LCBD's taxonômico e funcional

Os valores de LCBD taxonômico foram semelhantes entre os períodos hidrológicos de chuva e seca. Para o período seco, o local S7 (região lítica do reservatório) apresentou os maiores valores de LCBD, na maioria dos meses amostrados, sendo seguido dos locais S4 (região lacustre do reservatório) e S6 (região intermediária do reservatório) (Figura 5). Já para o período chuvoso, o local S7 também apresentou os maiores valores para o LCBD taxonômico, seguido pelos locais S1 (região jusante do reservatório) e S3 (Figura 6).

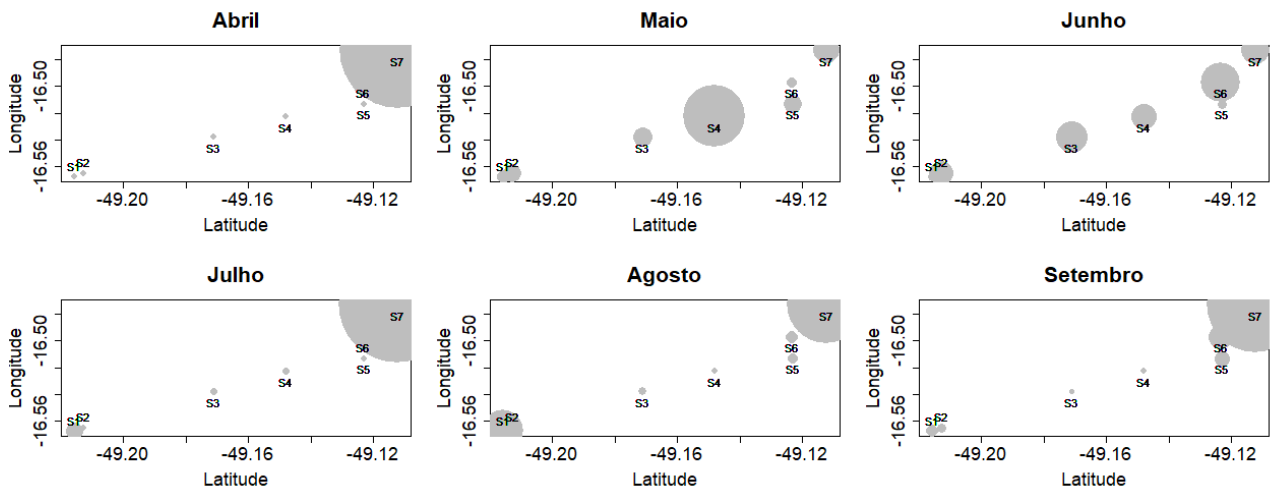


Figura 5. Mapa do LCBD taxonômico calculado para os meses do período seco. O tamanho dos círculos é proporcional aos valores da contribuição local para a diversidade beta.

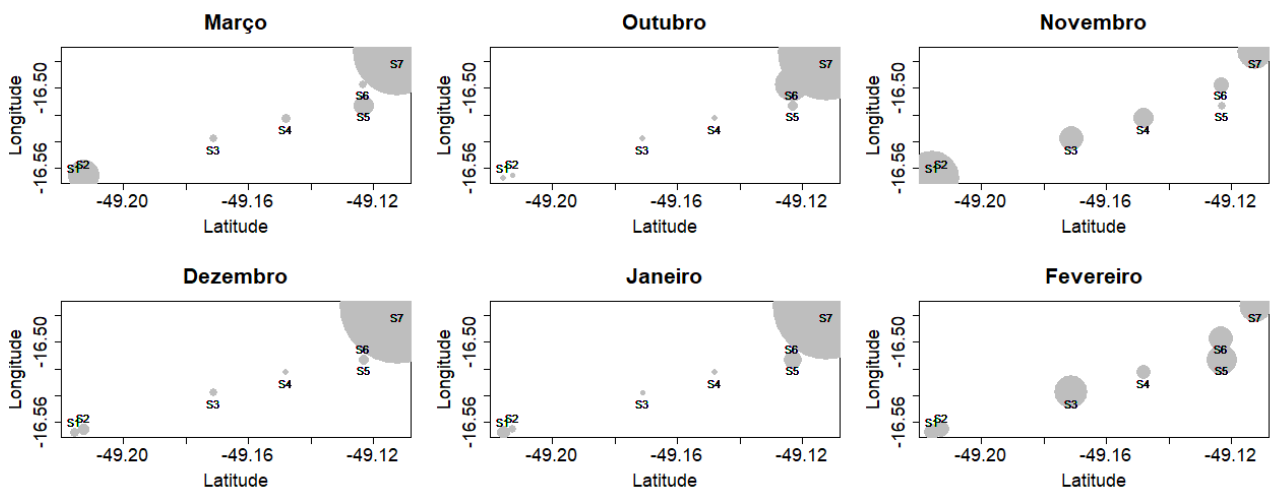


Figura 6. Mapa do LCBD taxonômico calculados para os meses do período chuvoso. O tamanho dos círculos é proporcional aos valores da contribuição local para a diversidade beta.

Para os GFBM, os maiores valores de LCBD foram encontrados no período seco, sendo o local S7 o que apresentou os maiores valores de LCBD, seguido dos locais S1 (região jusante), S3, S4 (região lacustre) e S6 (região intermediária). Em relação aos períodos hidrológicos, tanto no período seco quanto no período chuvoso, o local S7 (região lótica) apresentou os maiores valores de LCBD, seguido dos locais S4 (região lacustre do reservatório) e S6 (região intermediária) (Figura 7), e S1 e S3 (Figura 8), respectivamente.

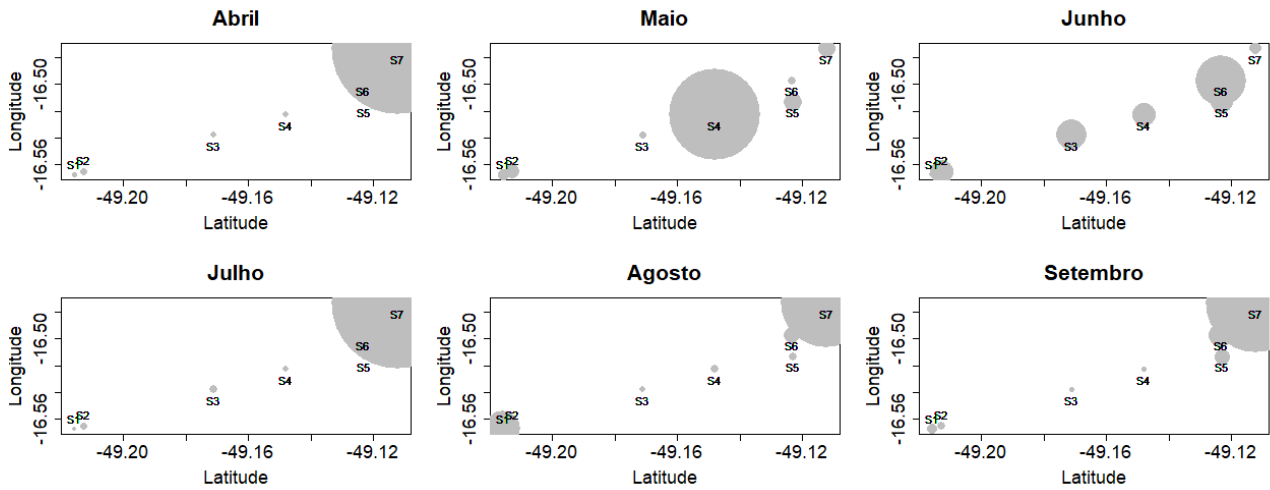


Figura 7. Mapa do LCBD calculado para os GFBM dos meses do período seco. O tamanho dos círculos é proporcional aos valores da contribuição local para a diversidade beta.

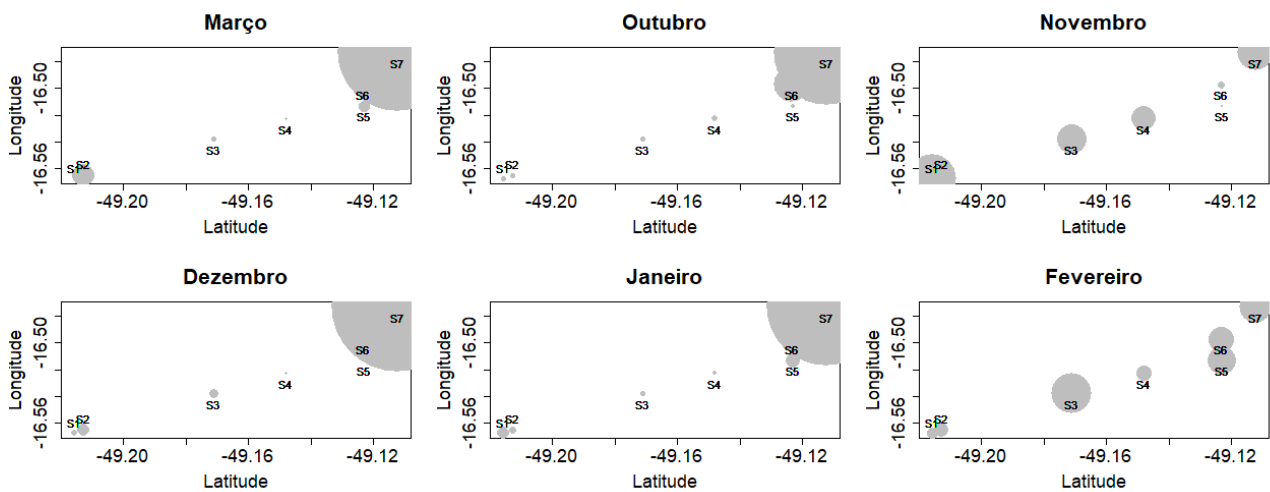


Figura 8. Mapa dos LCBD calculado para os GFBM dos meses do período chuvoso. O tamanho dos círculos é proporcional aos valores da contribuição local para a diversidade beta.

Para os GFR, o período seco apresentou os maiores valores de LCBD, tendo o local S7 (região lótica), apresentado os maiores valores na maioria dos meses, seguido do local S6 (Figura 9). No período chuvoso os locais S1 (região jusante), S2, S3, S4 (região lacustre) e S5 (região intermediária) também apresentaram importantes contribuições para o LCBD (Figura 10). Vale ressaltar que para o mês de maio não foi possível calcular o LCBD, já que só foi registrado um único grupo funcional (GFR S1).

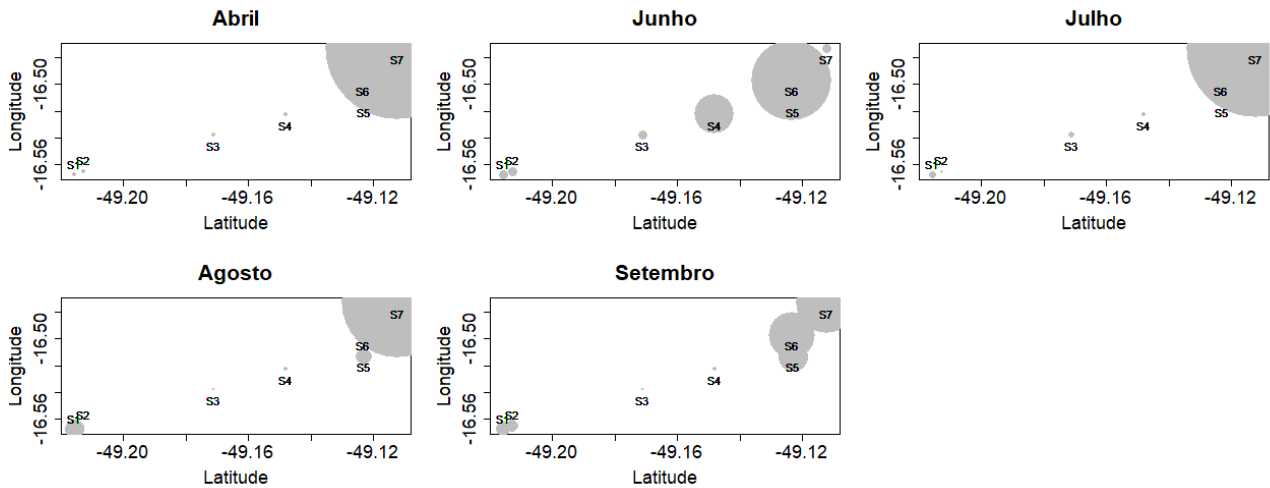


Figura 9. Mapa dos LCBD calculado com os GFR para os meses do período seco. O tamanho dos círculos é proporcional aos valores da contribuição local para a diversidade beta. No mês de maio não foi possível calcular o LCBD, pois somente um GFR foi identificado.

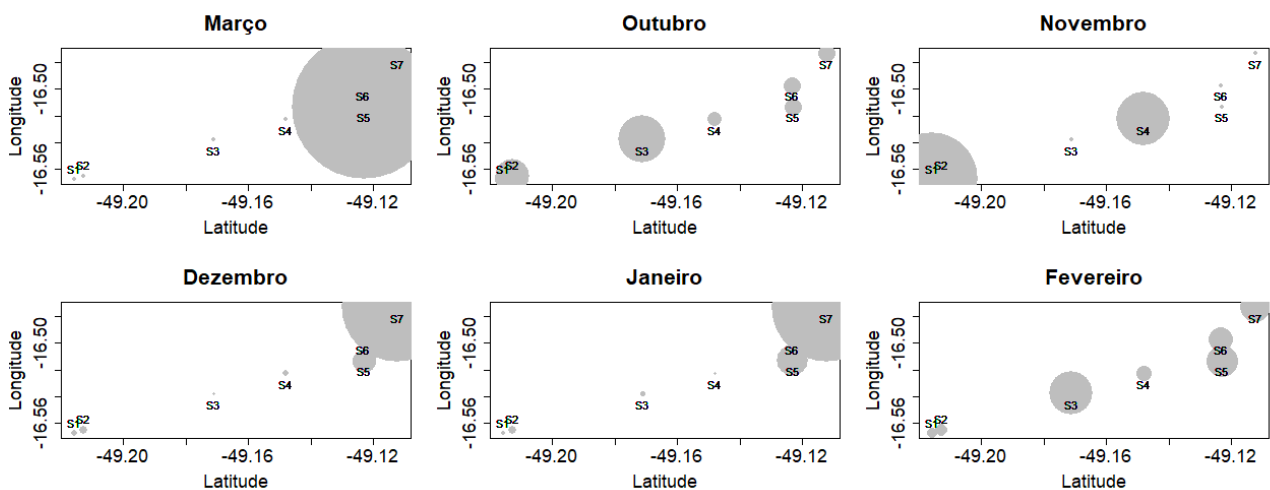


Figura 10. Mapa dos LCBD calculado com os GFR para os meses do período chuvoso. O tamanho dos círculos é proporcional aos valores da contribuição local para a diversidade beta.

Heterogeneidade ambiental no reservatório

A análise de componentes principais (PCA) para as variáveis ambientais no período seco mostrou que os locais se relacionaram mais com a temperatura e com o pH do que com alguns nutrientes, como o fósforo total e nitrogênio inorgânico dissolvido (Figura 11). Já para o período chuvoso a análise de componentes principais (PCA) exibiu que os locais se relacionaram com a temperatura, o pH, o nitrogênio inorgânico dissolvido e a condutividade (Figura 12). Além disso, há uma clara separação do local S7 dos demais, tanto no período chuvoso quanto seco.

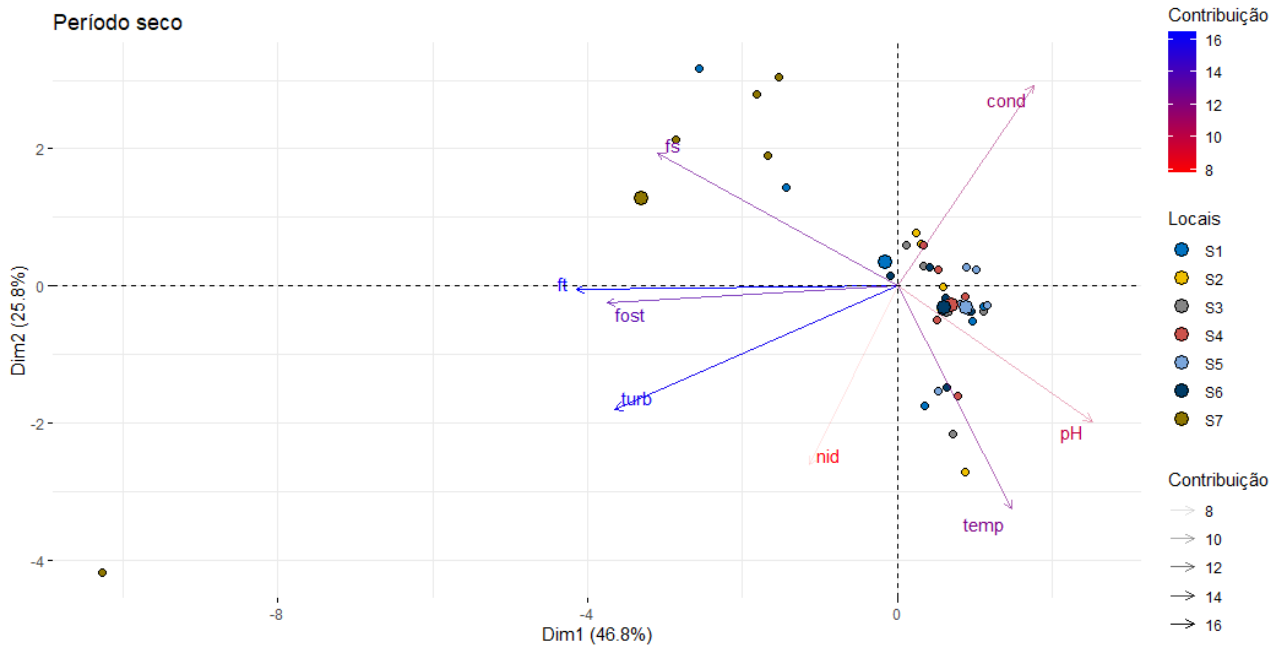


Figura 11. Análise dos componentes principais (PCA1 e PCA2) para as variáveis ambientais no período seco. Temp= temperatura, turb = turbidez, ft = ferro total, fs = ferro solúvel, fost = fósforo total, nid = nitrogênio inorgânico dissolvido, cond = condutividade.

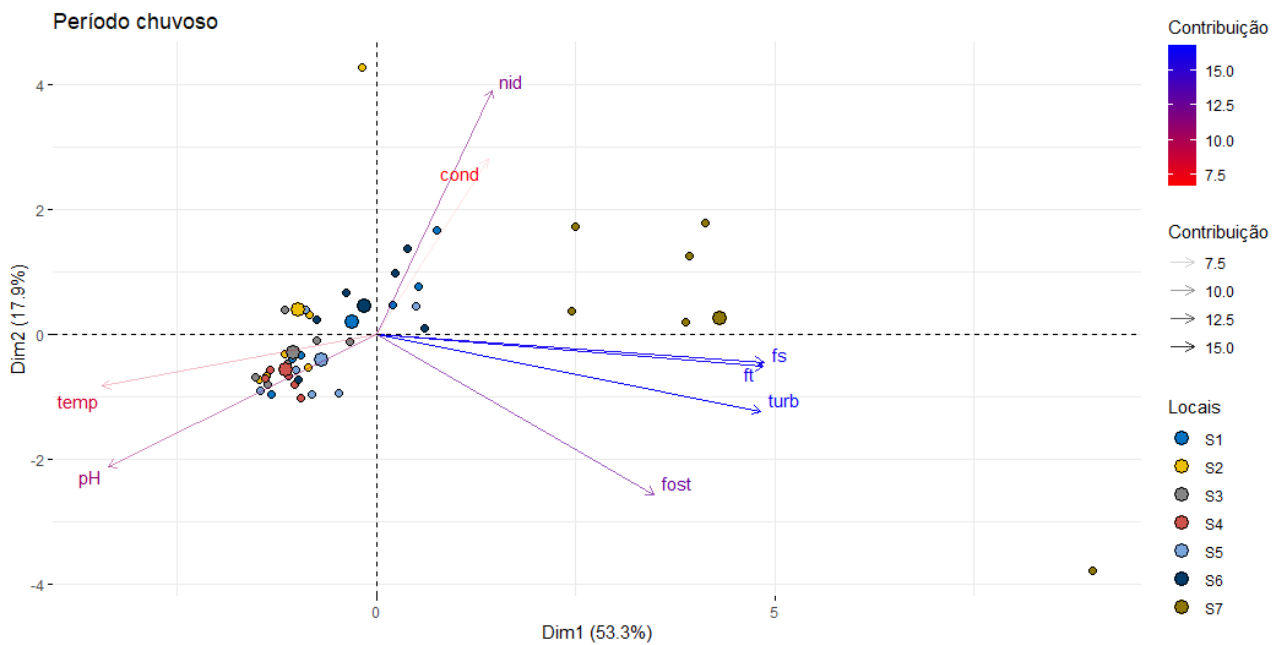


Figura 12. Análise dos componentes principais (PCA1 e PCA2) para as variáveis ambientais no período chuvoso. Temp= temperatura, turb = turbidez, ft = ferro total, fs = ferro solúvel, fost = fósforo total, nid = nitrogênio inorgânico dissolvido, cond = condutividade.

A beta regressão realizada entre o LCBD taxonômico e a heterogeneidade ambiental não apresentou nenhuma variável estatisticamente significativa tanto para o período seco quanto para o chuvoso (Tabela 1). Para a beta regressão realizada entre o LCBD calculados com os GFBM e a

heterogeneidade ambiental encontramos uma relação significativa (valor-p < 0,05) somente no mês de setembro (Tabela 2). Já às beta regressões realizadas entre o LCBD dos GFR e a heterogeneidade ambiental mostraram uma relação significativa para os meses de julho e setembro (Tabela 3).

Tabela 1. Resultados das beta regressões realizadas entre o LCBD taxonômico e a heterogeneidade ambiental para os diferentes meses dos períodos hidrológicos seco e chuvoso.

Período Seco					
Mês	Estimativa	Erro padrão	Valor - z	Valor - p	Pseudo-R²
Abril	0,045	0,212	0,217	0,828	0,019
Mai	0,082	0,253	0,323	0,747	0,017
Junho	0,248	0,298	0,833	0,405	0,087
Julho	-0,044	0,444	-0,101	0,920	0,004
Agosto	-0,5119	0,348	-1,469	0,142	0,332
Setembro	0,071	0,107	0,664	0,507	0,056
Período Chuvoso					
Mês	Estimativa	Erro padrão	Valor - z	Valor - p	Pseudo-R²
Março	0,071	0,107	0,664	0,507	0,056
Outubro	0,069	0,269	0,258	0,797	0,009
Novembro	0,429	0,224	1,919	0,055	0,165
Dezembro	-0,137	0,333	-0,412	0,681	0,068
Janeiro	-0,260	0,280	-0,930	0,352	0,231
Fevereiro	-0,199	0,104	-1,906	0,057	0,389

Tabela 2. Resultados das beta regressões realizadas entre o LCBD funcional (GFBM) e a heterogeneidade ambiental para os diferentes meses dos períodos hidrológicos seco e chuvoso.

Período Seco					
Mês	Estimativa	Erro padrão	Valor - z	Valor - p	Pseudo-R²
Abril	0,031	0,224	0,139	0,889	0,009
Mai	0,284	0,340	0,834	0,404	0,132

Junho	-0,071	0,355	-0,203	0,839	0,005
Julho	-0,069	0,472	-0,147	0,883	0,010
Agosto	-0,451	0,385	-1,174	0,240	0,178
Setembro	-2,871	0,446	-6,437	< 0.001	0,626
Período Chuvoso					
Mês	Estimativa	Erro padrão	Valor - z	Valor - p	Pseudo-R²
Março	-0,036	0,191	-0,189	0,850	0,014
Outubro	0,125	0,524	0,240	0,810	0,028
Novembro	0,559	0,513	1,089	0,276	0,113
Dezembro	0,002	0,359	0,006	0,995	1,61E-05
Janeiro	-0,091	0,313	-0,292	0,770	0,033
Fevereiro	-0,194	0,146	-1,336	0,181	0,251

Tabela 3. Resultados das beta regressões realizadas entre o LCBD funcional (GFR) e a heterogeneidade ambiental para os diferentes meses dos períodos hidrológicos seco e chuvoso.

Período Seco					
Mês	Estimativa	Erro padrão	Valor - z	Valor - p	Pseudo-R²
Abril	-0,016	0,233	-0,070	0,945	0,003
Maio	-	-	-	-	-
Junho	0,676	0,458	1,478	0,139	0,321
Julho	1,289	0,111	11,57	< 2e-16	0,903
Agosto	-0,660	0,415	-1,591	0,111	0,268
Setembro	-1,823	0,512	-3,564	3,65E-04	0,406
Período Chuvoso					
Mês	Estimativa	Erro padrão	Valor - z	Valor - p	Pseudo-R²
Março	-0,106	0,204	-0,520	0,603	0,105
Outubro	-0,328	0,237	-1,387	0,165	0,288
Novembro	0,797	0,597	1,335	0,182	0,364

Dezembro	-0,191	0,334	-0,574	0,566	0,096
Janeiro	-0,415	0,292	-1,42	0,155	0,434
Fevereiro	0,411	0,348	1,18	0,237	0,156

Discussão

O nosso estudo demonstrou como a diversidade beta pode ser uma importante ferramenta na avaliação da composição única de diferentes locais em reservatório e como são suas relações com a dinâmica ambiental do ecossistema. Nossa primeira expectativa de que locais ambientalmente mais diferenciados tenham maiores valores de LCBD, foi corroborada, uma vez que o local S7 (lótico) parece ser ambientalmente diferente dos demais e com composições taxonômicas e funcionais únicas, o que fez com que se destacasse na contribuição dos maiores valores de LCDB em grande parte dos meses estudados. Nossa segunda expectativa foi corroborada parcialmente, uma vez que a heterogeneidade ambiental se relacionou apenas com o LCBD funcional (GFR) em junho e setembro.

A heterogeneidade ambiental é conhecida como um dos impulsionadores da diversidade beta (Zorzal-Almeida et al., 2017). Nossos resultados demonstram isso, uma vez que locais ambientalmente mais heterogêneos, como S7, apresentou os maiores valores de LCBD taxonômico e funcionais na grande maioria dos meses em ambos os ciclos hidrológicos. Maloufi et al. (2016) estudando a comunidade fitoplanctônica em diferentes lagos na França, encontraram que a heterogeneidade ambiental promoveu comunidade únicas em lagos mais isolados. Já Castro et al. (2019) estudando diatomáceas e insetos aquáticos em corredeiras, encontraram que os maiores valores de LCBD para as diatomáceas estava relacionado a heterogeneidade ambiental do local. Li et al. (2023) estudando macroinvertebrados em riachos da bacia do rio Yarlung Zangbo na China, encontraram que os maiores valores de LCBD foram nos riachos a montante, que eram os locais ambientalmente mais heterogêneos. Além disso, os nossos resultados vão de encontro com os achados de Leão et al. (2020), onde estudando a comunidade de peixes em riachos na Amazônia, encontraram os mais valores de LCBD em riachos mais ambientalmente heterogêneos.

Os reservatórios apresentam uma elevada heterogeneidade ambiental, com isso, os locais mais heterogêneos possuem uma elevada distinção nos nichos (Astorga et al., 2014), e assim, os táxons podem responder de diferentes formas nesses ambientes, dado as suas diferentes capacidades de tolerar as condições ambientais (Leibold et al., 2004). No entanto, podemos destacar em nossos resultados que locais como S3, S4 e S5, situados nas regiões lênticas, e que apresentaram uma menor heterogeneidade ambiental quando comparados com outros locais do reservatório, também

apresentaram importantes valores de LCBD taxonômico e funcional, indicando que esses locais também podem possuir composições únicas das espécies e grupos funcionais, podendo ser devido à entrada de novas espécies nesses locais (Kong et al., 2017).

Assim, os nossos resultados podem ser explicados pela dispersão no gradiente rio-barragem e pelos filtros ambientais, onde o balanço entre esses dois fenômenos promove a distribuição do fitoplâncton ao longo do reservatório (Yang et al., 2018), e possivelmente contribuiu para o LCDB tanto em locais mais heterogêneos como locais menos heterogêneos ambientalmente. O fluxo unidirecional nos reservatórios pode promover uma elevada dispersão do fitoplâncton entre as diferentes zonas (Yang et al., 2018), e espécies do mesmo grupo podem responder de forma diferente à dispersão, sendo que espécies distintas do mesmo grupo apresentam características únicas, tais como as diatomáceas e as euglenófitas (Pineda et al., 2022), proporcionando uma composição de espécies que pode ser um subconjunto de outros locais. Com isso, espécies que conseguem suportar as mudanças ambientais das diferentes regiões do reservatório irão permanecer, ou seja, as espécies passarão por uma filtragem ambiental ao longo do reservatório (de Castro et al., 2021). Assim, as espécies possuem divergências nos seus níveis de tolerâncias, diferenças morfológicas e diferentes estruturas especializadas, respondendo de diferentes formas as condições ambientais (Pineda et al., 2022).

Conclusão

Concluimos que mesmo a heterogeneidade ambiental sendo pouco relacionada com a diversidade beta taxonômica e funcional nos ciclos hidrológicos, os fatores ambientais contribuíram para a estruturação da comunidade fitoplanctônica, sendo que o local que apresentou os maiores valores de LCBD em grande parte do estudo, era ambientalmente mais singular que os demais.

Literatura Citada

- Apha (2017) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, America Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington, DC
- Astorga, A., Death, R., Death, F., Paavola, R., Chakraborty, M., & Muotka, T. (2014). Habitat heterogeneity drives the geographical distribution of beta diversity: the case of New Zealand stream invertebrates. *Ecology and Evolution*, 4(13), 2693-2702.
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global ecology and biogeography*, 19(1), 134-143.

- Baselga, A., & Orme, C. D. L. (2012). betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in ecology and evolution*, 3(5), 808-812.
- Bicudo, C. E. M., & Menezes, M. (2017). Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação de gêneros. RiMa Editora, São Carlos.
- Bortolini, J. C., Train, S., & Rodrigues, L. C. (2016). Extreme hydrological periods: effects on phytoplankton variability and persistence in a subtropical floodplain. *Hydrobiologia*, 763, 223-236.
- Borics, G., Abonyi, A., Salmaso, N., & Ptačnik, R. (2021). Freshwater phytoplankton diversity: models, drivers and implications for ecosystem properties. *Hydrobiologia*, 848(1), 53-75.
- Calaça, A. M., & de Viveiros Grelle, C. E. (2016). Diversidade funcional de comunidades: discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. *Oecologia Australis*, 20(4).
- Carmo, E. J. D. S. C. (2014). Cianobactérias planctônicas do reservatório do Ribeirão João Leite (Goiás) durante a fase de enchimento: florística e floração.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- Carneiro, F. M., Bini, L. M., & Rodrigues, L. C. (2010). Influence of taxonomic and numerical resolution on the analysis of temporal changes in phytoplankton communities. *Ecological Indicators*, 10(2), 249-255.
- Carvalho, J. C., Cardoso, P., Borges, P. A., Schmera, D., & Podani, J. (2013). Measuring fractions of beta diversity and their relationships to nestedness: a theoretical and empirical comparison of novel approaches. *Oikos*, 122(6), 825-834.
- Castro, E., Siqueira, T., Melo, A. S., Bini, L. M., Landeiro, V. L., & Schneck, F. (2019). Compositional uniqueness of diatoms and insects in subtropical streams is weakly correlated with riffle position and environmental uniqueness. *Hydrobiologia*, 842, 219-232.
- Costa, H. D. C., Marcuzzo, F. F. N., Ferreira, O. M., & Andrade, L. R. (2012). Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do estado de Goiás e Distrito Federal.
- Cribari-Neto, F., & Zeileis, A. (2010). Beta regression in R. *Journal of statistical software*, 34, 1-24.
- Dantas, Ê. W., Moura, A. D. N., Bittencourt-Oliveira, M. D. C., Arruda Neto, J. D. D. T., & Cavalcanti, A. D. D. C. (2008). Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 22, 970-982.
- de Castro, L. S., de Souza Lopes, A. A., Colares, L., Palheta, L., de Souza Menezes, M., Fernandes, L. M., & Dunck, B. (2021). Dam promotes downriver functional homogenization of phytoplankton in a transitional river-reservoir system in Amazon. *Limnology*, 22, 245-257.

- Dray, S., Blanchet, G., Borcard, D., Guenard, G., Jombart, T., Larocque, G., ... & Dray, M. S. (2018). Package 'adespatial'. R package, 2018, 3-8.
- Geist, J. (2011). Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. *Ecological Indicators*, 11(6), 1507-1516.
- Hill, M. J., White, J. C., Biggs, J., Briers, R. A., Gledhill, D., Ledger, M. E., ... & Hassall, C. (2021). Local contributions to beta diversity in urban pond networks: Implications for biodiversity conservation and management. *Diversity and Distributions*, 27(5), 887-900.
- Huszar, V. D. M., & Giani, A. (2004). Amostragem da comunidade fitoplanctônica em águas continentais: reconhecimento de padrões espaciais e temporais. *Bicudo, CEM; BICUDO, DC Amostragem em Limnologia*. São Carlos: Rima, 133-145.
- Kong, H., Chevalier, M., Laffaille, P., & Lek, S. (2017). Spatio-temporal variation of fish taxonomic composition in a South-East Asian flood-pulse system. *Plos one*, 12(3), e0174582.
- Kruk, C., Huszar, V. L., Peeters, E. T., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., ... & Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater biology*, 55(3), 614-627.
- Kruk, C., Devercelli, M., Huszar, V. L., Hernandez, E., Beamud, G., Diaz, M., ... & Segura, A. M. (2017). Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. *Freshwater Biology*, 62(10), 1681-1692.
- Kruk, C., Devercelli, M., & Huszar, V. L. (2021). Reynolds Functional Groups: a trait-based pathway from patterns to predictions. *Hydrobiologia*, 848(1), 113-129.
- Leão, H., Siqueira, T., Torres, N. R., & de Assis Montag, L. F. (2020). Ecological uniqueness of fish communities from streams in modified landscapes of Eastern Amazonia. *Ecological Indicators*, 111, 106039.
- Legendre, P., Cáceres, M. D., & Borcard, D. (2010). Community surveys through space and time: testing the space–time interaction in the absence of replication. *Ecology*, 91(1), 262-272.
- Legendre, P., & De Cáceres, M. (2013). Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecology letters*, 16(8), 951-963.
- Leibold, M. A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J. M., Hoopes, M. F., ... & Gonzalez, A. (2004). The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology letters*, 7(7), 601-613.
- Legendre, P. (2014). Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 23(11), 1324-1334.

- Li, Z., Heino, J., Zhang, J., Ge, Y., Liu, Z., & Xie, Z. (2023). Unravelling the factors affecting multiple facets of macroinvertebrate beta diversity in the World's Third Pole. *Journal of Biogeography*, *50*(4), 792-804.
- Litchman, E., & Klausmeier, C. A. (2008). Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, *39*, 615-639.
- Lund JWG, Kipling C, Lecren ED (1958) The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11:980–985.
- Maloufi, S., Catherine, A., Mouillot, D., Louvard, C., Couté, A., Bernard, C., & Troussellier, M. (2016). Environmental heterogeneity among lakes promotes hyper β -diversity across phytoplankton communities. *Freshwater Biology*, *61*(5), 633-645.
- McAbendroth, L., Foggo, A., Rundle, S. D., & Bilton, D. T. (2005). Unravelling nestedness and spatial pattern in pond assemblages. *Journal of Animal Ecology*, 41-49.
- Meybeck, M. (2004). The global change of continental aquatic systems: dominant impacts of human activities. *Water Science and Technology*, *49*(7), 73-83.
- Moura, W. B., da Silva, P. R. L., Baumgartner, G., Bueno, N. C., & Bortolini, J. C. (2022). Site contributions to phytoplankton beta diversity along two subtropical reservoirs. *Aquatic Sciences*, *84*(4), 1-18.
- Oksanen, J. (2010). *Vegan: community ecology package*. <http://vegan.r-forge.r-project.org/>.
- Padisák, J., Crossetti, L. O., & Naselli-Flores, L. (2009). Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, *621*, 1-19.
- Pineda, A., Bortolini, J. C., & Rodrigues, L. C. (2022). Effects of space and environment on phytoplankton distribution in subtropical reservoirs depend on functional features of the species. *Aquatic Sciences*, *84*(1), 5.
- Podani, J., & Schmera, D. (2011). A new conceptual and methodological framework for exploring and explaining pattern in presence–absence data. *Oikos*, *120*(11), 1625-1638.
- Team, R. D. C. (2010). *R: A language and environment for statistical computing*. (No Title).
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*, *24*(5), 417-428.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Reynolds, C. S., Elliott, J. A., & Frassl, M. A. (2014). Predictive utility of trait-separated phytoplankton groups: A robust approach to modeling population dynamics. *Journal of Great Lakes Research*, *40*, 143-150.
- Santos, E. H. M. D., Griebeler, N. P., & Oliveira, L. F. C. D. (2010). Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.

- Salmaso, N., Naselli-Flores, L., & Padisak, J. (2015). Functional classifications and their application in phytoplankton ecology. *Freshwater Biology*, 60(4), 603-619.
- Salmaso, N., & Tolotti, M. (2021). Phytoplankton and anthropogenic changes in pelagic environments. *Hydrobiologia*, 848(1), 251-284.
- Soininen, J., Heino, J., & Wang, J. (2018). A meta-analysis of nestedness and turnover components of beta diversity across organisms and ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 27(1), 96-109.
- Tilman, D. (2001). Functional diversity. *Encyclopedia of biodiversity*, 3(1), 109-120.
- Tundisi, J. G. (2018). Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. *Water Security*, 4, 1-7.
- Utermöhl, H. (1958). Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 9(1), 1-38.
- Wojciechowski, J., Heino, J., Bini, L. M., & Padial, A. A. (2017). Temporal variation in phytoplankton beta diversity patterns and metacommunity structures across subtropical reservoirs. *Freshwater Biology*, 62(4), 751-766.
- Yang, Y., Niu, H., Xiao, L., Lin, Q., Han, B. P., & Naselli-Flores, L. (2018). Spatial heterogeneity of spring phytoplankton in a large tropical reservoir: could mass effect homogenize the heterogeneity by species sorting?. *Hydrobiologia*, 819, 109-122.
- Znachor, P., Nedoma, J., Hejzlar, J., Sed'a, J., Komárková, J., Kolář, V., ... & Boukal, D. S. (2020). Changing environmental conditions underpin long-term patterns of phytoplankton in a freshwater reservoir. *Science of the Total Environment*, 710, 135626.
- Zorzal-Almeida, S., Bini, L. M., & Bicudo, D. C. (2017). Beta diversity of diatoms is driven by environmental heterogeneity, spatial extent and productivity. *Hydrobiologia*, 800, 7-16.